

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**TENDENCIA DE LA DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS  
FORESTALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022 MEDIANTE IMÁGENES  
SATELITALES, EN LOS DISTRITOS DE LLALLI Y CUPI - PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**YHONY ROLANDO RUELAS VILCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



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



8.92%

SIMILARITY OVERALL

0%

POTENTIALLY AI

SCANNED ON: 21 NOV 2023, 1:51 PM

### Similarity report

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

● IDENTICAL  
1.64%

● CHANGED TEXT  
7.28%

### Most likely AI

Highlighted sentences with the lowest perplexity, most likely generated by AI.

● LIKELY AI  
0%

● HIGHLY LIKELY AI  
0%

## Report #18843659

YHONYROLANDO RUELAS VILCA TENDENCIA DE LA DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS FORESTALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022 MEDIANTE IMÁGENES

SATELITALES, EN LOS DISTRITOS DE LLALLI Y CUPI - PUNO RESUMEN La

presente investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificada mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno; se realizó mediante imágenes satelitales Landsat 8 descaradas del (USGS) de acuerdo a los reportes del (SERFOR) y los geoprosesamientos mediante el softwares R-Studio (v4.3.1) y Qgis (v3.26.17).

Los datos o registros de la deforestación e incendios se realizaron mediante los índices espectrales como, índice de diferencia normalizado (NDVI) e Índice Normalizado de Área Quemada (NBR); para obtener los datos de las áreas afectadas por los incendios se aplicó el índice de áreas deforestadas por incendios (BSI), desarrollado dentro del softwares R-Studio.

Se calcularon un total de 3506.88 Has equivalentes al 44% de deforestación y un total de 52384.36 Has equivalentes al 56% de incendios forestales, también se calculó un total de 5911.66 Has equivalentes al 44% de áreas afectadas por incendios durante el período 2015 - 2022, indicando que los valores cumplen con el supuesto de normalidad siendo paramétricos, de acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson la deforestación y los incendios forestales, tienen una correlación de  $r = 0$ .

Yudy Roxana ALANIA LAQUI

Oficina de Repositorio Institucional

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

TENDENCIA DE LA DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS  
FORESTALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022 MEDIANTE IMÁGENES  
SATELITALES, EN LOS DISTRITOS DE LLALLI Y CUPI - PUNO

PRESENTADA POR:

YHONY ROLANDO RUELAS VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:   
Dr. JORGE ABAD CALISAYA CHUQUIMIA

PRIMER MIEMBRO

:   
Dr. ANGEL AMADOR MELENDEZ HUISA

SEGUNDO MIEMBRO

:   
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:   
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 15 de enero del 2024

## DEDICATORIA

A Dios que ha sido mi guía, fuerza y su mano de fidelidad y amor ha estado conmigo para cumplir mis metas y objetivos educativos, que con su bendición llena constantemente mi existencia, y a todo mi círculo familiar por estar siempre presentes.

A mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcarme el ejemplo de valores éticos, responsabilidad y respeto.

Por último, me gustaría dedicar esta tesis a todos mis amigos, por ayudarme cuando más lo necesitaba, por tenderme la mano en los momentos más difíciles de mi vida profesional y por el incentivo que me dieron. Los llevaré siempre en mi corazón y mente.

***Yhony Rolando Ruelas Vilca***

## AGRADECIMIENTOS

- A mi **Universidad Privada San Carlos - Puno**, por brindarme una formación profesional de alto nivel para el desarrollo de mi región de Puno.
- De igual manera mis agradecimientos a toda la **Facultad de Ingeniería Ambiental**, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de vosotros por vuestra mansedumbre, fuerza de voluntad, ayuda incondicional y amistad.
- A mis padres por su apoyo incondicional.
- A mi Asesor: **Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda**, quien con su dirección, conocimientos, enseñanza y colaboración, permitió el perfeccionamiento de este trabajo de Investigación.
- Por último, a todos los miembros del jurado por la verificación, revisión para el perfeccionamiento de mi investigación.

**Yhony Rolando Ruelas Vilca**

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11

### CAPÍTULO I

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

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>13</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>14</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	14
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	17
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>20</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

### CAPÍTULO II

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

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>21</b>
---------------------------	-----------

2.1.1. INCENDIOS FORESTALES	21
2.1.2. DEFORESTACIÓN	23
2.1.3. CAMBIO CLIMÁTICO	24
2.1.4. TELEDETECCIÓN	24
2.1.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	28
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>29</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>30</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	30
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>31</b>
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>32</b>
3.2.1. POBLACIÓN	32
3.2.2. MUESTRA	32
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>32</b>
3.3.1. MÉTODOS	32
3.3.2. METODOLOGÍAS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	33
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>37</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1. DISTRIBUCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN Y LOS INCENDIOS FORESTALES PRODUCIDOS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022.</b>	<b>40</b>
<b>4.2. COMPORTAMIENTO DE LAS ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS</b>	

<b>FORESTALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022.</b>	<b>47</b>
<b>4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>51</b>
4.3.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.	52
4.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.	52
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01.</b> Resolución espectral landsat 8.	27
<b>Tabla 02:</b> Clases de calcinación en incendio de áreas boscosas.	36
<b>Tabla 03.</b> Operacionalidad de variables.	38
<b>Tabla 04.</b> Grado de relación.	39
<b>Tabla 05.</b> Resultado de las áreas deforestadas en los distritos de Llalli y Cupi.	40
<b>Tabla 06.</b> Resultados estadísticos de las áreas deforestadas.	42
<b>Tabla 07.</b> Pruebas de normalidad para deforestación.	42
<b>Tabla 08.</b> Resultado de los incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi.	44
<b>Tabla 09.</b> Resultados estadísticos de los incendios forestales.	45
<b>Tabla 10.</b> Pruebas de normalidad para incendios.	46
<b>Tabla 11.</b> Comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales.	48
<b>Tabla 12.</b> Resultados estadísticos de las áreas afectadas por incendios forestales.	49
<b>Tabla 13.</b> Pruebas de normalidad para las áreas afectadas.	50
<b>Tabla 14.</b> Coeficiente de Pearson entre deforestación e incendios forestales.	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01.</b> Incendio forestal (Valencia et al., 2018).	21
<b>Figura 02.</b> Gráfica del triángulo de fuego (Obando et al., 2022).	22
<b>Figura 03.</b> Espectro electromagnético (Zugasti, 2019).	25
<b>Figura 04.</b> Firma espectral (Aguilar, 2022).	26
<b>Figura 05.</b> Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Llalli y Cupi.	32
<b>Figura 06.</b> Diagrama de flujo del trabajo de investigación.	34
<b>Figura 07.</b> Mapa de Áreas deforestadas periodo 2015 - 2022.	41
<b>Figura 08.</b> Gráfico de normalidad de la deforestación.	43
<b>Figura 09.</b> Mapa de los incendios forestales periodo 2015 - 2022.	44
<b>Figura 10.</b> Deforestación y los incendios forestales periodo 2015 - 2022.	46
<b>Figura 12.</b> Mapa de Áreas afectadas por incendios periodo 2015 y 2022.	48
<b>Figura 13:</b> Áreas afectadas por los incendios durante el periodo 2015 - 2022.	50
<b>Figura 14.</b> Gráfico de normalidad de la variable de áreas afectadas.	51
<b>Figura 15.</b> Gráfico de dispersión entre deforestación e incendios.	54
<b>Figura 16.</b> Gráfico de correlaciones en símbolos.	55
<b>Figura 17.</b> Gráfico de correlaciones en numericos.	55

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia.	64
<b>Anexo 02:</b> Descarga de imágenes satelitales Landsat 8.	65
<b>Anexo 03:</b> Geoprocesamiento de las imágenes en R.	69
<b>Anexo 04:</b> Resultado en mapas la deforestación e incendios forestales.	71
<b>Anexo 05:</b> Resultados estadísticos en R.	74
<b>Anexo 06:</b> Script de R para la deforestación e incendios forestales.	75
<b>Anexo 07:</b> Rangos mínimos y máximos del dNBR durante el periodo 2015 - 2022.	77
<b>Anexo 08:</b> Escenarios de riesgos por incendios forestales, CENEPRED - 2022.	80
<b>Anexo 09:</b> Plan de prevención y reducción de incendios forestales.	81
<b>Anexo 10:</b> Panel fotográfico.	82

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificada mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno; se realizó mediante imágenes satelitales Landsat 8 descargadas del (USGS) de acuerdo a los reportes del (SERFOR) y los geoprosesamientos mediante el softwares R-Studio (v4.3.1) y Qgis (v3.26.17). Los datos o registros de la deforestación e incendios se realizaron mediante los índices espectrales como, índice de diferencia normalizado (NDVI) e Índice Normalizado de Área Quemada (NBR); para obtener los datos de las áreas afectadas por los incendios se aplicó el índice de áreas deforestadas por incendios (BSI), desarrollado dentro del softwares R-Studio. Se calcularon un total de 3506.88 Has equivalentes al 44% de deforestación y un total de 52384.36 Has equivalentes al 56% de incendios forestales, también se calculó un total de 5911.66 Has equivalentes al 44% de áreas afectadas por incendios durante el período 2015 - 2022, indicando que los valores cumplen con el supuesto de normalidad siendo paramétricos, de acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson la deforestación y los incendios forestales, tienen una correlación de  $r = 0.9$  muy alta y positiva, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.035$ , comparado con el valor alfa  $\alpha = 0.05$ , concluyendo que los incendios incrementan la deforestación andina.

**Palabras Clave:** Deforestación, imágenes satelitales, incendios, r-Studios, tendencia.

## ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the trend of deforestation and its relationship with forest fires during the period 2015 - 2022 identified through satellite images in the districts of Llalli and Cupi - Puno; It was carried out using Landsat 8 satellite images from the (USGS) according to the reports from (SERFOR) and geoprocessing using the R-Studio (v4.3.1) and Qgis (v3.26.17) software. The data or records of deforestation and fires were carried out using spectral indices such as normalized difference index (NDVI) and Normalized Burned Area Index (NBR); To obtain the data on the areas affected by the fires, the index of areas deforested by fires (BSI) was applied, developed within the R-Studio software. A total of 3506.88 hectares were calculated, equivalent to 44% of deforestation and a total of 52384.36 hectares, equivalent to 56% of forest fires, a total of 5911.66 hectares, equivalent to 44% of areas affected by fires, were also calculated during the period 2015 - 2022. , indicating that the values meet the assumption of normality being parametric, according to Pearson's correlation coefficient, deforestation and forest fires have a very high and positive correlation of  $r = 0.9$ , according to the statistical test  $p$ -value = 0.035, compared to the alpha value  $\alpha = 0.05$ , concluding that fires increase Andean deforestation.

**Keywords:** Deforestation, satellite images, fires, r-studios, trend.

## INTRODUCCIÓN

En los distritos de Llalli y Cupi con una superficie de 445.53 km<sup>2</sup>, son cada vez más frecuentes los incendios en áreas pajonales que dañan la vegetación y degradan el paisaje. Los agricultores son otros responsables de causar los incendios haciendo que incrementen progresivamente y exponencialmente la degradación forestal, y esto se traduce en un desequilibrio ambiental.

La deforestación por incendios en áreas pajonales en el periodo 2010-2020, dentro del distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco". Cuyo objetivo fue indagar sobre la cantidad de deforestación causada por incendios en áreas boscosas en la provincia de Quispicanchis, Cusco, a lo largo de los años 2010 al 2020. Las zonas o lugares con cicatrices de quemas fueron identificadas mediante el análisis de las fotos del satélite Landsat 8, en el programa ArcMap 10.5. Se empleó la salida de "puntos calientes" del sensor MODIS, que se utiliza para identificar incendios. Estos fueron los años 2013, 2019 y 2020 con mayor pérdida de cubierta vegetal, y las superficies afectadas por incendios en áreas boscosas y de pastizales en los resultados fueron de 31,90 ha, 29,12 ha y 116 ha, respectivamente. Con un índice de coeficiente de Pearson de 0,982 y un valor P de 0,00 inferior a 0,05, el análisis estadístico también apoyó una asociación fuerte y efectiva entre la ubicación reforestada y los incendios de áreas boscosas; como resultado, se convirtió en estadísticamente significativa con un nivel de significación del 99% (Guevara, 2021).

La investigación tiene como hipótesis; la tendencia de la deforestación tiene una correlación directa con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificadas mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno.

Las variables constan de dos tipos, la independiente y la dependiente. La independiente es la que causa y está determinada como incendios forestales, la dependiente es el efecto y está determinada como deforestación.

La investigación consta de cuatro capítulos:

En el Capítulo I, se aborda el planteamiento del problema de la investigación, los antecedentes que guardan relación con el tema de investigación y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se muestra el marco teórico que sustenta la investigación donde se define los principales conceptos y se indica las hipótesis planteadas para ser probadas en el estudio.

En el Capítulo III, se llevó a cabo la parte metodológica, de la deforestación y los incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi, el tamaño de la muestra, los métodos estadísticos.

En el Capítulo IV, se exponen los resultados del estudio con el análisis estadístico, persiguiendo los objetivos iniciales, donde se presentan tablas y figuras que muestran los valores estadísticos obtenidos para demostrar lo que se ha planteado, se incluye las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I

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

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Especialmente en las regiones del mundo con importantes zonas boscosas o arboledas, los incendios o la calcinación en zonas boscosas constituyen actualmente uno de los principales problemas medioambientales a escala mundial, y los fenómenos meteorológicos son una de las principales causas de incendios catastróficos en zonas boscosas. La conminación de quema en áreas arboladas depende de muchas variables, asimismo con las altas temperaturas, a la vez con el alto porcentaje de la humedad del suelo, la presencia de vallas, matorrales y áreas arboladas, entre otros. Uno de los hechos alarmantes que amenaza con provocar fenómenos naturales de extrema gravedad es el aumento exponencial de la temperatura (Cárdenas et al., 2019).

En el estado peruano, los incendios en áreas boscosas son más frecuentes entre los meses de agosto, noviembre y están altamente correlacionados con el estado de explotación agrícola, que provoca la quema de pastos, maleza y rastrojos. Aunque el fuego es un regulador natural de algunos ecosistemas, su papel ecológico en el mantenimiento y conservación de los ecosistemas se ha visto empañado por las grandes catástrofes provocadas por su uso excesivo. Del mismo modo, los incendios forestales son un problema perenne que tiene un impacto significativo en los ecosistemas, la

sociedad, la economía y, en particular, la ecología del estado de Perú (Zuleta & Bravo, 2019).

Las cualidades físicas, químicas y orgánicas de los suelos de las zonas boscosas se ven perjudicadas por los incendios, lo que disminuye la fertilidad y productividad del suelo. Estos efectos aumentan la susceptibilidad de los suelos a los agentes erosivos, disminuyen la fertilidad debido a la pérdida de masa orgánica, la desertificación y la pérdida de biodiversidad.

Estas actividades son frecuentes en las zonas de Llalli y Cupi, donde son más generados los incendios en áreas de pastizales que dañan la vegetación y degradan el paisaje. Los agricultores y los cambios climáticos son otras causas de incendios.

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificadas mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es la distribución de la deforestación con los incendios forestales producidos durante el periodo 2015 - 2022?
- ¿Cuál es el comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022?

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

- Jiménez et al., (2016), según su estudio, "Evaluación de los efectos del fuego en áreas forestales del norte de Antioquia (Colombia): Análisis por Paisajes", con el objetivo de entender cómo se comportan espacialmente las distintas zonas boscosas. El proceso consiste en crear mapas de sensibilidad neta (SN), sensibilidad al fuego (SB) y parámetros climáticos y de relieve a escala regional. Ambas métricas se basan en

características florísticas intrínsecas. Las parcelas más gravemente afectadas fueron los pastizales, con un SB (27,19%) y SN (18,38%) muy elevados, mientras que los árboles plantados (al otro lado del embalse de Riogrande II) y los bosques naturales (en el vecindario al noroeste) proporcionaron un SB mínimo. Según los resultados, la mayoría de las clases de SN se encontraban en pequeñas zonas de bosque y sabana (entre 0,3 y 2,1 ha) con poca variación en su tamaño y forma.

- Ocampo (2019), el objetivo del estudio de la investigadora sobre "El método descriptivo de recuperación ambiental en áreas en riesgo por incendios forestales e invasión de retama espinosa en los cerros orientales de Bogotá" es examinar datos sobre variables meteorológicas, florísticas, sociales e institucionales que permitan caracterizar los desastres y su impacto en el ambiente ecosistémico. Finalmente, se sugieren una serie de hallazgos y recomendaciones para el manejo de especies invasoras y el abordaje de problemas interinstitucionales, que permitan la actualización de modelos para potenciales enfoques de restauración.
- Mera (2018), en su tesis que examinó cómo respondió la parroquia de Guangopolo al riesgo de incendios forestales entre 2015 y 2017. Este estudio se centró principalmente en tres metodologías, con el objetivo general de proporcionar una evaluación precisa para la gestión del riesgo de la región de Guangopolo. Los niveles de riesgo de incendio y la probabilidad de que se produzca un incendio pueden determinarse utilizando la técnica del color, junto con las vulnerabilidades dentro de las regiones preventiva y reactiva. Por último, a partir de las responsabilidades institucionales de cada actor en los planes de respuesta a incendios, se realizó una evaluación de los resultados. Basándose en los factores de amenaza y vulnerabilidad, se constató que Guangopolo se encuentra en un nivel medio de peligro.
- Ramírez (2020), su disertación se tituló "Imágenes satelitales: sistema financiero visible, tecnología e incendios en zonas boscosas de Colombia (2019-2020)". El estudio

analizó específicamente el método de dinero visible de la fotografía satelital cerca de incendios en zonas boscosas de Colombia en 2019 y 2020. En este estudio se utilizaron diversas metodologías, entre ellas el trabajo computacional in situ y en laboratorio, entrevistas a especialistas, revisión bibliográfica y el desarrollo de series fotográficas en redes sociales y medios digitales con criterios cuantitativos. Según las conclusiones, las imágenes de los incendios en áreas boscosas están mediadas y vinculadas a la tragedia. Las fotos de satélite forman parte de flujos masivos que viajan fuera del laboratorio a través de sistemas de información geográfica, teledetección y métodos sociotécnicos. Las fotos satelitales lograron consolidar una ciudadanía ecológica y un cuerpo visible diverso de los incendios en las zonas boscosas de Colombia en este sistema financiero de la sierra del fuego.

- Vélez (2020), en su estudio sobre "Evaluación del comportamiento de quemas prehistóricas en áreas boscosas del Cantón Sucre, Manabí, Ecuador, entre 2015 y 2019". El objetivo de este estudio es evaluar las prácticas de quemas históricas en los bosques del Cantón Sucre, Manabí, Ecuador, entre 2015 y 2019. Se han registrado 214 instancias en el periodo de tiempo examinado, lo que corresponde a un porcentaje creciente (34,58%) para el año 2018. Se han producido 42,8 y 17,83 incendios en promedio cada año y mes, respectivamente. De 2015 a 2019, el 74,3% de los incendios ocurrieron entre los meses de agosto y enero, cuando la forma general amplia de ocurrencia alcanzó valores superiores a los típicos mes a mes. Se produjeron incendios en 41 lugares, de los cuales nueve representaron el 37,85% del total. La negligencia fue la culpable del 49,53% de los incendios en total. Se descubrió que en los registros faltaban datos cruciales para estos estudios, como la localización del incendio, sus coordenadas, la causa, el nivel de amenaza, el tipo de incendio, el método utilizado para apagarlo y estadísticas sobre la vegetación.

## 1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Guevara (2021) en su estudio, evaluó "la deforestación por incendios en áreas boscosas en el periodo 2010-2020, dentro del distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco". El objetivo fue indagar sobre la cantidad de deforestación causada por incendios en áreas boscosas en la provincia de Quispicanchis, Cusco, a lo largo de los años 2010 al 2020. Las zonas o lugares con calcinación de quemas fueron determinadas mediante las fotos aéreas del satélite Landsat 8, en el programa ArcMap 10.5. Se empleó la salida de "puntos calientes" del sensor MODIS, que se utiliza para identificar incendios. Esta evaluación se dio durante los años 2013, 2019 y 2020 con mayor descenso de áreas vegetales, y las superficies afectadas por calcinación en áreas arbustivas y de pastizales en los resultados fueron de 31,90 ha, 29,12 ha y 116 ha, respectivamente. Con un índice de coeficiente de Pearson de 0,982 y un valor P de 0,00 inferior a 0,05, el análisis estadístico también apoyó una asociación fuerte y efectiva entre la ubicación reforestada y los incendios de áreas boscosas; como resultado, se convirtió en estadísticamente significativa con un nivel de significación del 99%.
- Malpartida (2016) escribió su tesis sobre el "Riesgo de incendios en las zonas boscosas de la provincia de Satipo-Junín". Averiguar el grado de riesgo de incendios forestales en la provincia de Satipo es el objetivo de este estudio. Fue necesario realizar una evaluación multi estándar de las variables identificadas utilizando la técnica aditiva compensatoria a través del método de jerarquía analítica (MJA), por ser el único método propuesto con asistencia del Instituto Nacional de Defensa Civil - Perú (INDECI), en el cual se menciona que la amenaza es el resultado de la interacción de la vulnerabilidad y el riesgo. En consecuencia, el 15,8% de la provincia de Satipo tiene una probabilidad baja de incendio forestal, el 3,7% tiene una probabilidad alta y el 00,5% tiene una probabilidad completamente baja, lo que da una probabilidad total de incendio forestal del 80,4%. Los futuros preparativos de contingencia y preparación contra los incendios forestales

utilizarán las conclusiones del estudio.

