



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando  
índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo,  
Cusco – 2022**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniería Ambiental**

**AUTORES:**

Nina Pinchi, Américo ([orcid.org/0000-0002-2918-2827](https://orcid.org/0000-0002-2918-2827))

Umeres Herrera, Jhoselyn ([orcid.org/0000-0003-3254-8030](https://orcid.org/0000-0003-3254-8030))

**ASESOR:**

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales ([orcid.org/0000-0003-1504-2089](https://orcid.org/0000-0003-1504-2089))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A mis padres por apoyarme siempre en los momentos de prosperidad y de desgracia, dándome su comprensión, apoyo y aliento para salir adelante demostrando siempre su altruismo por sus hijos.

Umeres Herrera, Jhoselyn

A mis padres por su apoyo y por haberme forjado la persona que soy, los que me inculcaron reglas y algunas libertades que me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

Nina Pinchi, Américo

## **Agradecimiento**

A Dios y mi familia que se esfuerza día a día para poder verme superar y creer siempre en mí, así como a la Universidad Cesar Vallejo por ser parte de sus aulas y darme la formación universitaria.

Umeres Herrera, Jhoselyn

A mi familia por brindarme su apoyo, amor y cuidados en todo mi proceso universitario, guiándome de la mejor manera para poder ser un buen profesional y ejemplo para mis familiares.

Nina Pinchi, Américo

Al Dr. Benites Alfaro Elmer Gonzales por la dedicación, paciencia, disposición de tiempo y comprensión desde el primer día en el desarrollo de esta tesis y ayudándonos a crecer como profesionales y personas de éxito.

Nina Pinchi y Umeres Herrera

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	14
3.2. Variables de operacionalización.....	14
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis .....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimiento .....	17
3.6. Método de análisis de datos.....	24
3.7. Aspectos éticos .....	24
IV. RESULTADOS .....	25
4.1. Análisis de la actividad fotosintética .....	25
4.2. Determinar el área de la superficie afectada.....	27
4.3. Analizar características geográficas y meteorológicos.....	28
4.4. Análisis de correlación entre los índices espectrales de vegetación y las características meteorológicas .....	31
4.5. Características fisicoquímicas del suelo.....	33
4.6. Identificar tipo de especies de flora.....	41
V. DISCUSIÓN.....	44
VI. CONCLUSIONES.....	50
VII. RECOMENDACIONES .....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS .....	61

## Índice de tablas

Tabla 1. Ecuación de Índice de vegetación de diferencia normalizada .....	7
Tabla 2. Clases de rangos de la actividad fotosintética del NDVI .....	7
Tabla 3. Ecuación de Índice de vegetación ajustado al suelo .....	8
Tabla 4. Clases de rangos de la actividad fotosintética del SAVI.....	8
Tabla 5. Ecuación de Índice Normalizado de Área Quemada .....	9
Tabla 6. Clases de rangos de la severidad dNBR.....	9
Tabla 7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
Tabla 8. Validación de instrumentos de recolección de datos.....	16
Tabla 9. Imágenes de Sentinel 2 selectas.....	19
Tabla 10. Registro de la altitud de la zona de estudio.....	28
Tabla 11. Prueba de normalidad .....	31
Tabla 12. Correlación entre índices espectrales y características meteorológicas .....	32
Tabla 13. Interpretación de análisis de suelo para pH .....	33
Tabla 14. Valores obtenidos del análisis de suelo para pH.....	34
Tabla 15. Interpretación