- Mendoza & Rupa (2022) en su estudio sobre la "escasez de cobertura florística por incendios en áreas boscosas a lo largo de los años 2019-2021 dentro de la comuna de San Jerónimo, Cusco". En la comuna cusqueña de San Jerónimo, el objetivo fue conocer la falta de cobertura florística provocada por los incendios en áreas boscosas entre los años 2019 y 2021. El estudio, de carácter no experimental, utilizó fotos del sensor Sentinel 2A para evaluar y cuantificar la magnitud de los daños ocasionados por los incendios en las zonas boscosas, y se procesaron con el programa ArcMap 10.8. Además, se utilizaron el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para caracterizar la ausencia o escasez de cubierta vegetal provocada por los incendios en regiones boscosas. Las superficies quemadas e impactadas en los años 2019, 2020 y 2021, respectivamente, fueron de 500,07 ha, 117 ha y 1397,22 ha. En el mismo sentido, el año 2021, en el que el 18,44% de las áreas cercanas fueron impactadas por incendios en zonas boscosas, fue el de mayor extensión y con mayor pérdida de cobertura florística.
- Fernandez (2019) en su estudio titulado "Evaluación del Área Deforestada debido a los Resultados de los Incendios en las áreas forestales a lo largo de la duración 2011 - 2016 Dentro del Distrito Las Piedras - Tambopata - Madre de Dios". El objetivo fue evaluar el área deforestada como consecuencia de los efectos de los incendios forestales ocurridos entre los años 2011 al 2016. En el abordaje se utilizó el índice quemado normalizado (NBR), que fue personalizado para imágenes Landsat y Sentinel y permitió clasificar las cicatrices o regiones quemadas, para cuantificar las áreas que los incendios han hecho perder su cobertura forestal. Los resultados han sido precisos, con un coeficiente Kappa de 0,8101 y una precisión común del 85,57%. En los años 2011, 2013 y 2016, se produjeron incendios que afectaron a 2 535, 91 ha, 1 720,80 ha y 7 081,74 ha de bosque principal, lugar arbolado secundario y pastizal, respectivamente. Los informes

indican que en 2016, el 66,74%, y en comparación con los años 2011 (36,50%) y 2013 (16,54%), los puntos calientes causan cicatrices o zonas calcinadas.

### 1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Añamuro (2020) Utilizando geotecnologías, realizó el estudio "Detección de Áreas Afectadas por Incendios en Regiones Forestales de la Reserva Nacional del Titicaca en 2016", identificando como objetivo los lugares donde se produjeron incendios forestales en la Reserva Nacional del Titicaca en 2016. Para llevar a cabo el procedimiento sugerido se utilizaron fotos de Landsat 7 TM, Landsat 8 OLI y Sentinel 2, junto con datos espaciales del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). Según los efectos, el sitio 02 de la reserva quemó 8656,222 hectáreas, más que el sitio 01 de la reserva, que quemó 515,464 hectáreas. Este grupo de regiones quemadas registró una severidad que va de baja a leve o media y una reducción de las áreas fotosintéticas de excesiva y media a baja.
- Añamuro et al., (2020) en su presente estudio, que se llevó a cabo en el distrito de Macari-Puno en 2016 después de un incendio que se produjo allí, la zona de estudio se distinguió por tener una cubierta vegetal basada en pastizales andinos. Utilizando el producto MODIS (MCD45A1) y fotos satelitales Landsat 8 OLI, el objetivo de la investigación fue calcular el área quemada y la intensidad del incendio. Utilizando el equivalente del calendario actual del 14 al 25 de agosto como fechas aproximadas de la quema, se utilizó el producto MCD45A1 para determinar el área y el día juliano de las zonas quemadas. A continuación, esta información se confirmó mediante la fusión de bandas RGB (7-6-5), las 2.458.673 hectáreas quemadas se delimitaron utilizando el NBRI y el NBR, y se determinó que el incendio era en gran parte de gravedad baja con 1.385.145 hectáreas, junto con gravedad media con un lugar de 967.568 hectáreas.

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

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

Analizar la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificada mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la distribución de la deforestación y los incendios forestales producidos durante el periodo 2015 - 2022.
- Determinar el comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022.

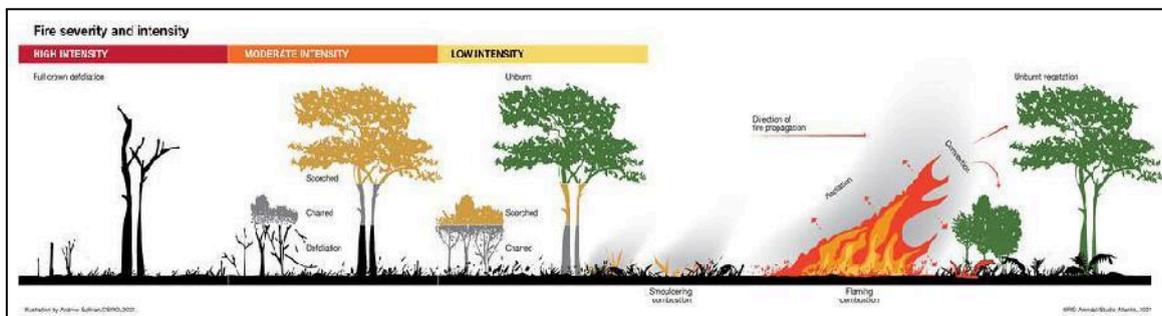
## CAPÍTULO II

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

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. INCENDIOS FORESTALES

Un incendio en áreas forestales es una quema incontrolada que daña el ecosistema y se propaga sobre vegetación leñosa, arbustiva o herbácea viva o muerta. En otras palabras, el fuego destruye vallas, arbustos y otra vegetación. Los combustibles de este incendio fuera de control incluyen madera y arbustos y, a medida que se propaga, tiene el potencial de arrasar todo lo que encuentra a su paso (Valencia et al., 2018).



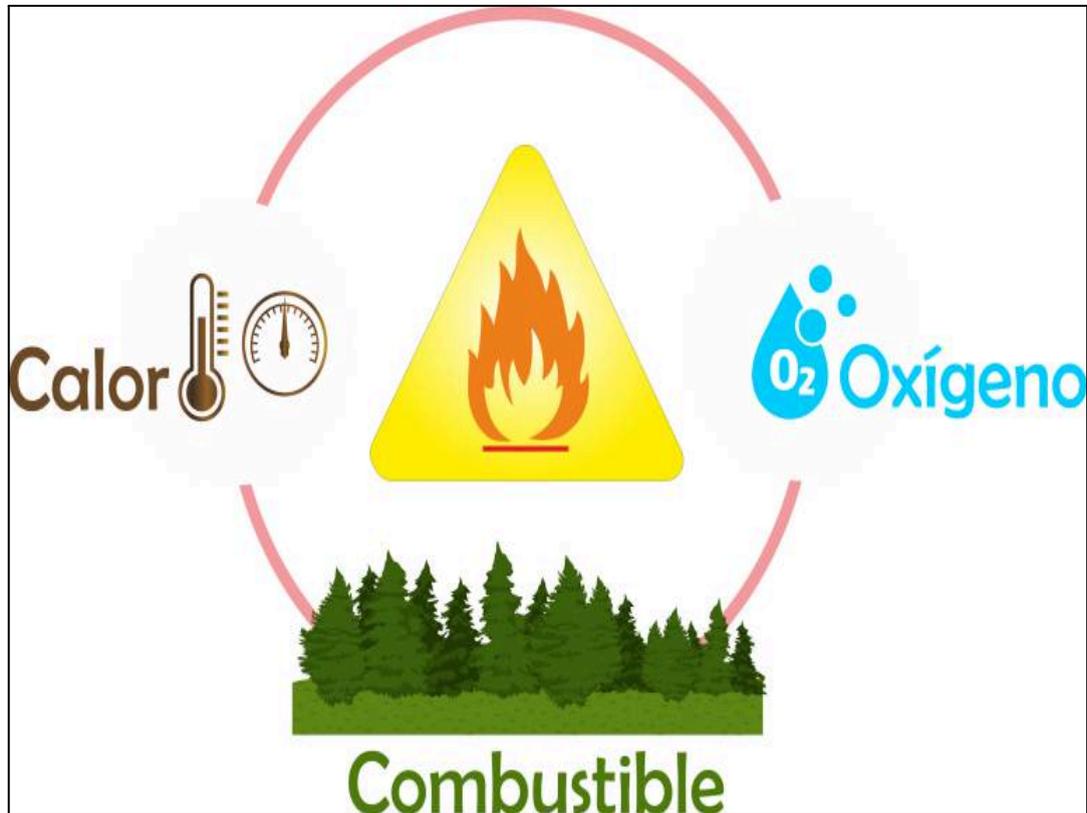
**Figura 01:** Incendio forestal (Valencia et al., 2018).

Un incendio en áreas boscosas es un fuego que se inicia en una zona forestal que no está autorizada a arder y se propaga sin control. Los incendios forestales son un problema que requiere la asistencia de los servicios de seguridad civil y emergencias debido a las implicaciones que tienen para la población civil, sus bienes y el bosque y el medio ambiente (Valencia et al., 2018).

### 2.1.1.1 Triángulo del fuego

Se requiere tres factores para que se genere o propague un incendio en zonas boscosas:

Triángulo del incendio = calor + aire carburante.



**Figura 02.** Gráfica del triángulo de fuego [\(Obando et al., 2022\)](#).

### 2.1.1.2 Causas principales

Según Obando et al., (2022), las principales razones del fuego son:

- ❖ **Accidentes;** roturas de líneas de fuerza, accidentes de automóvil, ferrocarril y avión.
- ❖ **Negligencia;** quemas agrícolas fuera de control, hogueras de excursionistas, personas que fuman, quema de residuos, limpieza de avenidas y uso de chimeneas en diferentes actividades productivas en regiones boscosas.

- ❖ **Intencionada;** quema debida a conflictos entre individuos o grupos, deforestación ilegal o litigios.
- ❖ **Naturales;** movimientos relámpagos o erupciones volcánicas.

#### 2.1.1.3 Efectos principales

Los incendios forestales generan graves daños medioambientales, destrucción de la cubierta vegetal, la muerte y huida de animales, la falta de suelo fértil, la aceleración de la erosión, la desaparición de ecosistemas, las elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> al ecosistema y la desertización, entre otros (Silva et al., 2018).

Impacto como erosión de los suelos, pérdida de nutrientes, reducción de la materia natural, alteración de la cubierta vegetal (Gómez et al., 2016).

#### 2.1.1.4 Incendio de un paisaje

Los resultados muestran un paisaje terrestre más variado y fragmentado, los entornos propensos a los incendios forestales pueden elegirse utilizando características del paisaje relacionadas con el tamaño del fuego (Alva et al., 2018).

Además, ahora tiene resultados de dimensiones imprevisibles no sólo en el ámbito cercano, sino también a escala departamental e internacional, con daños a la naturaleza que repercuten en la salud y la seguridad humana. Entre ellos figuran la disminución de la biodiversidad, las infecciones, la erosión del suelo, la desertización o incluso los cambios meteorológicos (Alva et al., 2018).

### 2.1.2. DEFORESTACIÓN

Son las máximas modificaciones de cada bosques y en regiones particularmente tropicales, con poco estrés demográfico, técnicas de pérdida y deterioro de las regiones boscosas y tropicales donde surgen más las actividades forestales no controladas como resultado de seguro explícito de la mejora monetaria insostenible (Sandoval et al., 2022).

La deforestación se refiere a la reducción de arbustos, eliminándolos por completo, para hacer sitio a otra cosa en su región. El objetivo principal de la deforestación es la

agricultura insostenible e ilegal, que da lugar a plantas comerciales como el aceite de palma (Sandoval et al., 2022).

### **2.1.3. CAMBIO CLIMÁTICO**

El cambio climático es la variante mundial del clima de la Tierra. Este cambio se debe a causas naturales y el movimiento del hombre, se produce en todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitación, nubosidad, y muchos otros., a escalas de tiempo muy excepcionales (Aguirre et al., 2022).

El cambio climático no es simplemente un fenómeno medioambiental, sino que tiene profundas consecuencias monetarias y sociales, los países más pobres, que podrían estar menos organizados para hacer frente al rápido cambio, serán los que sufran los peores resultados (Aguirre et al., 2022)

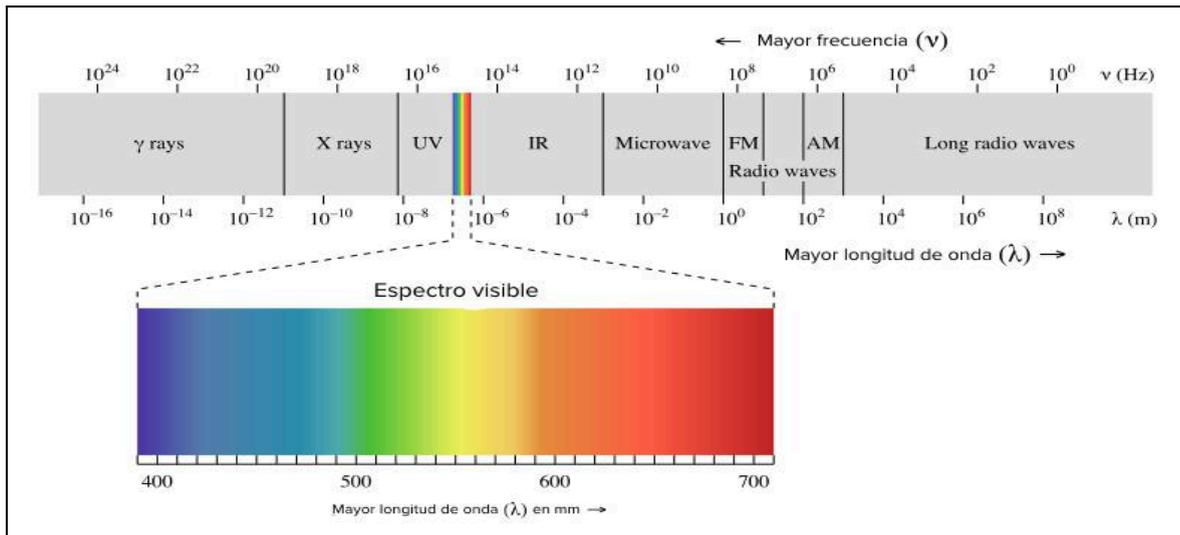
### **2.1.4. TELEDETECCIÓN**

Es la ciencia mediante la cual se puede identificar las características de objetos de interés o de igual forma se pueden analizar dichas características sin la necesidad de realizar contacto directo (Camas et al., 2022).

La detección remota es un método para obtener información de objetos distantes sin tener contacto directo. Esto es posible debido a la existencia o la generación de campos de fuerza entre el dispositivo sensor y el objeto detectado (Delgado & Ruiz, 2022).

#### **2.1.4.1 Electro espectromagnetico**

Los satélites de percepción remota tienen varios sensores que detectan la luz visible, al igual que las fotografías realizadas con cámaras, pero también pueden detectar radiación que los seres humanos no son capaces de ver (por ej. luz infrarroja y las ondas de radar) Todas las imágenes remotas se basan en la medida de la radiación o energía electromagnética que es emitida por un objeto o material (Zugasti, 2019).



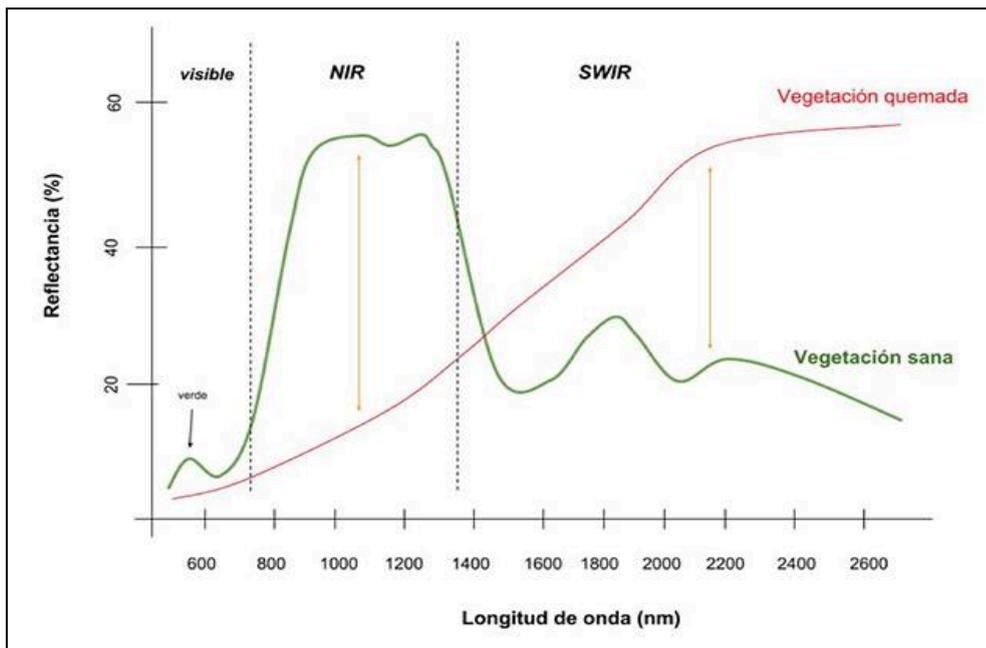
**Figura 03.** Espectro electromagnético (Zugasti, 2019).

#### 2.1.4.2 Firma espectral

Todos los materiales u objetos emiten energía en rangos específicos de longitud de onda, que se les conoce normalmente como espectro o firma espectral. Esto permite identificar los distintos materiales que están presentes en la superficie terrestre aún a grandes distancias (Aguilar, 2022).

Dado que los sensores instalados en satélites son capaces de medir la energía en una amplia gama de longitudes de onda, tienen una enorme ventaja sobre cualquier otro aparato de observación terrestre lejano.

Las firmas espectrales muestran el perfil particular de radiación emitido con la ayuda de elementos únicos situados en el suelo terrestre. Cada elemento ofrece un estadio de respuesta en función de: % radiación medida + % absorbida + % transmitida (Aguilar, 2022).



**Figura 04.** Firma espectral (Aguilar, 2022).

#### 2.1.4.3 Índice Normalizado de Calcinación (NBRI)

La red científica ha proporcionado el Índice Normalizado de Quemaduras (NBRI) para estimar la gravedad de los incendios, concretamente en las áreas boscosas. El NBRI aprovecha las ondas infrarrojas y las bandas espectrales del infrarrojo cercano rápido, que pueden ser sensibles a los ajustes de las flores, para dar con las zonas quemadas y mostrar la restauración del entorno (Campos et al., 2021).

El índice NBR es el último resultado final de la normalización de la diferencia de reflectancia entre una banda cercana al infrarrojo (IR) y una banda del infrarrojo medio. La evaluación entre las reflectancias de esas bandas se asocia a la presencia de vegetación residente.

#### 2.1.4.4 Imagen satelital Landsat 8

Las imágenes Landsat proporcionan datos que responden a los amplios y numerosos deseos de las empresas, la tecnología, la enseñanza, el gobierno y la protección nacional. El reto del Programa Landsat es ofrecer la adquisición repetible de estadísticas

multiespectrales de mediana resolución del suelo terrestre a escala internacional (Rosales & Apaza, 2022).

**Tabla 01.** Resolución espectral landsat 8.

Banda	Nombre	Longitud de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución
1	Aerosol Costa	0.43 - 0.45	30
2	Azul	0.45 - 0.51	30
3	Verde	0.53 – 0.59	30
4	Rojo	0.64 – 0.67	30
5	NIR	0.85 – 0.88	30
6	SWIR 1	1.57 – 1.65	30
7	SWIR 2	2.11 – 2.29	30
8	Pancromática	0.50 – 0.68	15
9	Cirrus	1.36 – 1.38	30
10	TIRS 1(infrarrojo térmico de onda larga)	10.60 – 11.19	100
11	TIRS 2 (infrarrojo térmico de onda larga)	11.50 – 12.21	100

**Fuente:** (USGS, 2014).

Las imágenes satelitales constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1 a 7 y 8 a 11. La banda azul ultra 1 es beneficiosa para la investigación científicas costeras y de aerosoles. La banda 9 es beneficiosa para la determinación de cirros. La resolución espacial para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros de resolución. Las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para presentar temperaturas de suelo más correctas y adquirir hasta cien metros (Silva et al., 2018).

### **2.1.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

El término SIG o Sistema de Información Geográfica (SIG) se utiliza para referirse a numerosos estándares interrelacionados, aunque no por ello distinto. Por un lado, se utiliza para consultar el programa informático o software utilizado para controlar los mapas, y esta es la sensación con la intención de ser utilizado en esas notas (Indekeu Rivas, 2018).

Un sistema de datos geográficos (SIG) es un marco para acumular, tratar y estudiar registros, arraigado en la generación geográfica, el SIG integra diferentes formas de estadística. Analiza áreas y organiza capas de datos especiales para su visualización mediante mapas y escenarios tridimensionales (Silva et al., 2018) .

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

**Incendio:** es el fuego de grandes proporciones que destruye aquello que no siempre está destinado a arder. El surgimiento de un incendio implica la ocurrencia de fuego fuera de manipular, con amenaza a seres residentes, viviendas y cualquier estructura.

**Deforestación:** es la tala de una zona boscosa, eliminando por completo, para hacer sitio a otra cosa en su área.

**Tendencia:** es una sucesión creciente de máximos y mínimos en una trayectoria dada para un periodo de tiempo determinado (Boy, 2021).

**R-Studio:** Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Ofrece funciones de gestión del espacio de trabajo, una consola, gráficos y un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código.

**Qgis:** Es un software de sistema de información geográfica, también es un gadget para acumular, organizar, gestionar, estudiar, compartir y distribuir SIG.

**Clasificación digital:** Se denomina clasificación a la distribución y asignación de categorías que existen en la imagen satelital.

### 2.3. MARCO NORMATIVO

- Con la finalidad de asegurar el desarrollo sostenible a través del adecuado control y seguimiento de la superficie de áreas boscosas y especies del mundo natural, la Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, autorizada mediante Decreto Supremo N° 009-2013-MINAGRI, establece el Eje de Política N° 2 de Sostenibilidad, el cual informa lo siguiente:

Eje político 2. Directriz de sostenibilidad 1: En el marco de un enfoque ecosistémico, conservar, proteger, preservar, mejorar y utilizar de forma sostenible el patrimonio forestal y de vida silvestre de la nación más allá de las plantaciones de zonas boscosas en propiedades privadas y comunales.

- El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, también conocido como SERFOR, la Autoridad Nacional Forestal y de Fauna Silvestre y el Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre, también conocido como SINAFOR, fueron creados por el artículo 13 de la Ley N° 29763, también conocida como Ley Forestal y de Fauna Silvestre. Estos organismos, entre otros, administran y promueven el aprovechamiento sostenible, la conservación y la seguridad de los recursos forestales y del medio natural.

- De acuerdo al enfoque y métodos señalados en el Reglamento de esta Ley, el SERFOR aprueba el Plan Nacional Forestal y de Fauna Silvestre antes de su aplicación a nivel nacional, territorial y municipal. Así lo señala el artículo 24 de la Ley N° 29763. Dicho plan se desarrolla de manera colaborativa y tiene un fuerte énfasis en la gestión de los recursos forestales y de fauna silvestre, los movimientos de gobernanza y las especies vegetales y animales.
- El Plan Nacional Forestal y de Flora y Fauna Silvestres se compone de planes, junto con el Plan de Prevención de Incendios en Zonas Arboladas y Reducción de Riesgos, de acuerdo con el Artículo 17, Párrafo 3 de las Normas.
- El Plan Nacional Forestal y de Fauna Silvestre tiene en cuenta la cruda realidad socioeconómica y medioambiental, que incluye, entre otras cosas, la reforestación y forestación, así como la prevención y gestión de la amenaza de incendios en las zonas boscosas.

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

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La tendencia de la deforestación tiene una correlación directa con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificadas mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La deforestación y los incendios forestales tienen una distribución normal durante los periodos 2015 - 2022.
- Las áreas afectadas por incendios forestales tienen un comportamiento normal durante el periodo 2015 - 2022.

## CAPÍTULO III

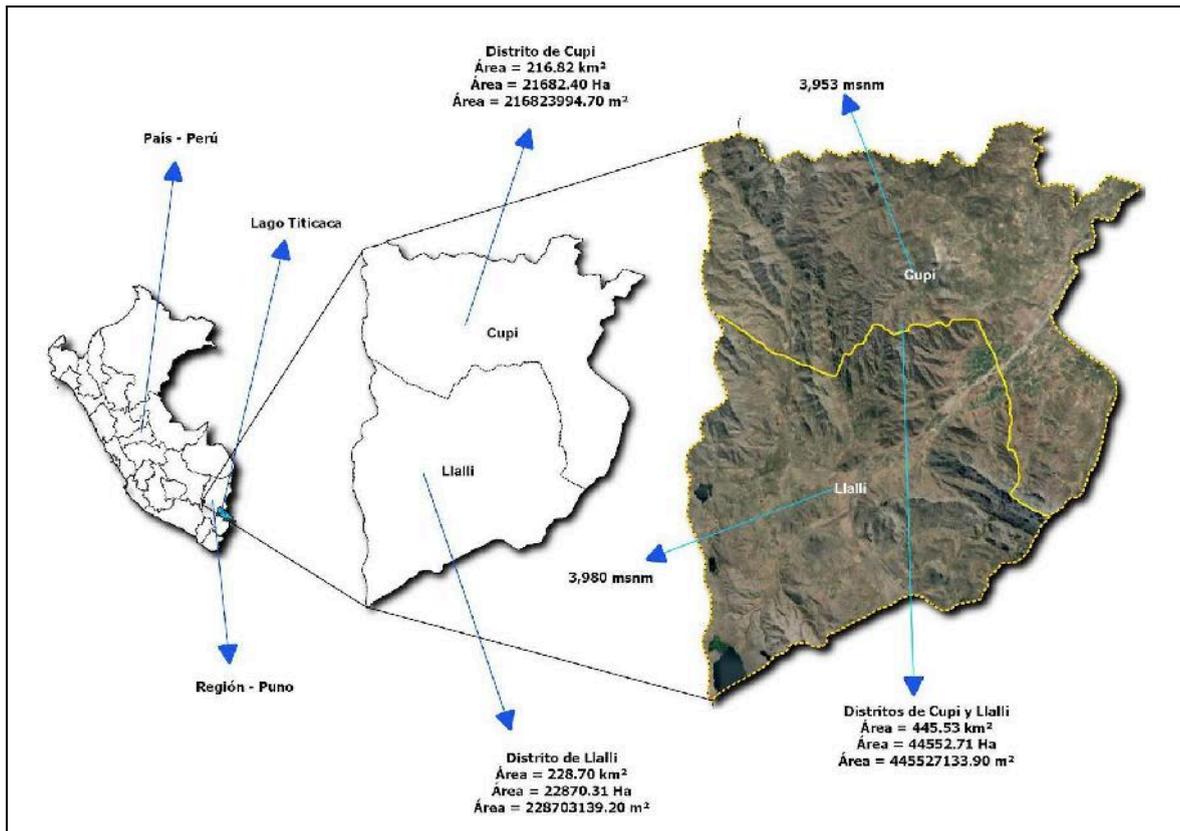
### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en los distritos de Llalli y Cupi, provincia de Melgar, región de Puno, conocida como la capital ganadera del Perú. Ambos distritos cuentan con una superficie de 445.53 km<sup>2</sup>, y una elevación de 3956 m.s.n.m. con una temperatura máxima de 18 °C y una mínima de - 6 °C (SENAMHI, 2023), el distrito de Llalli cuenta con una población de 4.166, y el distrito de Cupi cuenta con una población de 2.516, según el último censo peruano (INEI, 2017). Según L.Goldridge los distritos de Llalli y Cupi se encuentran en la zona de vida bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS).

La actividad principal de su población en ambos distritos es la ganadería, desde tiempos inmemoriales, la crianza de alpacas, llamas, vacunos y ovinos y la vicuña como recurso natural formaban y forman parte de la riqueza de la zona.

Dentro de ambos territorios encontramos un destacado tipo de flora local predominando los pastos naturales como poaceae comúnmente pradera de gramíneas afectadas durante el periodo de estiaje (heladas). El cultivo durante el periodo de lluvias de especies forrajeras asociadas como trébol Rye grass, alfalfa dactylis y avena forrajera, cultivos alimenticios como papa, quinua, trigo, cebada, cañihua, izaño, oca, papalisa cubre casi ambos distritos con popularidad de las tierras altas.



**Figura 05.** Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Llalli y Cupi.

## 3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

Está constituida por las imágenes satelitales correspondientes a los distritos de Llalli y Cupi, con (10) escenas digitales.

### 3.2.2. MUESTRA

Está constituida en los períodos 2015 al 2022, por los distritos de Llalli y Cupi, con un área de 445.53 km<sup>2</sup>. Y por los píxeles de 30 metros de resolución.

## 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

### 3.3.1. MÉTODOS

#### Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva correlacional, ya que se tratará de ver la cuantificación de área deforestada por incendios forestales, así como la correlación entre

incendios forestales y la superficie deforestada. De tipo cuantitativo porque se obtendrán datos estadísticos.

### **Diseño de Investigación.**

El diseño no experimental es cuando no existe manipulación de las variables por parte del investigador.

### **Materiales**

#### ❖ **Equipos**

- Navegador GPS.
- Cámara fotográfica.
- Computadora portátil, impresora, scanner.

#### ❖ **Programas**

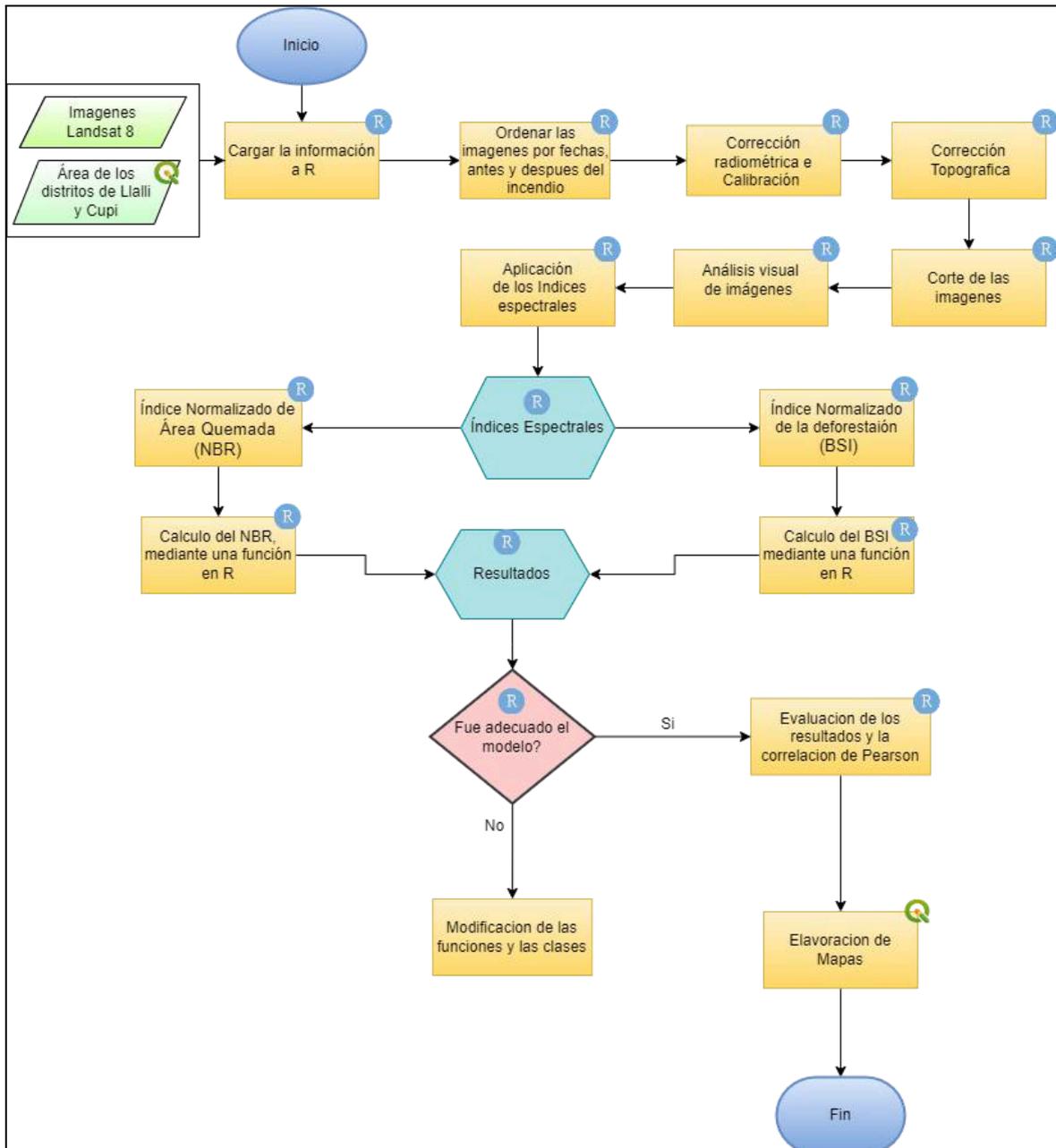
- R-Studio (v4.3.1).
- Qgis (v3.26.17).

### **3.3.2. METODOLOGÍAS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Método inductivo: Se refiere a la habilidad de razón basándose en la inducción, por ello se parte de indicios específicos para crear conclusiones específicas. El método deductivo se define de dos maneras: la primera es diciendo que es el razonamiento que va de lo general a lo particular; la segunda es diciendo que es la diligencia de una regla para generar un resultado (Boy, 2021).

Método deductivo: El cual es un proceso cognitivo que va de lo general a lo específico. Parte de una o varias premisas para determinar una conclusión. Es muy usado en el proceso cotidiano, así como en la investigación científica (Boy , 2021).

Técnica de observación: Es la labor de mirar detenidamente un objeto para asimilar a detalle la naturaleza del todo, su conjunto de datos, hechos y fenómenos entre las misma (Rengifo, 2018).



**Figura 06.** Diagrama de flujo del trabajo de investigación.

**Metodología para el objetivo específico O1:** Determinar la distribución de la deforestación y los incendios forestales producidos durante el periodo 2015 al 2022. Para identificar la deforestación, severidad de incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi, realizados con el software R-Studio.

### Obtención de la imagen Landsat 8

Las imágenes satelitales Landsat 8 se han obtenido dentro de la plataforma llamada Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), con valores digitales y al menos del 10 % de nubosidad. Las imágenes satelitales de los años 2015 al 2022 obtenidas con valores digitales, se hizo la corrección de valores digitales a valores de reflectancia y topográficas dentro del software de programación R-Studio, utilizando “*las librerías landsat 8, raster, sf y dplyr*”, creando un script en general.

### **Cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)**

Dentro del software de programación R-Studio se crearon funciones para la ejecución de los índices espectrales, con las librerías “*raster y dplyr*”. Se calcularon mediante las bandas correspondientes al infrarrojo cercano y el infrarrojo medio de onda corta, mismas que se aplican a imágenes de antes y después del incendio. A continuación, se muestra la ecuación que se ha utilizado para determinar el índice normalizado de áreas quemadas con la siguiente ecuación propuesta por (USGS, 2014).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR 2)}{(NIR + SWIR 2)}$$

$$NBRI (Landsat 8) = (Banda 5 - Banda 7) / (Banda 5 + Banda 7)$$

#### **Donde:**

**NIR** = Reflectividad del píxel de la banda infrarroja cercana.

**SWIR 2** = Reflectividad del píxel de la banda infrarroja de onda corta.

### **Proporción Quemada Normalizada Delta ( $\Delta$ NBR).**

La  $\Delta$ NBR, determina los valores de severidad de los incendios Forestales, con la fórmula siguiente:

$$\Delta NBR = NBR_{Antes} - NBR_{Después}$$

El dNBR se utilizó para calibrar la intensidad de un incendio, ya que valores de dNBR mayores indican daños más graves, mientras que valores de dNBR menores también podrían indicar una mayor productividad de la flora. Con la ayuda del USGS, los dNBR

pueden clasificarse de acuerdo con los niveles de gravedad de los incendios previstos (USGS, 2017).

**Tabla 02:** Clases de calcinación en incendio de áreas boscosas.

N°	Rampa de Colores	Clases de Incendios Forestales	dNBR
1		Aumento de la vegetación luego de haber estado al fuego	< -0,25
2		Descenso de la vegetación luego de haber estado al fuego	-0,25 – 0,1
3		Regiones estables o no quemadas	-0,1 – 0,1
4		Zonas quemadas de severidad baja	0,1 – 0,27
5		Regiones quemadas de severidad moderada-baja	0,27 – 0,44
6		Regiones quemadas con severidad moderada-excesiva	0,44 – 0,66
7		Zonas quemadas con severidad excesiva	> 0,66

**Fuente:** USGS, rampa de colores determinados por (UN-SPIDER, 2015).

En cuanto a la deforestación se realizó con el índice de diferencia normalizado (NDVI), dentro del software de programación R-Studio con las librerías “*raster* y *dplyr*”. Se crearon funciones para la ejecución de los índices espectrales mediante la siguiente ecuación propuesta por (USGS, 2013):

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

$$NDVI (Landsat 8) = (Banda 5 - Banda 4) / (Banda 5 + Banda 4)$$

**Donde:**

**NIR** = Reflectividad del píxel de la banda infrarroja cercana.

**Red** = Reflectividad del píxel de la banda de luz reflejada al rojo visible.

**Metodología para el objetivo específico O2:** Determinar el comportamiento de las

áreas afectadas por los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022. Para la obtención de los registros de deforestación por incendios forestales, se realizaron con los resultados obtenidos del objetivo específico O1, los cuales ya procesados, luego se importaron las imágenes satelitales, o los resultados al software de programación R-Studio para realizar los cálculos del raster. Luego “con las funciones creadas dentro de R, utilizando las librerías (raster, dplyr, sf y sp) ” se determinó la deforestación utilizando el Índice de áreas deforestadas (BSI) empleando la siguiente ecuación:

$$BSI = \frac{((SWIR\ 1 + RED) - (NIR + BLUE))}{((SWIR\ 1 + RED) + (NIR + BLUE))}$$

**Donde:**

SWIR 1 = Landsat (Banda 6).

RED = Landsat (Banda 4).

NIR = Landsat (Banda 5).

BLUE = Landsat (Banda 2).

Luego en el software de programación R-Studio con los “scripts ejecutados” se calcularon para los periodos de evaluación (2015 y 2022), las tasas de cambio se calcularon utilizando la ecuación propuesta por (FAO,1995).

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

Donde:

Td = Tasa de deforestación en porcentajes.

S2 = Área arboleda en el año final.

S1 = Área arboleda en el año inicial.

n = Número de años del periodo de análisis.

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Incendios forestales

Efecto o variable dependiente (VD): Deforestación.

**Tabla 03.** Operacionalidad de variables.

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPOS DE VARIABLES
(VI)		Ha	
Incendios forestales	Áreas Quemadas	%	Independiente
(VD)			
Deforestación	Áreas sin cobertura	%	
		Ha	Dependiente

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El siguiente paso es analizar si los valores son paramétricos o no paramétricos, para calcular se utilizó la pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, si en caso no sean paramétricos los datos se utilizará Spearman o Kendall, si es lo contrario se sigue con el coeficiente de correlación de Pearson entre las zonas deforestadas y los incendios. Esta técnica se llevará a cabo con los programas y software estadísticos R-Studio llamando a las librerías “*readxl, rstatix, ggpubr, stats*” y OpenOffice Excel. Mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\Sigma(x - m_x)(y - m_y)}{\sqrt{\Sigma(x - m_x)^2 \Sigma(y - m_y)^2}}$$

Para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utilizó la siguiente tabla:

**Tabla 04.** Grado de relación.

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

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

**Para contrastar las hipótesis:**

Se procedió del siguiente modo; teniendo en cuenta que se quiere analizar la deforestación por los incendios forestales en los años 2015 y 2022 en los distritos de Llalli y Cupi, se usó el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis Regresión Lineal Simple de pearson, en el software estadísticos R-Studio, aplicando el siguiente criterio, un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  y un nivel de confianza al 95%.

**Criterio para decidir:**

P-valor =  $< \alpha$ , se rechaza la HN (Se acepta la HA).

P-valor =  $> \alpha$ , se acepta la HN (Se rechaza la HA).

## CAPÍTULO IV

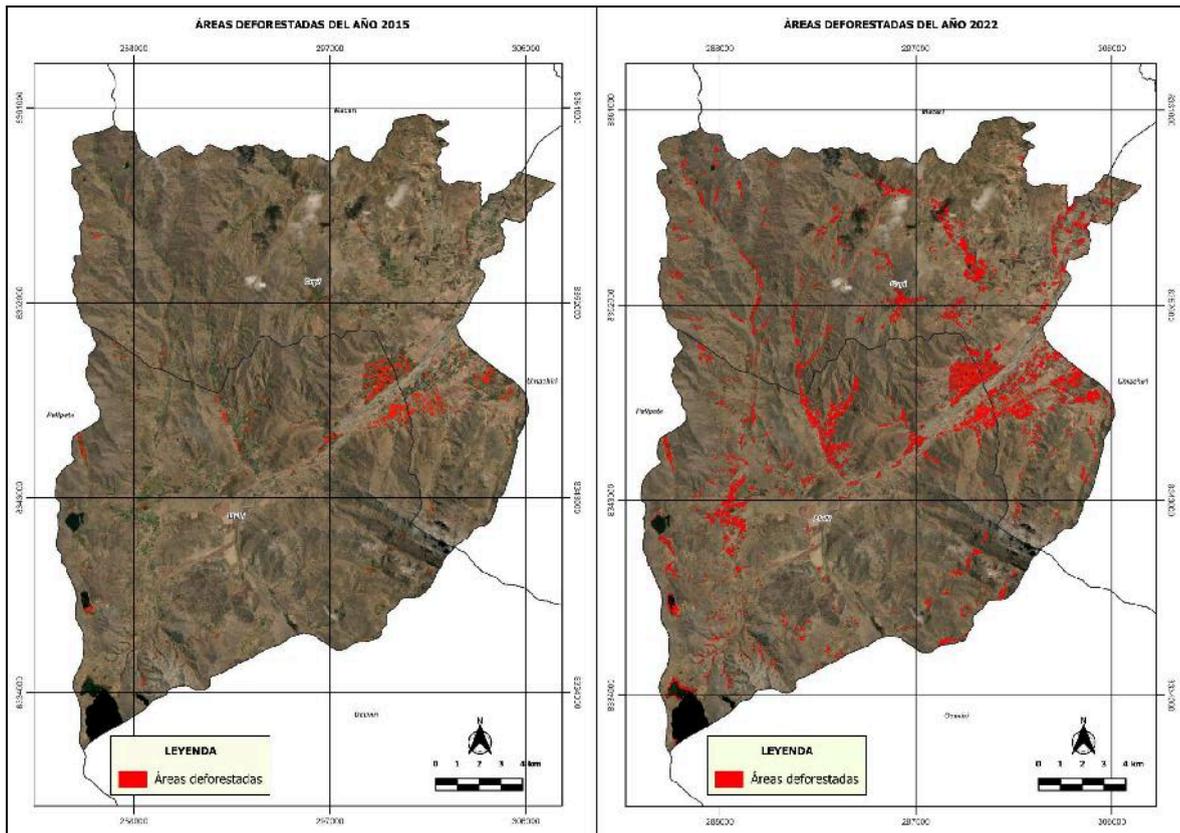
### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. DISTRIBUCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN Y LOS INCENDIOS FORESTALES PRODUCIDOS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022.

Se determinó la distribución de la deforestación en los distritos de Llalli y Cupi durante los 2015 al 2022. de acuerdo con las imágenes satelitales Landsat 8 del sensor OLI, luego de haber corregido los valores digitales a reflectancias y topográficas como se muestra en el (Anexo 03), la adquisición de descarga y fechas se tomaron de acuerdo a los reportes del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), como se detalla en los (Anexos 02 y 07).

**Tabla 05.** Resultado de las áreas deforestadas en los distritos de Llalli y Cupi.

<b>Años</b>	<b>Mes</b>	<b>Deforestación (Ha)</b>	<b>Deforestación (%)</b>
2015	Agosto	253.91	7
2017	Octubre	329.87	9
2019	Septiembre	676.58	19
2021	Julio	1039.15	30
2022	Octubre	1207.37	34
<b>Total</b>		<b>3506.88</b>	<b>100</b>



**Figura 07:** Mapa de Áreas deforestadas periodo 2015 - 2022.

En la tabla 05 y figura 07 se muestran las distribución de áreas deforestadas durante en los años 2015 y 2022, en los distritos de Llalli y Cupi, donde el año 2015 se tuvo una deforestación de 253.91 Ha, en el año 2017 de 329.87 Ha, año 2019 de 676.58 Ha, en el año 2021 de 1039.15 Ha y en el año 2022 una deforestación de 1207.37 Ha, también los resultados muestran que el mayor porcentaje de deforestación se tuvo en el año 2022 con un total de 34%; además con respecto al estudio realizado por **(Jiménez et al., 2016)** en sus resultados menciona que hubo una deforestación de (27,19% en el año 2015) y (18,38% en el año 2014) en el norte de Antioquia del Riogrande II de Colombia. También con respecto al estudio realizado por: **(Guevara, 2021)** en sus resultados menciona que hubo una deforestación de 31,90 ha, 29,12 ha y 116 ha, respectivamente en los años 2010 y 2020, dentro del distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco.

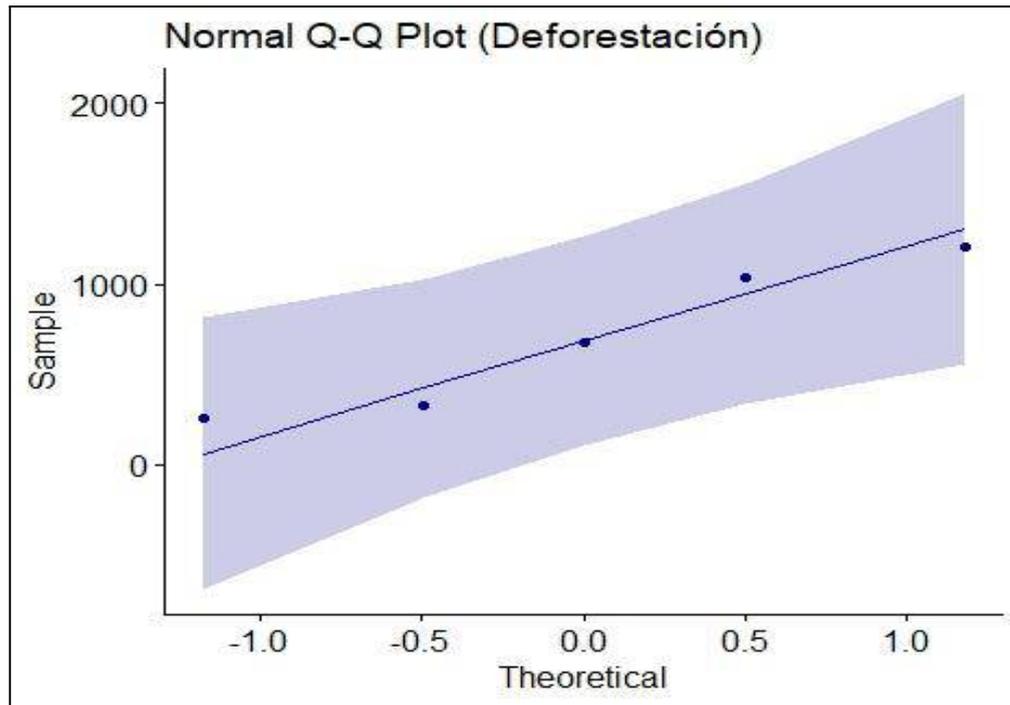
**Tabla 06.** Resultados estadísticos de las áreas deforestadas.

Media	Mediana	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
701.37	676.58	177244.63	421	253.91	1207.37

En la tabla 06 se presentan los valores mínimos de la deforestación que fueron de 253.91 Ha para el año 2015 y valores máximos de 1207.37 Ha para el año 2022, claramente muestran los resultados que la deforestación en los distritos de Llalli y Cupi están creciendo cada año, durante los 8 años la deforestación tuvo un promedio de 701.37 Ha.

**Tabla 07.** Pruebas de normalidad para deforestación.

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)		
Variable	Statistic	p-value
Deforestación	0.914	0.491



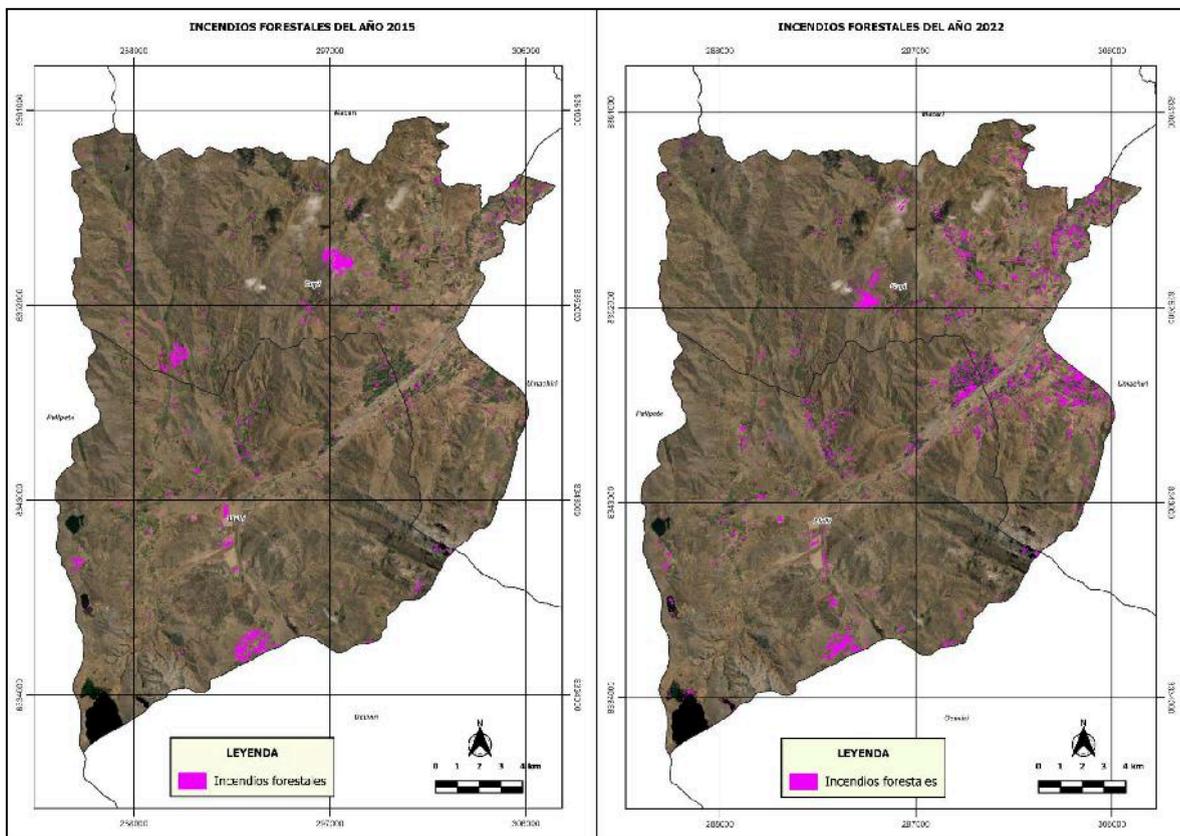
**Figura 08.** Gráfico de normalidad de la deforestación.

En la tabla 07 y figura 08 se muestra, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de deforestación con una distribución normal durante el periodo 2015 - 2022, de acuerdo al p-valor 0.491, que es mayor a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de deforestación se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que cumple con el supuesto de normalidad, indicando que los valores de la deforestación son paramétricos.

En cuanto a la distribución de los incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi durante los periodos 2015 y 2022. de acuerdo con las imágenes satelitales Landsat 8 del sensor OLI, luego de haber corregido de valores digitales a reflectancias y topográficas como se muestran en el (Anexo 03), la adquisición de descarga y fechas se tomaron de acuerdo a los reportes del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), como se detalla en los (Anexos 02 y 07).

**Tabla 08.** Resultado de los incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi.

<b>Años</b>	<b>Mes</b>	<b>Incendios (Ha)</b>	<b>Incendios (%)</b>
2015	Agosto	461.87	9
2017	Octubre	911.14	18
2019	Septiembre	859.99	17
2021	Julio	1203.59	23
2022	Octubre	1698.27	33
<b>Total</b>		<b>52384.36</b>	<b>100</b>



**Figura 09.** Mapa de los incendios forestales periodo 2015 - 2022.

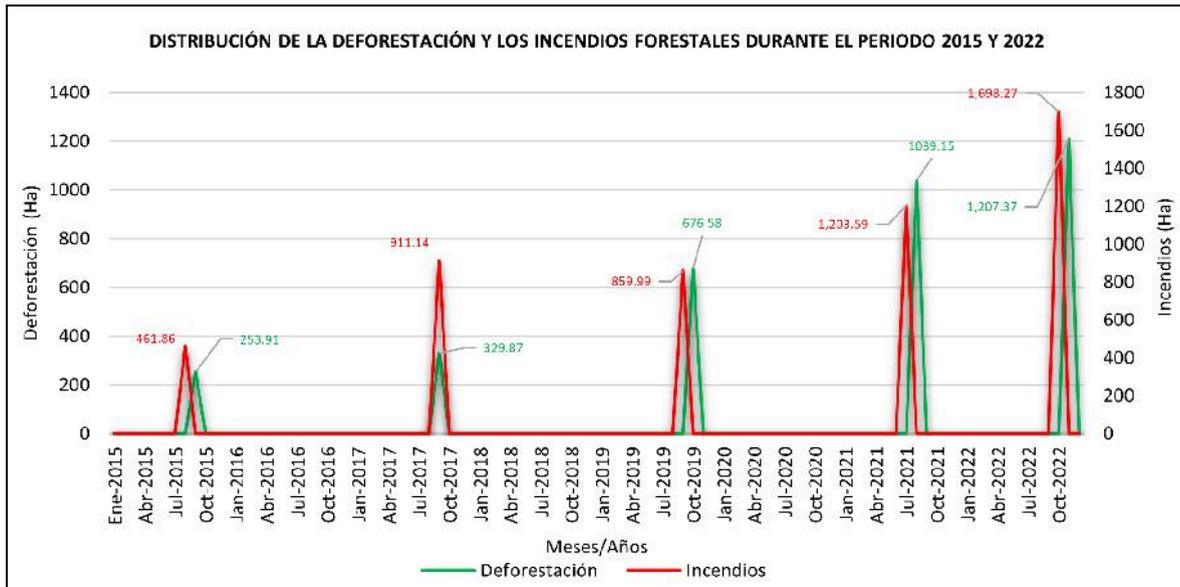
En la tabla 08 y figura 09 se muestran las distribuciones de los incendios forestales durante los años 2015 al 2022, en los distritos de Llalli y Cupi, en el año 2015 se tuvo un incendio forestal afectando 461.87 Ha, en el año 2017 y un incendio forestal de 911.14 Ha, en el año 2019, un incendio forestal de 859.99 Ha, en el año 2021 un incendio

forestal de 1203.59 Ha y en el año 2022 un incendio forestal de 1698.27 Ha, también los resultados muestran que el mayor porcentaje de incendios se tuvo en el año 2022 con un total de 33%; además con respecto al estudio realizado por **(Malpartida, 2016)** en sus resultados el 15,8% de la provincia de Satipo - Junín tiene una probabilidad baja de incendio forestal en el año 2013 y para el año 2015 una probabilidad total de incendio forestal del 80,4%. También con respecto al estudio realizado por, **(Mendoza & Rupa, 2022)** en su resultado obtuvo superficies quemadas e impactadas en los años 2019, 2020 y 2021, respectivamente, con 500,07 ha, 117 ha y 1397,22 ha. En el mismo sentido, el año 2021, en el que el 18,44% de las áreas cercanas fueron impactadas por incendios en zonas boscosas, con mayor extensión y mayor pérdida de cobertura florística.

**Tabla 09.** Resultados estadísticos de los incendios forestales.

<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
1026.97	911.14	210621.6	458.9	461.86	1698.27

En la tabla 09 se presentan los valores mínimos de los incendios forestales mostrando 461.86 Ha para el año 2015 y valores máximos de 1698.27 Ha para el año 2022, claramente los resultados muestran, que los incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi están creciendo cada año, durante estos 8 años los incendios forestales tuvieron un promedio de 1026.97 Ha.

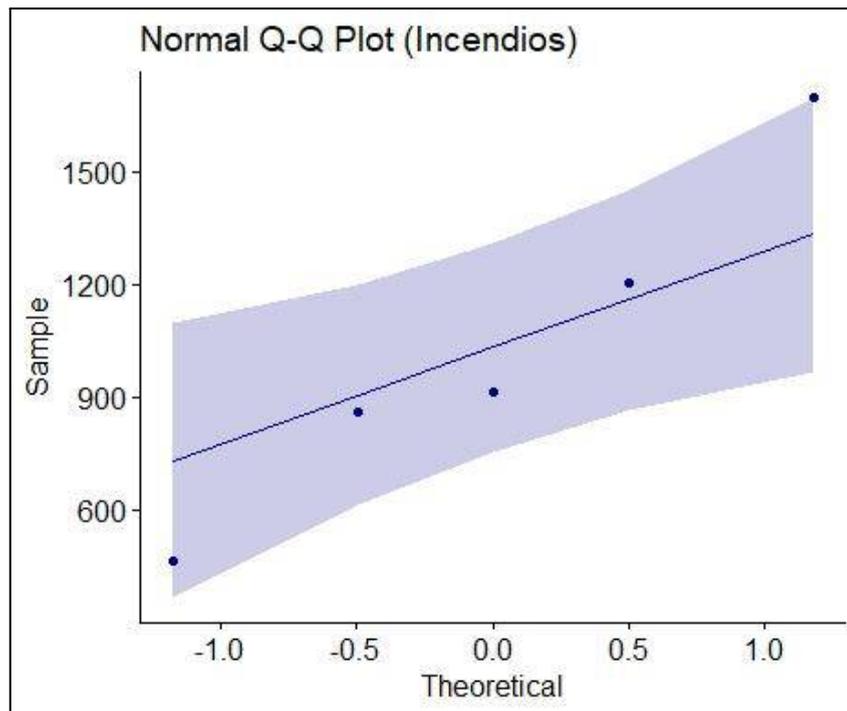


**Figura 10.** Deforestación y los incendios forestales periodo 2015 - 2022.

En la figura 10 se muestra la deforestación y los incendios forestales distribuidos durante los años 2015 al 2022, claramente se puede ver que los incendios forestales está creciendo exponencialmente durante los años transcurridos al igual que la deforestación, mostrando niveles muy alto en los años 2017, 2021 y 2022, en relación al estudio realizado por (Mera, 2018) al realizar una evaluación, basándose en los factores de amenaza y vulnerabilidad, se constató que Guangopolo Ecuador entre 2015 y 2017 encuentra en un nivel medio de peligro, concluyendo que los incendios al igual que la deforestación está creciendo de forma exponencial.

**Tabla 10.** Pruebas de normalidad para incendios.

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)		
Variable	Statistic	p
Incendios	0.972	0.885



**Figura 11.** Gráfico de normalidad de la variable incendios

En la tabla 10 y figura 11 se muestran, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de los incendios si tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2022. de acuerdo a que, el p-valor es 0.885, (con un nivel de significancia al 95%). Por ello se concluye que, los valores de los incendios se distribuyen de forma normal, por lo que podemos indicar que si cumple con el supuesto de normalidad, también indicando que los valores de los incendios son paramétricos.

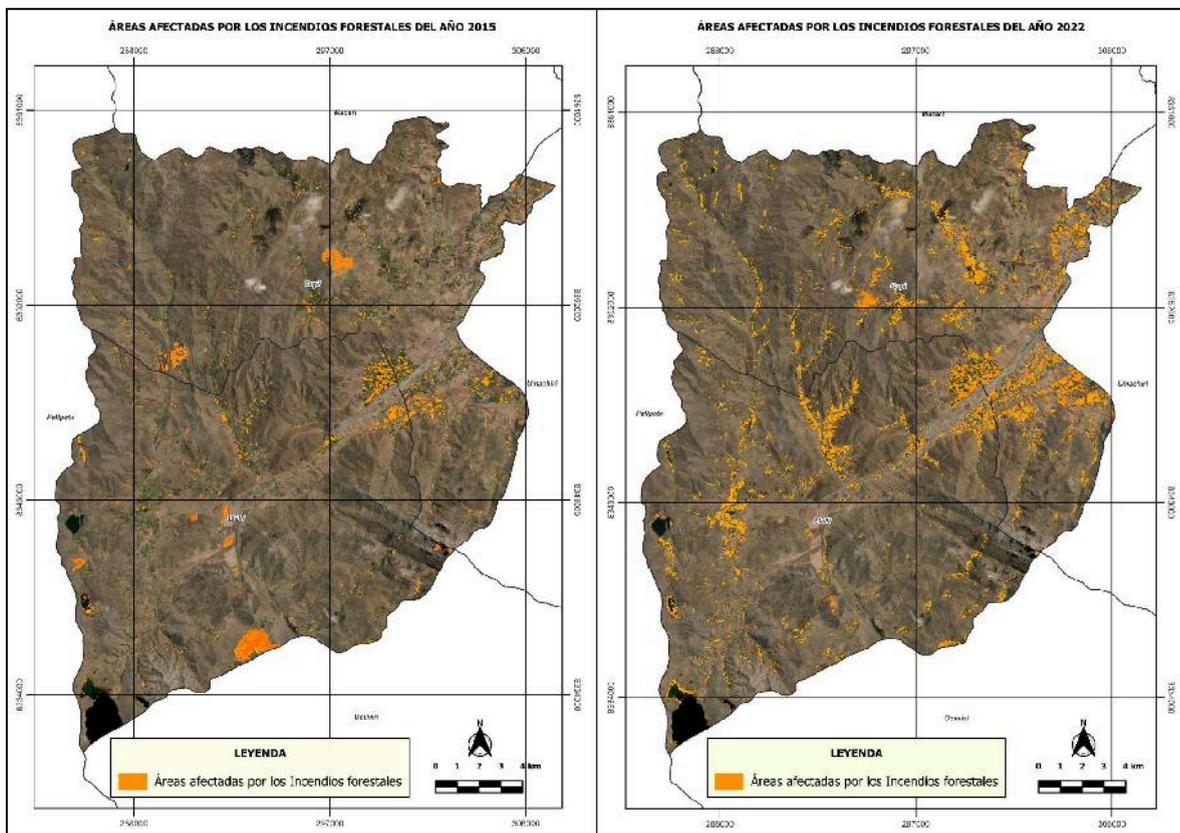
#### **4.2. COMPORTAMIENTO DE LAS ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS**

##### **FORESTALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022.**

Se determinaron el comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales en los distritos de Llalli y Cupi durante los periodos 2015 y 2022. De acuerdo con las imágenes satelitales Landsat 8 del sensor OLI, luego de haberse corregido de valores digitales a reflectancias y topográficas como se muestra en el (Anexo 03), las adquisición de descarga y fechas se tomaron de acuerdo a los reportes del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), como se detalla en los (Anexos 02 y 07).

**Tabla 11.** Comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales.

<b>Años</b>	<b>Mes</b>	<b>Áreas afectadas (Ha)</b>	<b>Áreas afectadas (%)</b>
2015	Agosto	615.77	10
2017	Octubre	1041.01	18
2019	Septiembre	996.57	17
2021	Julio	1342.74	23
2022	Octubre	1915.57	32
<b>Total</b>		<b>5911.66</b>	<b>100</b>



**Figura 12:** Mapa de Áreas afectadas por incendios periodo 2015 y 2022.

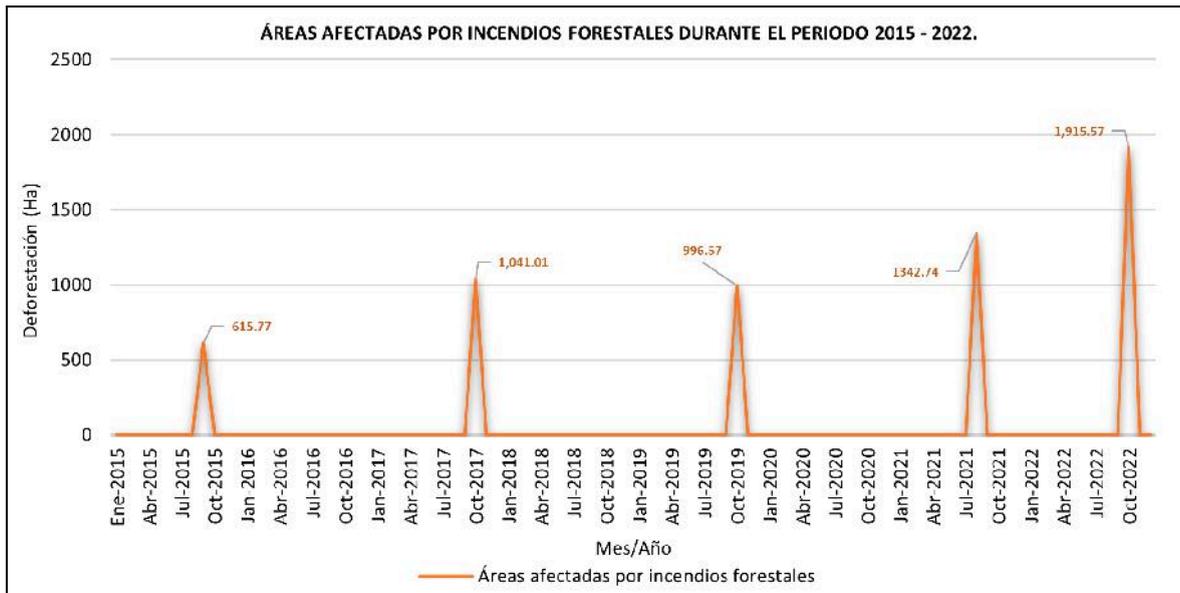
En la tabla 11 y figura 12 se muestran las áreas afectadas por los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022, en los distritos de Llalli y Cupi, en el año 2015 se tuvo áreas afectadas de 615.77 Ha, en el año 2017 áreas afectadas de 1041.01 Ha, en el año

2019 áreas afectadas de 996.57 Ha, en el año 2021 área afectadas de 1342.74 Ha y en el año 2022 áreas afectadas de 1915.57 Ha, también los resultados muestran que el mayor porcentaje de la deforestación se tuvo en el año 2022 con un total de 32%; además con respecto al estudio realizado por **(Fernandez, 2019)** en los años 2011, 2013 y 2016 del distrito Las Piedras, se produjeron incendios que afectaron a 2 535, 91 ha, 1 720,80 ha y 7 081,74 ha de bosque principal, lugar arbolado secundario y pastizal, respectivamente. Los informes indican que en 2016, el 66,74%, y en comparación con los años 2011 (36,50%) y 2013 (16,54%), los puntos calientes causan cicatrices o zonas calcinadas.

**Tabla 12.** Resultados estadísticos de las áreas afectadas por incendios forestales.

Media	Mediana	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
1182.33	1041.01	234710.15	484.46	615.77	1915,57

En la tabla 12 se presentan los valores mínimos de las áreas afectadas por incendios con 615.77 Ha para el año 2015 y valores máximos de 1915,57 Ha para el año 2022, claramente nos muestran los resultados, que las áreas afectadas por los incendios en los distritos de Llalli y Cupi están aumentando cada año, durante los 8 años, las áreas afectadas por incendios tuvo un promedio de 1182.33 Ha.

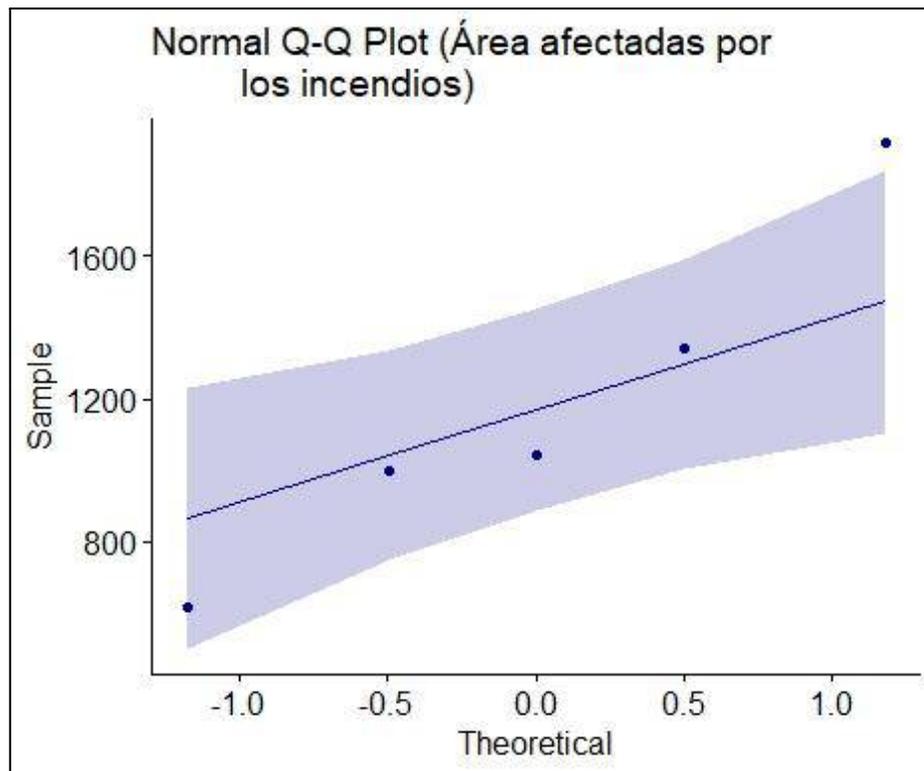


**Figura 13:** Áreas afectadas por los incendios durante el periodo 2015 - 2022.

En la figura 13 se muestra un gráfico estadístico de las áreas afectadas por los incendios durante los años 2015 al 2022, claramente se puede ver que las áreas afectadas se incrementaron exponencialmente durante los años transcurridos, teniendo niveles muy altos en los años 2017, 2021 y 2022.

**Tabla 13.** Pruebas de normalidad para las áreas afectadas.

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)		
Variable	Statistic	p
Áreas afectadas	0.956	0.781



**Figura 14.** Gráfico de normalidad de la variable de áreas afectadas.

En la tabla 13 y en figura 14 se muestran, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las áreas afectadas si tienen una distribución normal durante los periodos 2015 - 2022. De acuerdo a que, el p-valor es 0.781, (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de las áreas afectadas se distribuyen de forma normal, por lo que podemos indicar que si cumple con el supuesto de normalidad, también indicando que los valores de las áreas afectadas son paramétricos.

#### 4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

##### Regla de decisiones:

P-valor =  $< \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_A$ ).

P-valor =  $> \alpha$ , se acepta la  $H_0$  (Se rechaza la  $H_A$ ).

Indicando que la hipótesis nula está indicada con ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna está indicada con ( $H_A$ ), donde también se indica que el nivel de significancia es  $\alpha = 0.05$ , con un nivel de confianza al 95%.

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

##### **Formulación de la hipótesis estadística**

**$H_A$**  = La deforestación y los incendios forestales si tienen una distribución normal durante los periodos 2015 - 2022.

**$H_0$**  = La deforestación y los incendios forestales no tienen una distribución normal durante los periodos 2015 - 2022.

##### **Resultado de la prueba de hipótesis**

En la tabla 14 y en las figuras 15, 16 y 17, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la deforestación y los incendios forestales; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se ha obtenido un valor de significancia de p-valor 0.035, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta:

**Hipótesis Alterna** = La deforestación y los incendios forestales si tienen una distribución normal durante los periodos 2015 - 2022.

#### **4.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.**

##### **Formulación de la hipótesis estadística**

**$H_A$**  = Las áreas afectadas por incendios forestales si tienen un comportamiento normal durante el periodo 2015 - 2022.

**$H_0$**  = Las áreas afectadas por incendios forestales no tienen un comportamiento normal durante el periodo 2015 - 2022.

##### **Resultado de la prueba de hipótesis**

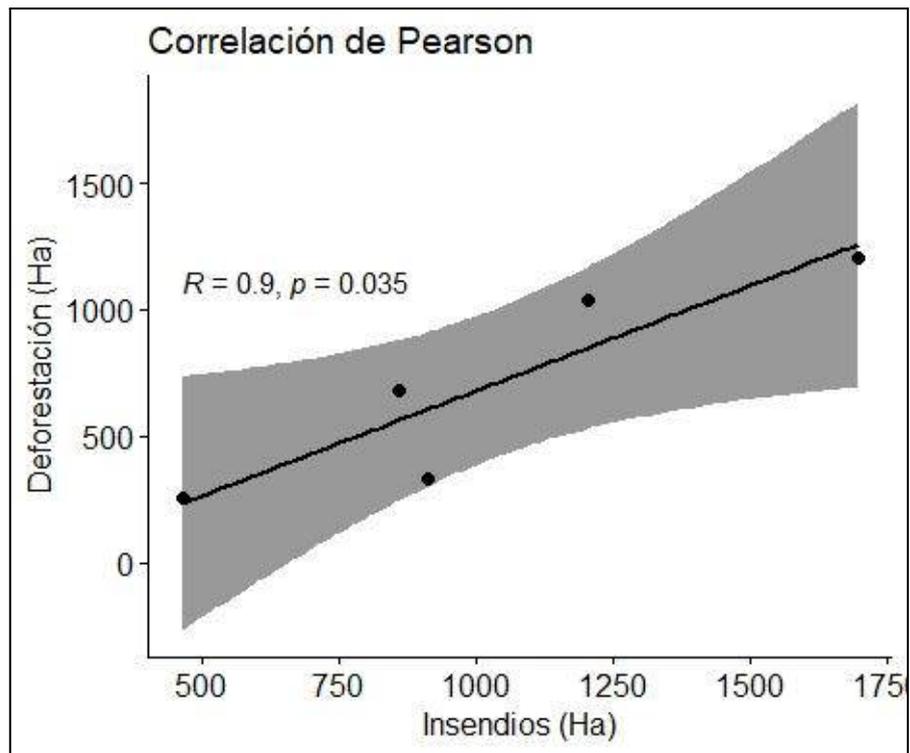
En la tabla 14 y en las figuras 15, 16 y 17, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de las áreas afectadas por incendios forestales; indicando que de

acuerdo a la prueba estadística se ha obtenido un valor de significancia de p-valor 0.035, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta:

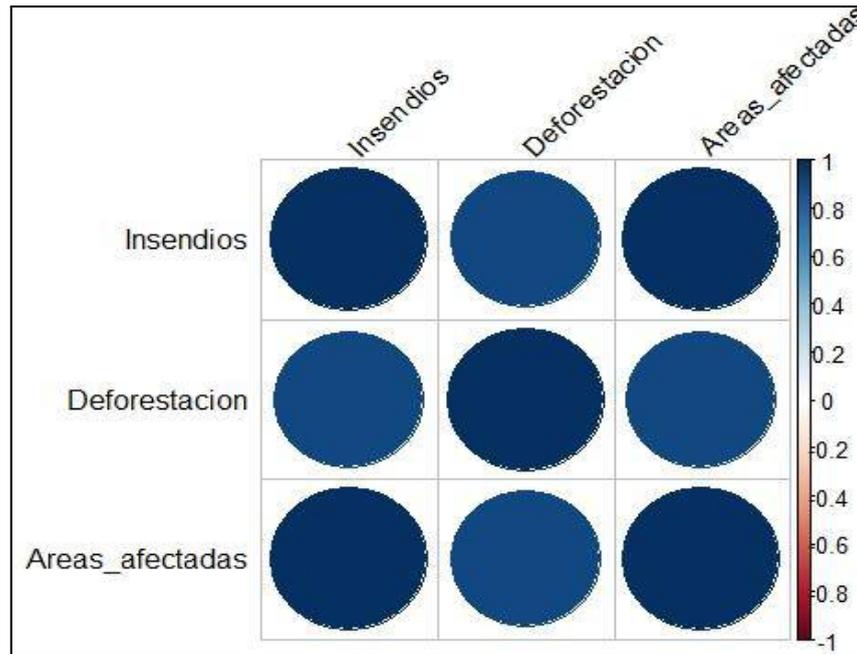
**Hipótesis alterna** = Las áreas afectadas por incendios forestales si tienen un comportamiento normal durante el periodo 2015 - 2022.

**Tabla 14.** Coeficiente de Pearson entre deforestación e incendios forestales.

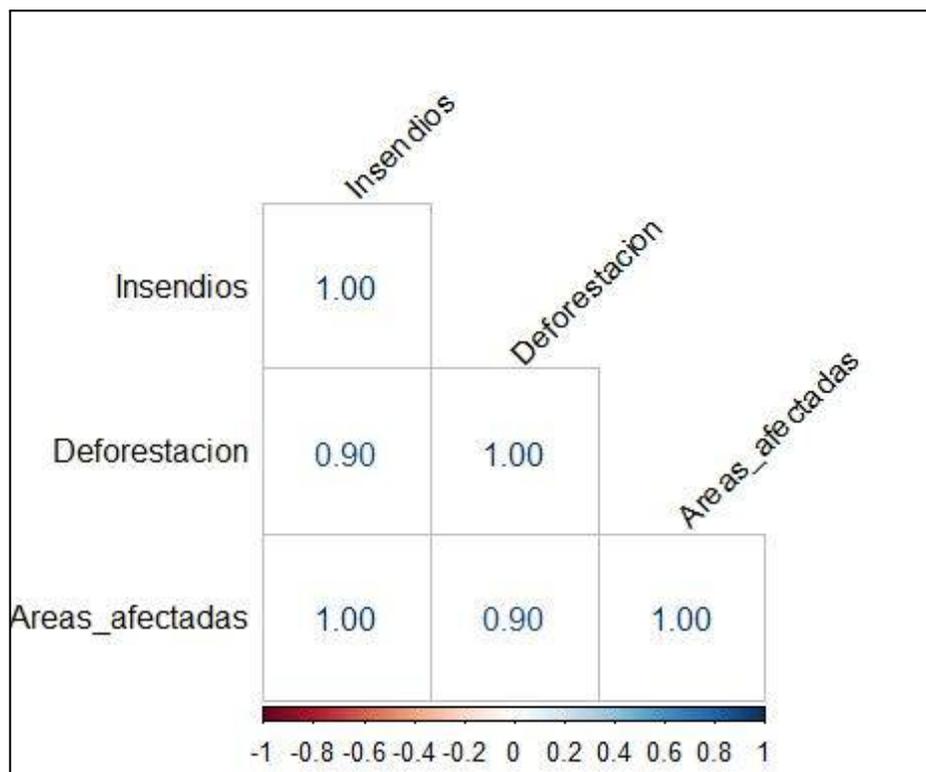
		<b>Correlaciones</b>		
		Incendios	Deforestación	Áreas afectadas por los incendios
Incendios	Method Pearson	1	0.9	1
	p-value	0	0.035	0.0000631
	Conf.	0.994	0.994	0.994
Deforestación	Method Pearson	0.9	1	0.9
	p-value	0.035	0	0.0363
	Conf.	0.994	0.994	0.994
Áreas afectadas por los incendios	Method Pearson	1	0.9	1
	p-value	0.0000631	0.0363	0
	Conf.	0.994	0.994	0.994



**Figura 15.** Gráfico de dispersión entre deforestación e incendios.



**Figura 16.** Gráfico de correlaciones en símbolos.



**Figura 17.** Gráfico de correlaciones en numericos.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Al analizar la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificada mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupi - Puno. Se concluye que la relación entre la deforestación y los incendios forestales tienen una correlación muy alta y positiva; con una relación de 0.9 estadísticamente significativa indicando que, al incrementarse los incendios se incrementa la deforestación andina.

**SEGUNDA:** De acuerdo a los incendios forestales producidos durante el periodo 2015 - 2022. Se concluye que después de obtener los índices normalizados de áreas quemadas y de vegetación diferenciada normalizada, se calculó un total de 3506.88 hectáreas deforestadas y un total de 52384.36 hectáreas de incendios forestales cumpliendo con el supuesto de normalidad, indicando que la deforestación decrece al decrecer los incendios forestales. .

**TERCERA:** Al obtener los valores del índice de áreas deforestadas por incendios, se calculó un total de 5911.66 hectáreas afectadas por incendios, determinando que cumple con el supuesto de normalidad. Se concluye que las áreas de bosque se reducen a consecuencia de los incendios.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, tome las medidas correctivas para minimizar los incendios y reforestar las áreas degradadas por los incendios.

**SEGUNDA:** A los municipios de Llalli y Cupi, fortalecer las capacidades de gestión pública de los responsables involucrados para establecer y ejecutar programas para prevenir los incendios forestales e implementar programas de educación ambiental.

**TERCERA:** A los pobladores de los distritos de Llalli y Cupi, tomar más conciencia ambiental, para evitar la errada costumbre de quema de pastos naturales, contribuyendo con la degradación de suelos, sequías y escasez del recurso hídrico haciendo más vulnerable al ecosistema para los incendios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Rafael, V. (2022). *DNA Barcoding de poáceas asociadas a pajonales para la determinación de la firma espectral en el ACP Tilacancha, Amazonas*.  
<https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2731>
- Aguirre, G., Undurraga, T., Cotoras, D., Orellana, T., Aguirre, G., Undurraga, T., Cotoras, D., & Orellana, T. (2022). El estudio científico del cambio climático en Chile: Espacio local y fenómeno global. *Antropologías del sur*, 9(17), 199-218.  
<https://doi.org/10.25074/rantros.v9i17.2147>
- Alva-Álvarez, G. I., Reyes-Hernández, H., Palacio-Aponte, Á. G., Núñez-López, D., Muñoz-Robles, C., Alva-Álvarez, G. I., Reyes-Hernández, H., Palacio-Aponte, Á. G., Núñez-López, D., & Muñoz-Robles, C. (2018). Cambios en el paisaje ocasionados por incendios forestales en la región de Madera, Chihuahua. *Madera y bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431697>
- Añamuro Luque, H. H. (2020). Detección De Áreas Afectadas Por Incendios Forestales En La Reserva Nacional Del Titicaca En El Año 2016, Utilizando Geotecnologías. *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez*.  
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4774>
- Añamuro-Luque, H. H., Larico-Mamani, C. J., Ruiz-Vásquez, C. E., Monteza-Rosales, O. M., & Quiñonez-Choquecota, J. (2020). Análisis de incendios forestales en pajonales andinos utilizando sistemas de información geográfica y teledetección, Macari – Puno. *REVISTA EL CEPROSIMAD*, 8(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.56636/ceprosimad.v8i2.96>
- Boy Sipiran, H. W. (2021). Proceso constructivo del Túnel Variante Casahuiri usando método NATM y su influencia en la productividad del proyecto San Gabán, Puno—2021. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86927>

- Camas-Guardamino, D. J., Mamani-Sinche, M. S., Camas-Guardamino, D. J., & Mamani-Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54-74. <https://doi.org/10.15359/rca.56/1.3>
- Campos, R. M., Chaves, J. R., & Araya, M. L. (2021). Aplicación De Índices De Calcinación Para Incendios Forestales De La Temporada 2020 En El Área De Conservación De Guanacaste, Costa Rica. *GEOSABERES: Revista de Estudios Geoeducacionais*, 12(1), 191-204.
- Cárdenas-Salgado, J. C., Pizano, C., Cárdenas-Salgado, J. C., & Pizano, C. (2019). Efecto de temperaturas que simulan incendios sobre la germinación de semillas de un bosque seco tropical. *Colombia Forestal*, 22(2), 55-66. <https://doi.org/10.14483/2256201x.14702>
- Delgado, M. D. R., & Ruiz, O. A. S. (2022). Teledetección hiperespectral y exploración geológica para la configuración de modelos geometalúrgicos en sistemas hidrotermales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), Article 6. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3669](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3669)
- Fernandez Menis, 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. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios- UNAMAD*. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/515>
- Gómez Reyes, V. M., Tinoco Molina, O., Terrón Alfonso, A., Gómez Peralta, M., Tena Morelos, C. A., & Garza Ocañas, F. (2016). Efecto de los incendios forestales en la riqueza y composición de macromicetos. *Revista mexicana de micología*, 39, 21-30.
- Guevara Velazco, B. R. (2021). Análisis de la deforestación ocasionada por incendios

- forestales en el periodo 2010-2020 en el distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco. *Repositorio Institucional - SENAMHI.*  
<http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1270>
- Indekeu Rivas, J. M. (2018). *Desarrollo de una aplicación web SIG para calcular el potencial eléctrico solar de un área urbana, en la ciudad de Guatemala* [Masters, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Jiménez G, A. M., Urrego G, L. E., & Toro R, L. J. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, 19(2), 161-180.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a03>
- Malpartida Mauricio, R. C. (2016). Riesgo a incendios forestales en la provincia de Satipo – Junín. *Universidad Nacional del Centro del Perú.*  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3471>
- Mendoza Astocaza, S., & Rupa Quispitupa, J. M. (2022). Pérdida de cobertura vegetal a causa de los incendios forestales durante 2019 – 2021 en la localidad de San Jerónimo, Cusco. *Repositorio Institucional - UCV.*  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91340>
- Mera Carrera, J. M. (2018). *Análisis de la respuesta ante la amenaza de incendios forestales en la Parroquia de Guangopolo desde el 2015 hasta el 2017.*  
<http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/6177>
- Obando Cabrera, L., Hantson, S., & Barragán Barrera, D. C. (2022). *Chispas, cambio climático y actividades humanas. El triángulo de fuego que está quemando nuestros ecosistemas.* <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/37296>
- Ocampo-Zuleta, K. (2019). Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los cerros orientales de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 1-12.

<https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.71953>

Ramírez Campos, J. S. (2020). *Imágenes del fuego: Economía visual, tecnociencia e incendios forestales en Colombia (2019-2020)*.

<http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/52156>

Rengifo Maco, R. M. (2018). Proceso de capacitación y el desempeño laboral del personal administrativo del organismo de evaluación y fiscalización ambiental, Lima 2017. *Universidad César Vallejo*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16316>

Rosales Malpartida, J. Y., & Apaza Mamani, H. A. (2022). Análisis de imágenes satelitales Landsat 8 por componentes principales y MNF para la detección de zonas del derrame de petróleo Repsol en la Costa Peruana. *Tecno Humanismo*, 2(2), 172-189.

Sandoval-Rivera, J. P., Sáenz-Arroyo, A., Alcérreca-Huerta, J. C., Rodiles-Hernández, R., Sandoval-Rivera, J. P., Sáenz-Arroyo, A., Alcérreca-Huerta, J. C., & Rodiles-Hernández, R. (2022). Impacto histórico de la deforestación y la modificación de los ríos en la morfología de la costa del sur del Golfo de México. *Revista de historia (Concepción)*, 29(1), 150-181.

<https://doi.org/10.29393/rh29-6ihjr40006>

Silva-Balaguera, A., Daza-Leguizamon, O., & Lopez-Valiente, L. (2018). Pavement Management Based on Geographic Information Systems (GIS): A Review/Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica (SIG): una revisión/Gestao de pavimentos baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG): uma revisão. *Revista Ingeniería Solidaria*, 14(26), NA-NA.

Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., Santelices, R., Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., & Santelices, R. (2018). Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de *Nothofagus alessandrii* Espinosa en la Región del

Maule de Chile. *Gayana. Botánica*, 75(1), 531-534.

<https://doi.org/10.4067/S0717-66432018000100531>

Vélez Obando, I. E. (2020). *Evaluación del comportamiento histórico de los incendios forestales en el Cantón Sucre, Manabí, Ecuador, en el periodo 2015-2019* [bachelorThesis, Jipijapa.UNESUM].

<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2291>

Zugasti, J. M. (2019). *La vigilancia y el control de la actividad en el espectro electromagnético*. <http://190.12.101.91:80/jspui/handle/1847939/1341>

Zuleta, K. O., & Bravo, S. J. (2019). Reclutamiento de especies leñosas en bosques tropicales expuestos a incendios: Una revisión: *Ecosistemas*, 28(1), Article 1.

<https://doi.org/10.7818/ECOS.1642>

## ANEXOS

**Anexo 01:** Matriz de consistencia.

**“TENDENCIA DE LA DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS FORESTALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2022 MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES, EN LOS DISTRITOS DE LLALLI Y CUPU - PUNO”.**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificadas mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupu - Puno?.</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Analizar la tendencia de la deforestación y su relación con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificada mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupu - Puno.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La tendencia de la deforestación tiene una correlación directa con los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022 identificadas mediante imágenes satelitales en los distritos de Llalli y Cupu - Puno.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Incendios forestales</p> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Deforestación</p>	<p>Áreas Quemadas (ha,%)</p> <p>Áreas de deforestadas (ha, %).</p>	<p>- R-Studio (v4.3.1).</p> <p>- Qgis (v3.26.17)</p> <p>- GPS de garmin.</p> <p>- Cámara.</p>	<p>Imágenes Satelitales LANDSAT 8</p> <p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>- Descriptivo, correlacional.</p> <p><b>Diseño de Investigación</b></p> <p>- No Experimental</p> <p><b>Método</b></p> <p>- Deductivo - Inductivo.</p> <p><b>Zona de estudio</b></p> <p>Distritos de Llalli y Cupu.</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es la distribución de la deforestación con los incendios forestales producidos durante el periodo 2015 - 2022?.</li> <li>¿Cuál es el comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022?</li> </ul>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la distribución de la deforestación y los incendios forestales producidos durante el periodo 2015 y 2022.</li> <li>Determinar el comportamiento de las áreas afectadas por los incendios forestales durante el periodo 2015 - 2022</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La deforestación y los incendios forestales si tienen una distribución normal durante los periodos 2015 - 2022.</li> <li>Las áreas afectadas por incendios forestales si tienen un comportamiento normal durante el periodo 2015 - 202.</li> </ul>				

## Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8.

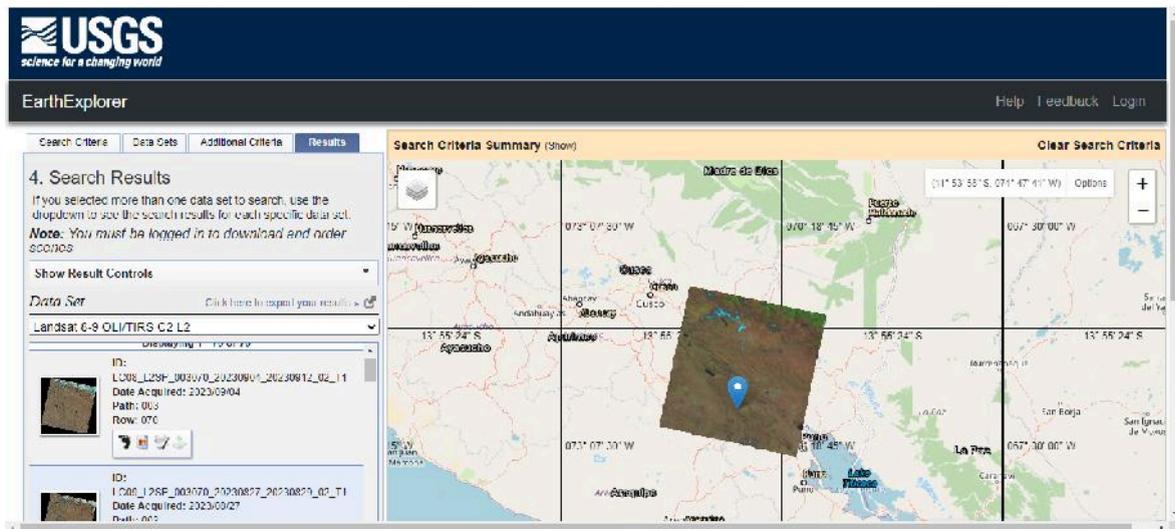
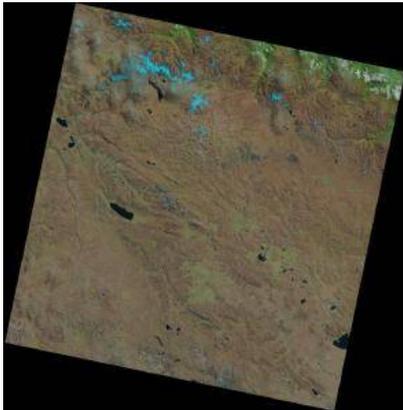
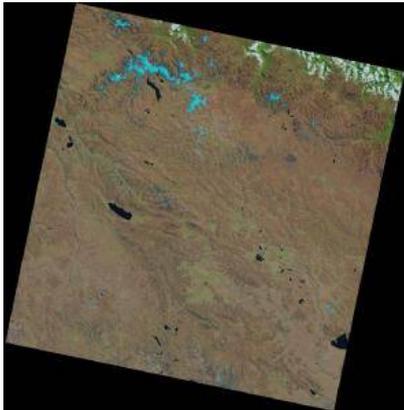
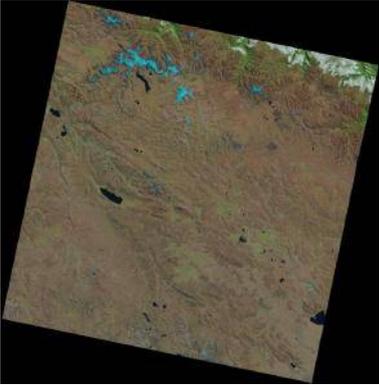
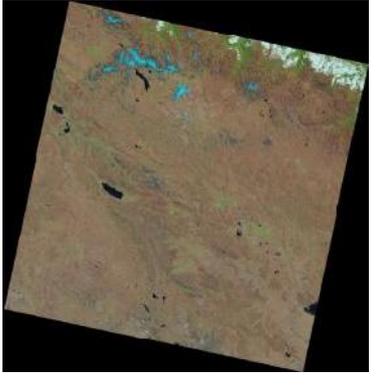
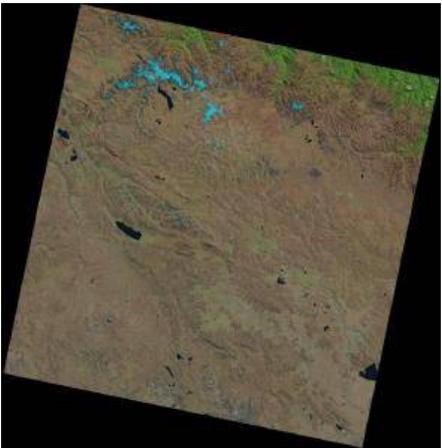
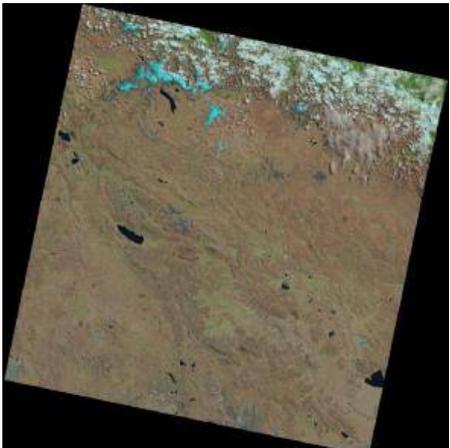
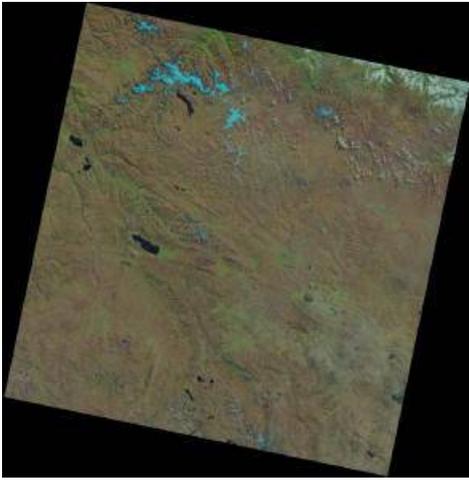
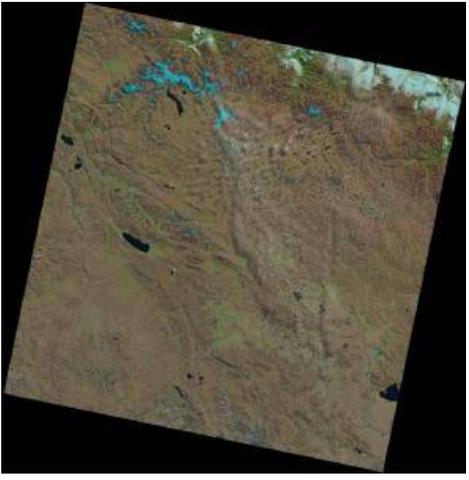
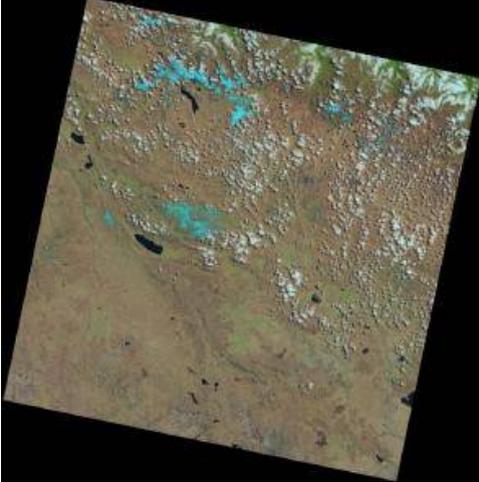
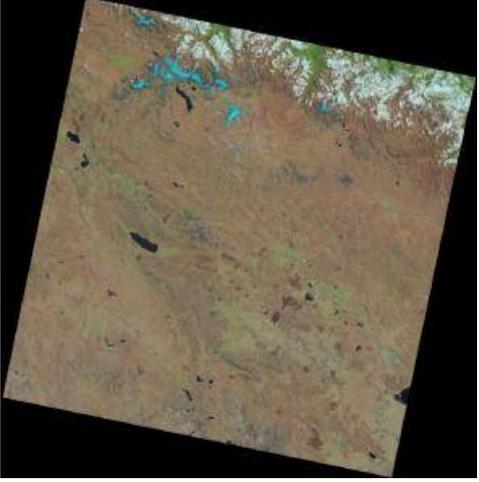


Figura 000

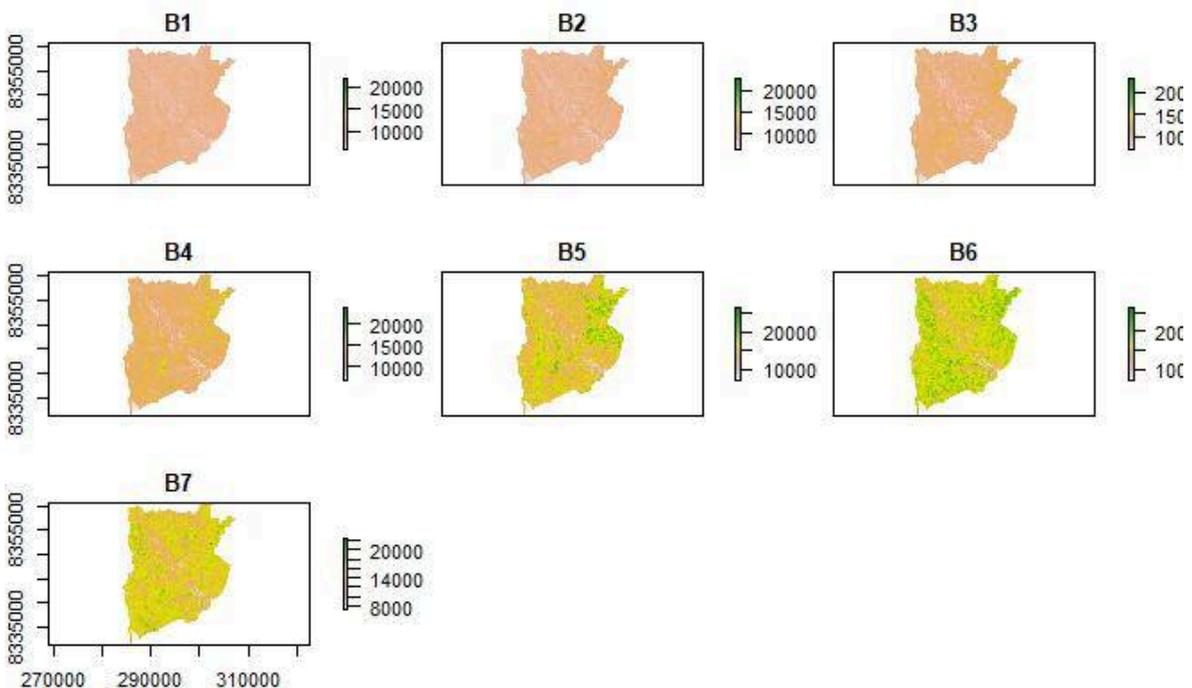
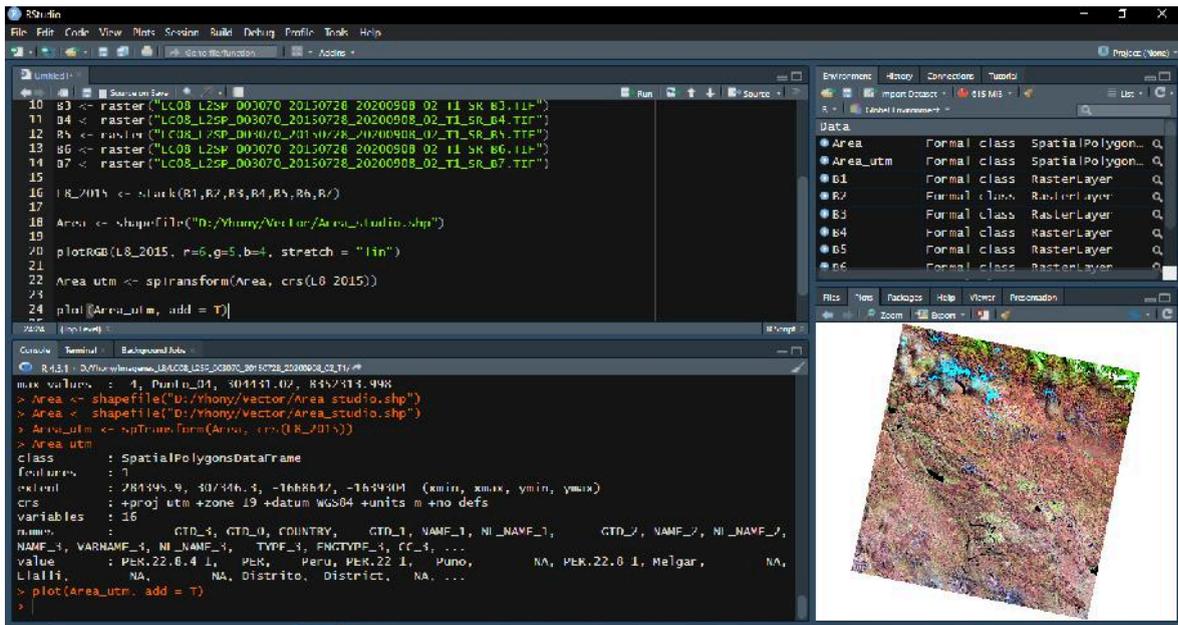
2015	
Antes del Incendio	Después del Incendio
	
<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20150728_20200908_02_T	<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20150829_20200908_02_T1
<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20150728_20200908_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20150829_20200908_02_T1
<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702015209LGN0	<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702015241LGN02
<b>Date Acquired</b> 2015/07/28	<b>Date Acquired</b> 2015/08/29
<b>Collection Category</b> T1	<b>Collection Category</b> T1
<b>Collection Number</b> 2	<b>Collection Number</b> 2
<b>WRS Path</b> 003	<b>WRS Path</b> 003
<b>WRS Row</b> 070	<b>WRS Row</b> 070

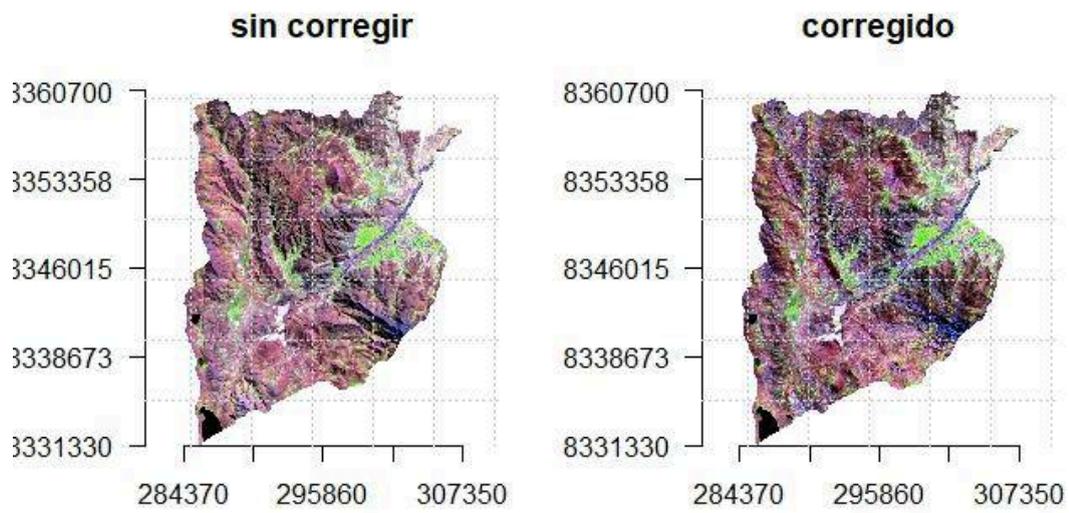
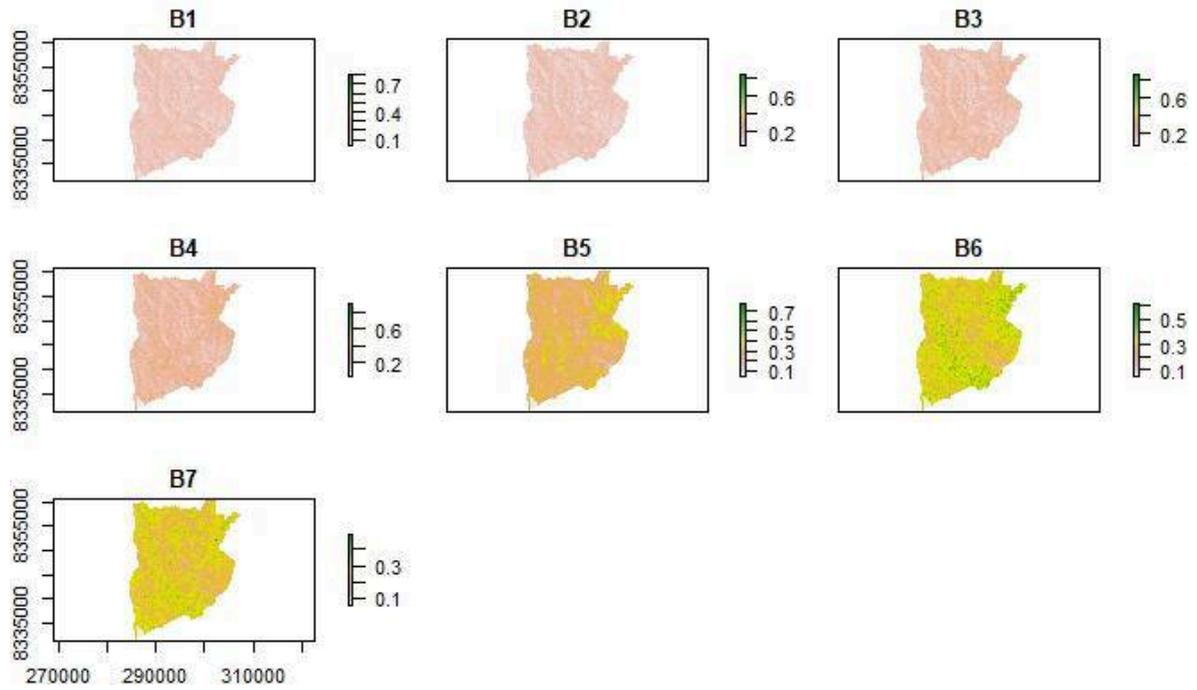
<b>2017</b>	
<b>Antes del Incendio</b>	<b>Después del Incendio</b>
	
<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20170802_20200903_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20171005_20200903_02_T1
<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20170802_20200903_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20171005_20200903_02_T1
<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702017214LGN00	<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702017278LGN00
<b>Date Acquired</b> 2017/08/02	<b>Date Acquired</b> 2017/10/05
<b>Collection Category</b> T1	<b>Collection Category</b> T1
<b>Collection Number</b> 2	<b>Collection Number</b> 2
<b>WRS Path</b> 003	<b>WRS Path</b> 003
<b>WRS Row</b> 070	<b>WRS Row</b> 070
<b>2019</b>	
<b>Antes del Incendio</b>	<b>Después del Incendio</b>
	
<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20190808_20200827_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20190909_20200826_02_T1

<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20190808_20200827_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20190909_20200826_02_T1
<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702019220LGN00	<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702019252LGN00
<b>Date Acquired</b> 2019/08/08	<b>Date Acquired</b> 2019/09/09
<b>Collection Category</b> T1	<b>Collection Category</b> T1
<b>Collection Number</b> 2	<b>Collection Number</b> 2
<b>WRS Path</b> 003	<b>WRS Path</b> 003
<b>WRS Row</b> 070	<b>WRS Row</b> 070
<b>2021</b>	
<b>Antes del Incendio</b>	<b>Después del Incendio</b>
	
<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20210610_20210621_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20210712_20210720_02_T1
<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20210610_20210621_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20210712_20210720_02_T1
<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702021161LGN00	<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702021193LGN00
<b>Date Acquired</b> 2021/06/10	<b>Date Acquired</b> 2021/07/12
<b>Collection Category</b> T1	<b>Collection Category</b> T1
<b>Collection Number</b> 2	<b>Collection Number</b> 3
<b>WRS Path</b> 003	<b>WRS Path</b> 003
<b>WRS Row</b> 070	<b>WRS Row</b> 070
<b>2022</b>	
<b>Antes del Incendio</b>	<b>Después del Incendio</b>

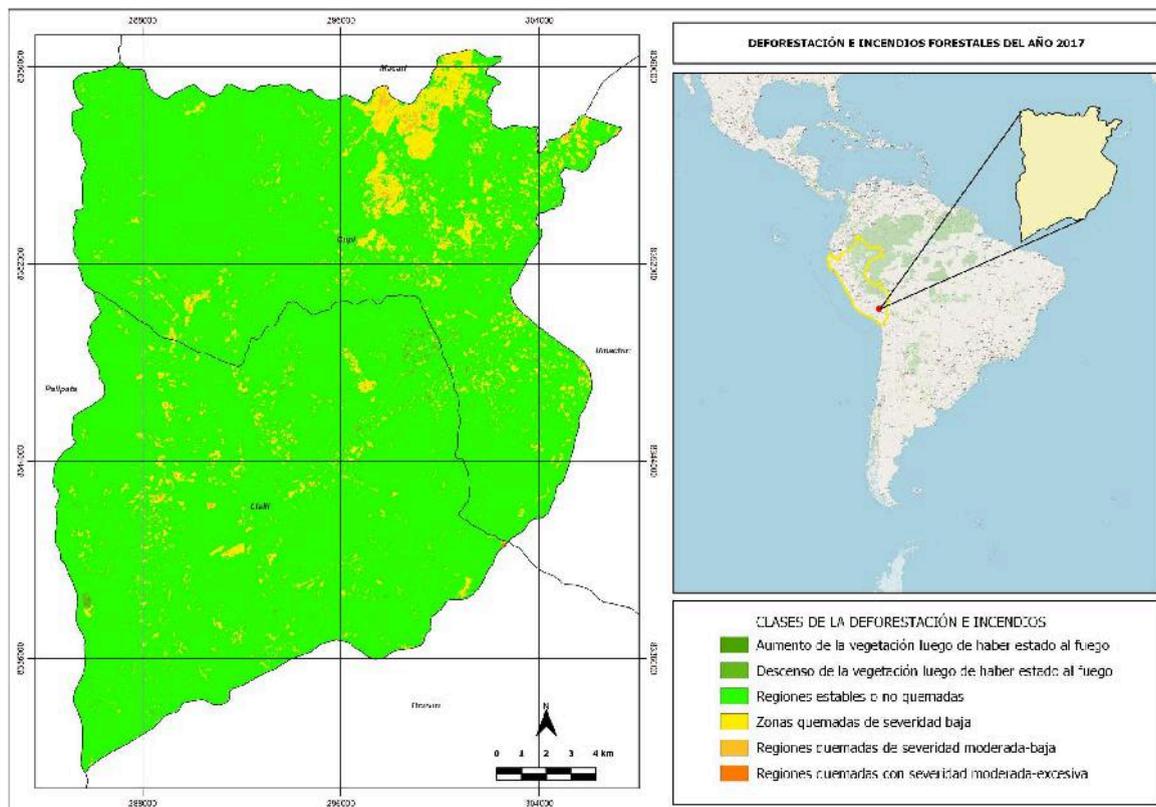
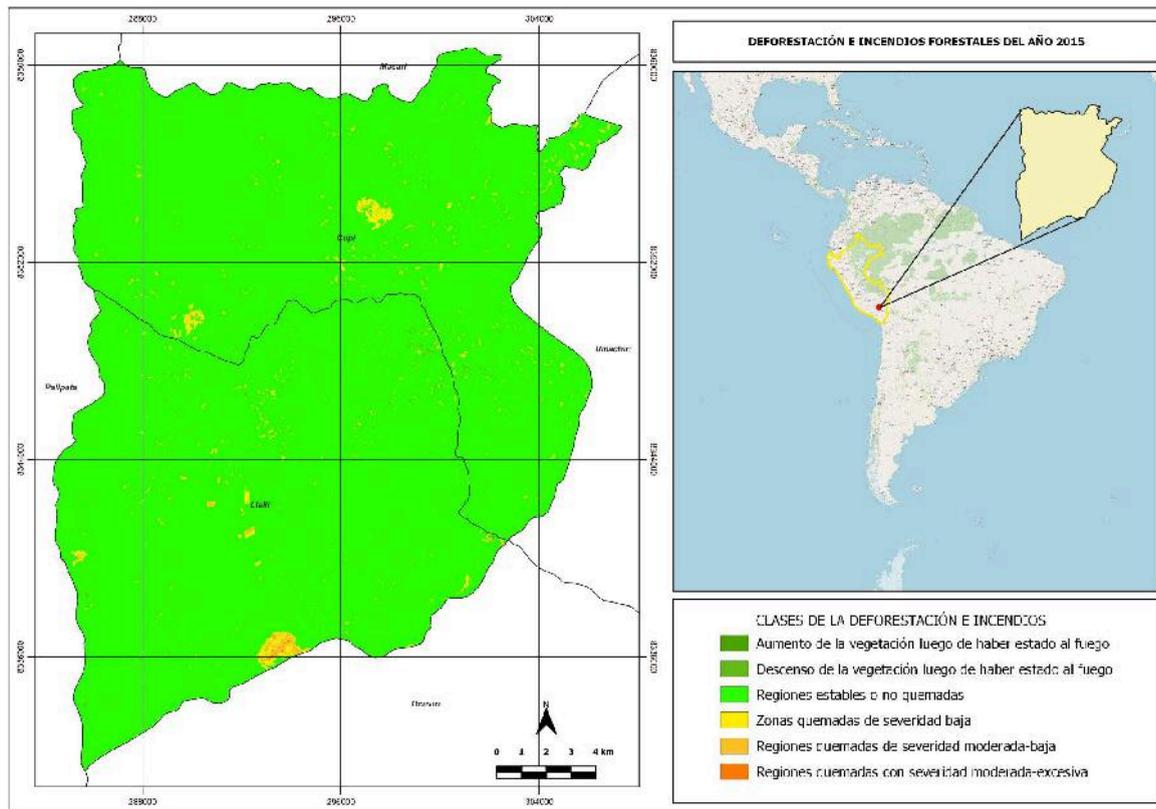
	
<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC08_L2SP_003070_20220917_20220928_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L2</b> LC09_L2SP_003070_20221011_20230326_02_T1
<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC08_L1TP_003070_20220917_20220928_02_T1	<b>Landsat Product Identifier L1</b> LC09_L1TP_003070_20221011_20230326_02_T1
<b>Landsat Scene Identifier</b> LC80030702022260LGN00	<b>Landsat Scene Identifier</b> LC90030702022284LGN01
<b>Date Acquired</b> 2022/09/17	<b>Date Acquired</b> 2022/10/11
<b>Collection Category</b> T1	<b>Collection Category</b> T1
<b>Collection Number</b> 2	<b>Collection Number</b> 2
<b>WRS Path</b> 003	<b>WRS Path</b> 003
<b>WRS Row</b> 070	<b>WRS Row</b> 070

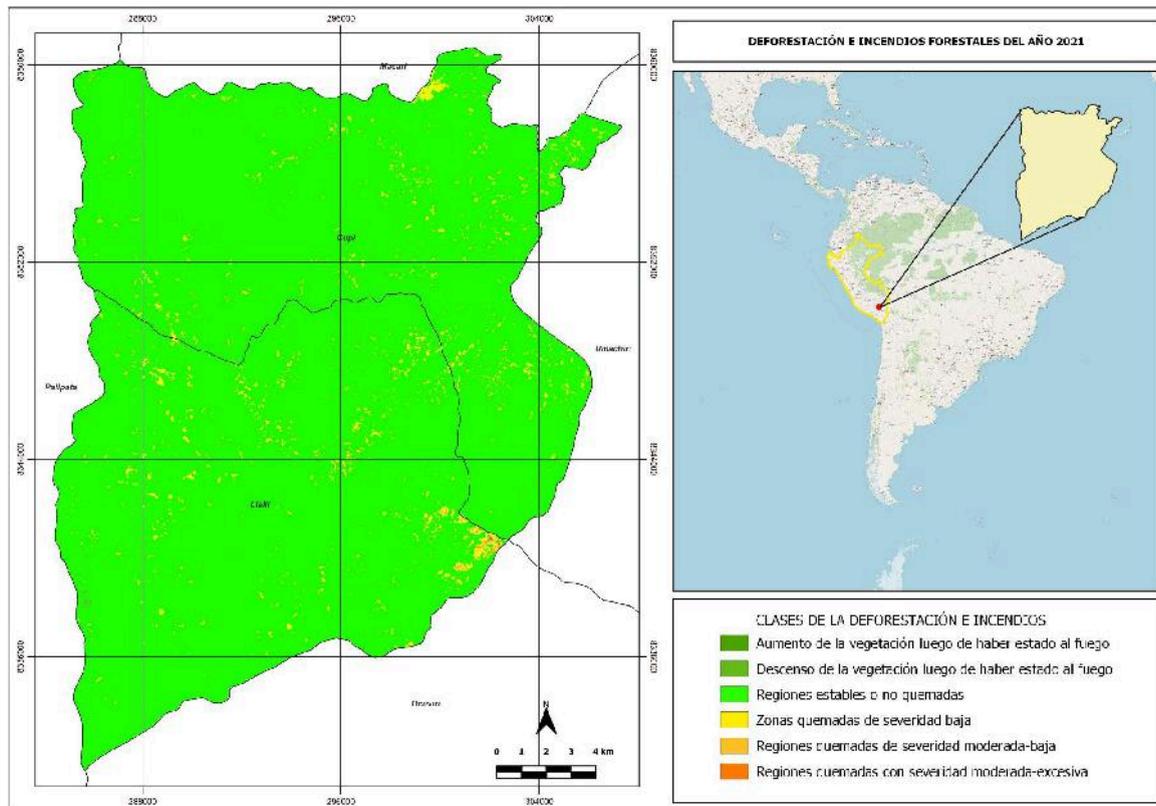
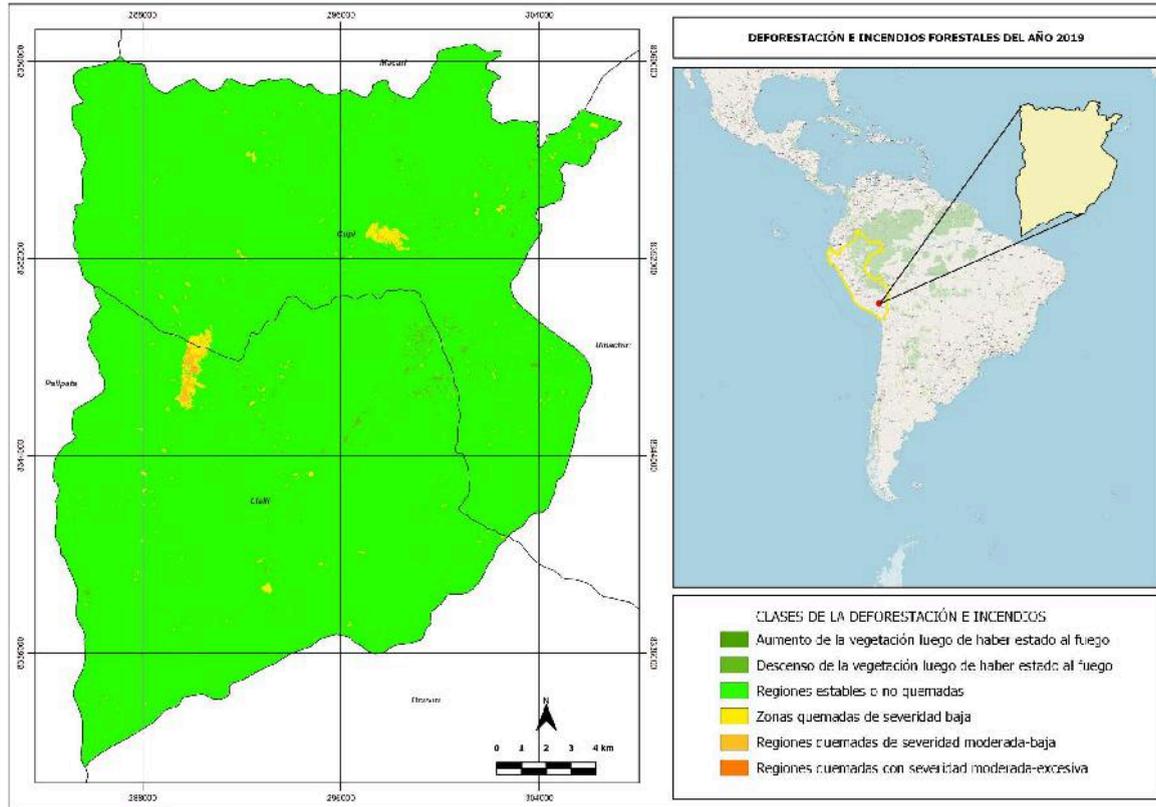
### Anexo 03: Geoprocesamiento de las imágenes en R.

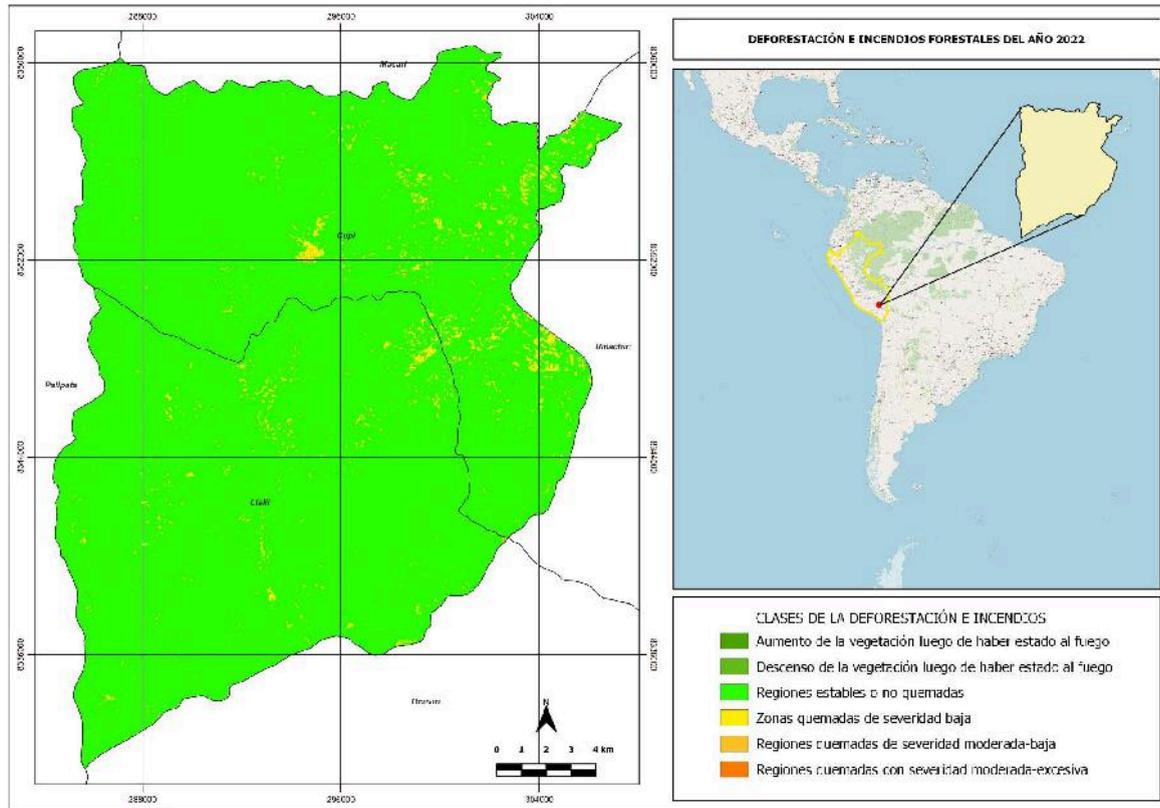




### Anexo 04: Resultado en mapas la deforestación e incendios forestales.







## Anexo 05: Resultados estadísticos en R.

```
> Datos %>%
+ shapiro_test(Deforestacion)
# A tibble: 1 × 3
  variable      statistic      p
  <chr>         <dbl> <dbl>
1 Deforestacion 0.914 0.491
> ##Análisis de los supuestos
> Datos %>%
+ shapiro_test(Insendios)
# A tibble: 1 × 3
  variable      statistic      p
  <chr>         <dbl> <dbl>
1 Insendios     0.972 0.885
>
```

```
> ###PEARSON-----
> Datos %>%
+ rstatix::cor_test(Insendios , Deforestacion)
# A tibble: 1 × 8
  var1      var2      cor statistic      p conf.low conf.high method
  <chr>    <chr>    <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <chr>
1 Insendios Deforestacion 0.9    3.68 0.0347 0.112 0.994 Pearson
> ##Crear una Matriz
> matrix_cor <- rstatix::cor_mat(Datos, method = "pearson")
> matrix_cor
# A tibble: 3 × 4
  rowname      Insendios Deforestacion Areas_afectadas
  <chr>         <dbl>         <dbl>         <dbl>
1 Insendios      1             0.9            1
2 Deforestacion 0.9           1             0.9
3 Areas_afectadas 1             0.9            1
> ##Graficamos la correlacion de Pearson
```

## Anexo 06: Script de R para la deforestación e incendios forestales.

```
#LIMPIAR R
rm(list = ls())
#CARAR LIBRARIAS
library(sp)
library(rgdal)
library(raster)
library(dplyr)
##Directorio del trabajo
setwd("D:/Yhony/L8_2022/L8_C_Reflectancia_Topografica/")
#Importar las imagenes
L8_2022_Antes <- stack("Antes/L8_2022_TOA_TOP_A.tif")
L8_2022_Despues <- stack("Despues/L8_2022_TOA_TOP_D.tif")
#Ploteamos las imagenes espectrales
par(mfrow = c(1,2))
plotRGB(L8_2022_Antes, r = 6, g = 5, b = 4, stretch = "lin",
        main = "L_8_Antea", axe = T)
plotRGB(L8_2022_Despues, r = 6, g = 5, b = 4, stretch = "lin",
        main = "L_8_Despues", axe = T)
#Creams una functions
Cal_nbr <- function(img, nir, swir2){
  NIR <- img[[nir]]
  SWIR2 <- img[[swir2]]
  Cal_nbr <- (NIR - SWIR2)/(NIR + SWIR2)
  return(Cal_nbr)
}

#Utilizamos la funion creada
L8_NBR_Antes <- Cal_nbr(L8_2022_Antes, 5, 7)
L8_NBR_Despues <- Cal_nbr(L8_2022_Despues, 5, 7)
#Ploteo del indice NBR
par(mfrow = c(1,2))
plot(L8_NBR_Antes, col=rev(terrain.colors(30)), main = "Land8_Antes")
plot(L8_NBR_Despues, col=rev(terrain.colors(30)), main = "Land8_Despues")
#Determinar niveles de gravedad del NBR
dNBR <- L8_NBR_Antes - L8_NBR_Despues
#Clasificacion en 7 clases
clase <- c(-Inf, -0.25,1, -0.25, -0.100,2, -0.100,0.100,3,
          0.100,0.270,4, 0.270, 0.440,5, 0.440, 0.660,6, 0.660, Inf,7)
mat <- matrix(clase, ncol = 3, byrow = TRUE)
#Reclasificacion raster
clasificacion_nbr <- reclassify(dNBR, mat)
#Definir las paletas de colores
mycolor <- c("#698B22", "#9ACD32", "#00FF7F", "#FFFF00", "#FFA54F",
            "#FF7F24", "#9932CC")
#Visualizar la clasificacion
plot(clasificacion_nbr, main = "NBR_2021",
     axes = TRUE, xlab = "este", ylab = "norte", col = mycolor)
#determinar el area en m2 y en Hectareas
tbl <- rasterToPoints(clasificacion_nbr, spatial = F)
tabla <- as.data.frame(tbl)
```

```

names(tabla) <- c("x", "y", "clases") #clases del 1 al 7
#Sumatoria
conteo_tabla <- summarise(group_by(tabla, clases), count = n())
#Píxeles a hectáreas, mutata agregar nuevas columnas
Datos_area <- mutate(conteo_tabla, metros = count*xres(clasificacion_nbr)^2,
                     Hectareas = metros/10000, porcentaje =
                     (Hectareas/sum(Hectareas))*100)
#Descripción de las clases
descr <- c("Aumento de la vegetación luego de haber estado al fuego",
          "Descenso de la vegetación luego de haber estado al fuego",
          "Regiones estables o no quemadas",
          "Zonas quemadas de severidad baja",
          "Regiones quemadas de severidad moderada-baja",
          "Regiones quemadas con severidad moderada-excesiva",
          "Zonas quemadas con severidad excesiva")
#Agrupar orden de clasificación
Descrip1 <- cbind(c(1:7), descr)
#Cambiar el nombre del campo
colnames(Descrip1) <- c("clases", "Descripcion")
#Uni
union <- merge(x = Datos_area, y = Descrip1, by = "clases")
#Exportación imagen
setwd("D:/Yhony/L8_2022/dNBR/")
writeRaster(clasificacion_nbr, "dNBR_2022.tif", drivename = "Gtiff")
#Guardar en csv
write.csv(union, file = "dNBR_2022.csv", row.names = T)

```

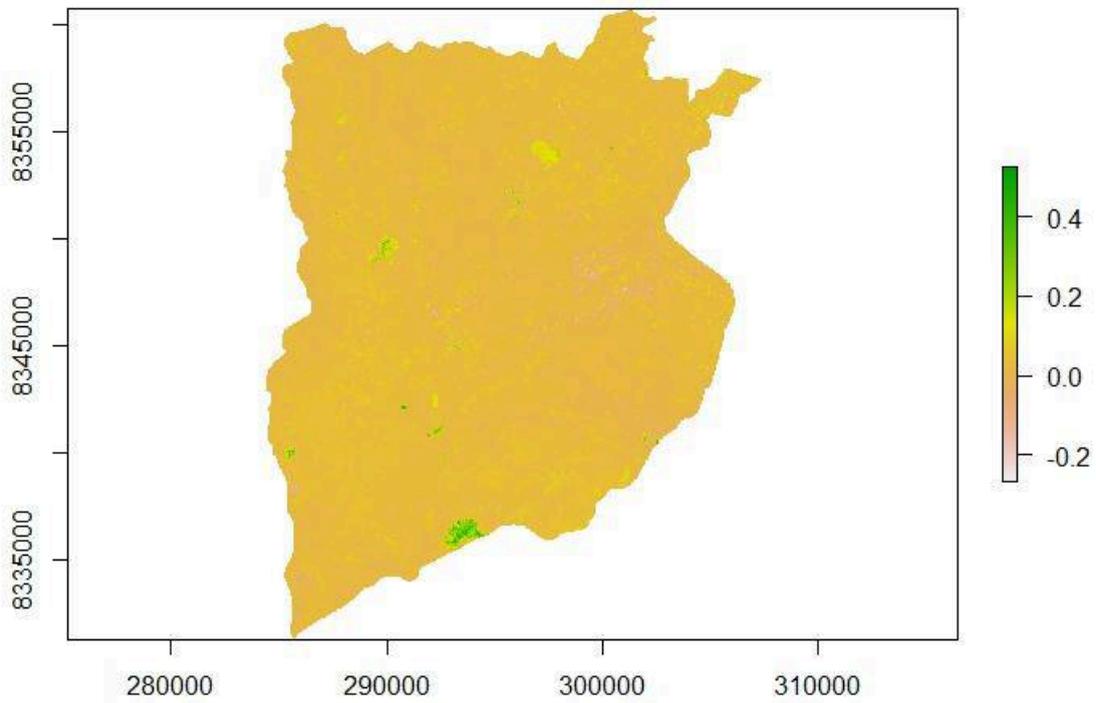
```

#Guardar en csv
write.csv(union, file = "dNBR_2022.csv", row.names = T)
#Generar gráficos
barra <- barplot(union$Hectareas,
                 col = mycolor[union$clases],
                 names.arg = union$clases,
                 main = "Clasificación dNBR - 2015",
                 xlab = "clases dNBR",
                 ylab = "Área Hec",
                 ylim=c(0, max(union$Hectareas)-500))
text(x= barra, y=union$Hectareas, pos=3, cex= 0.8,
     label = round(union$Hectareas, 3))

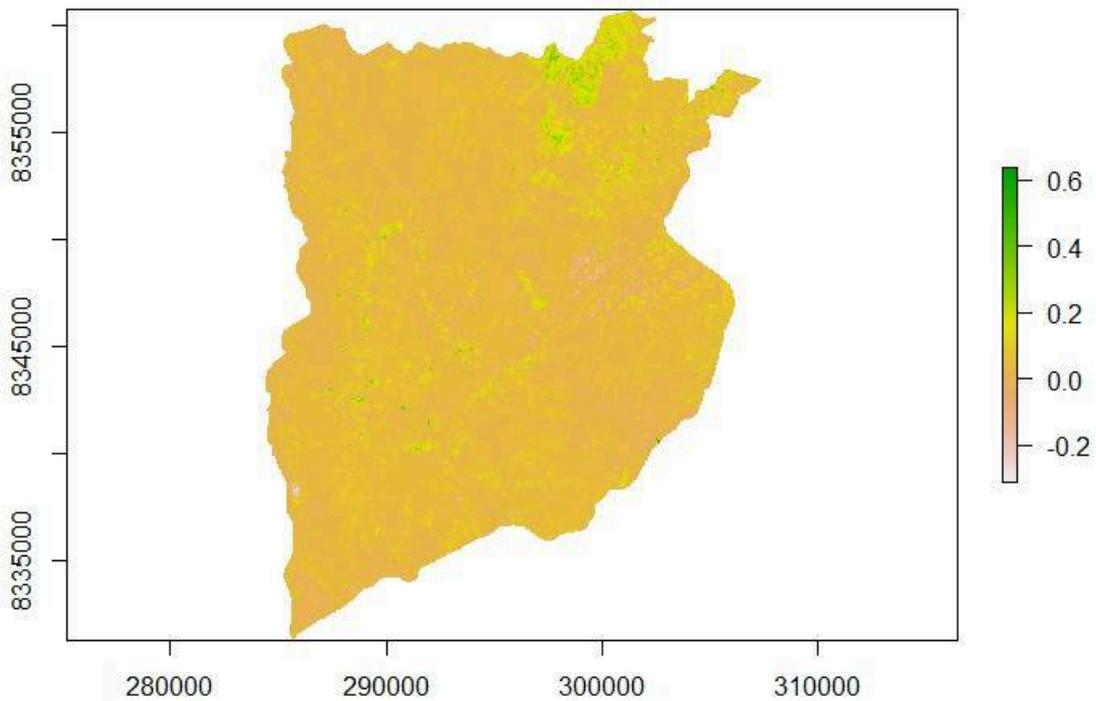
```

**Anexo 07:** Rangos mínimos y máximos del dNBR durante el periodo 2015 - 2022.

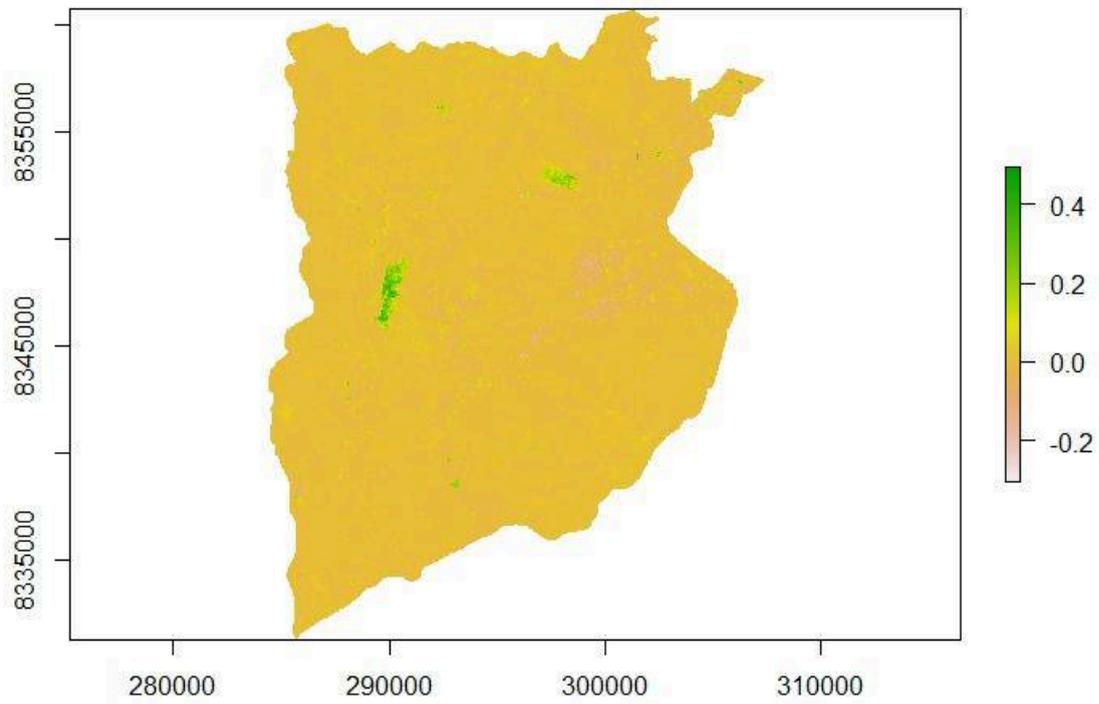
**dNBR\_2015**



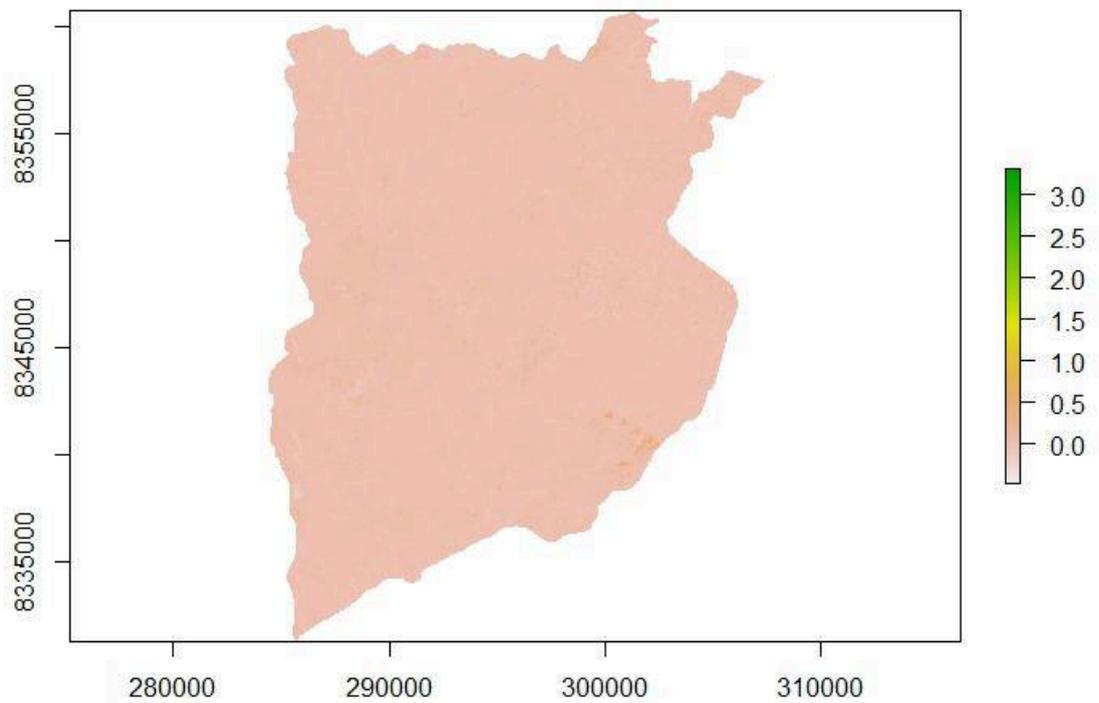
**dNBR\_2017**



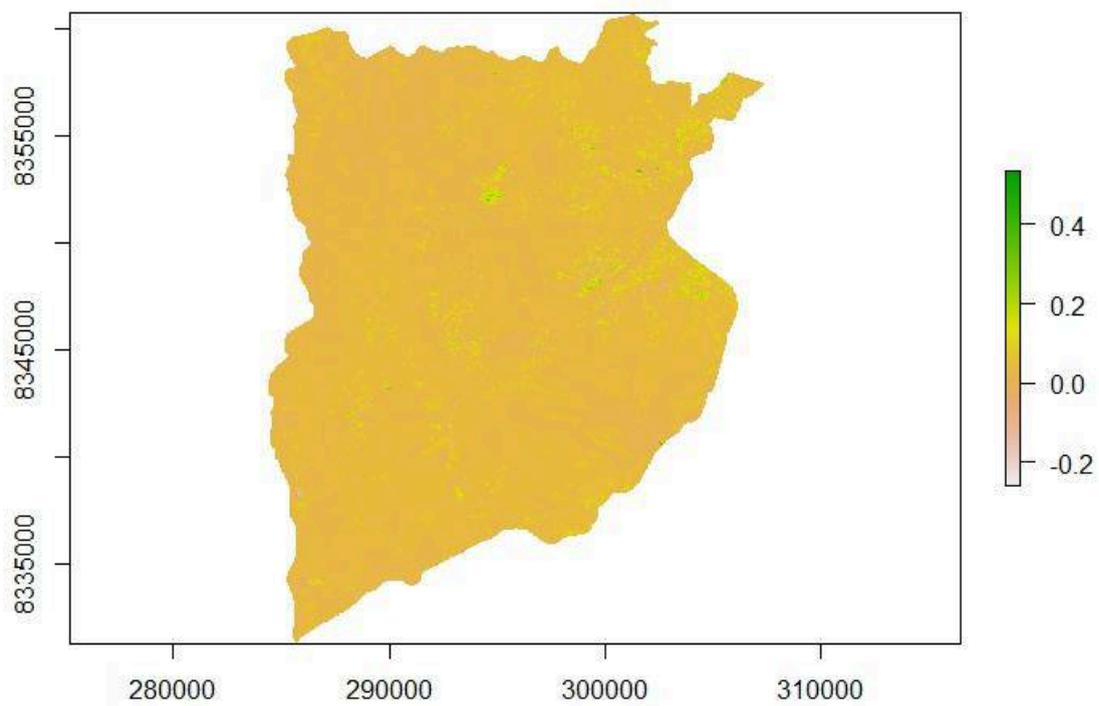
**dNBR\_2019**



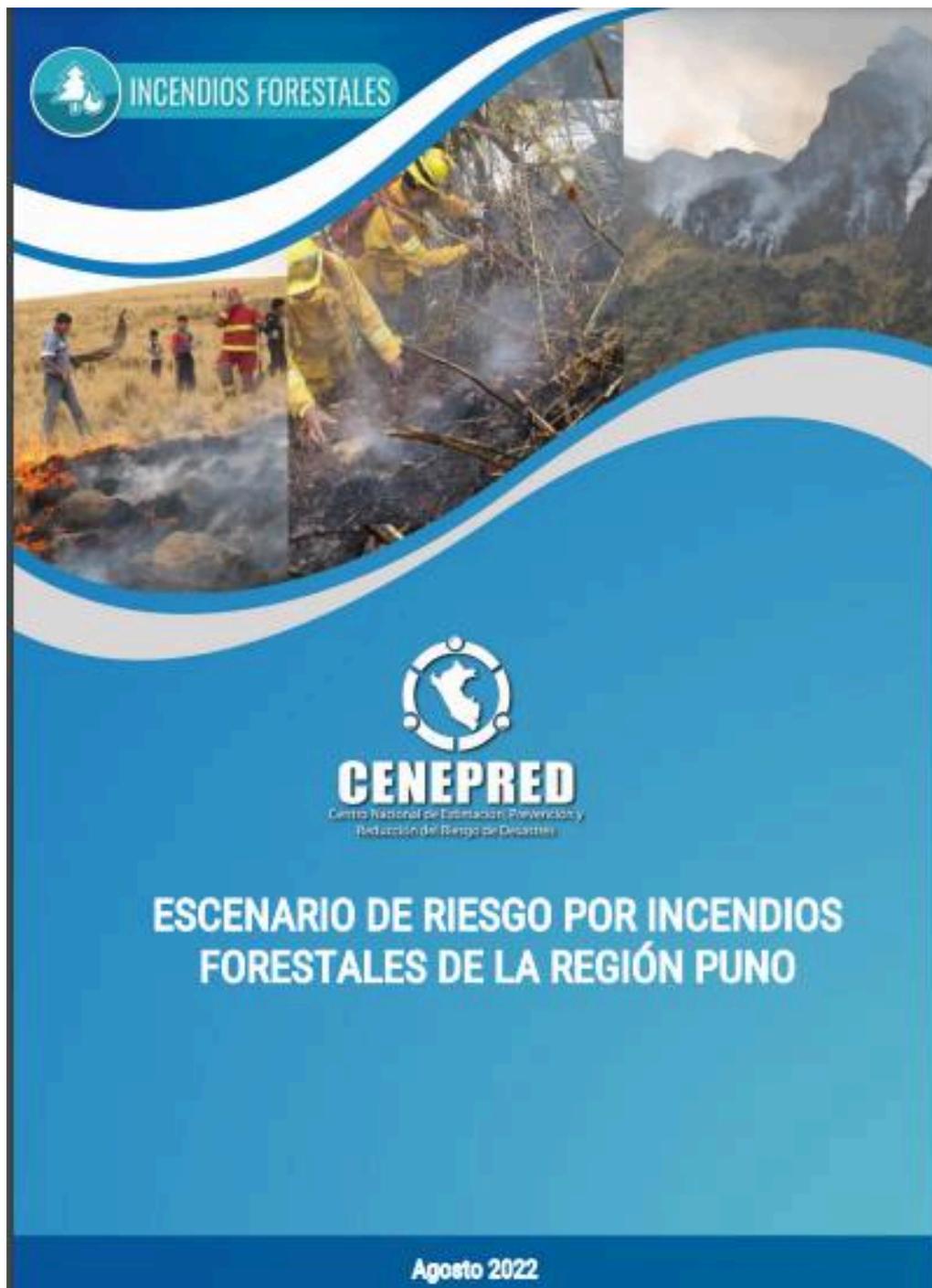
**dNBR\_2021**



dNBR\_2022



**Anexo 08:** Escenarios de riesgos por incendios forestales, CENEPRED - 2022.



**Anexo 09:** Plan de prevención y reducción de incendios forestales.

**Anexo 10:** Panel fotográfico.



**Figura 01:** Validación de áreas calcinadas mediante coordenadas utm.



**Figura 02:** Áreas calcinadas.



**Figura 03:** Áreas después del fuego.



**Figura 04:** Áreas descendientes de la vegetación luego de haber estado al fuego.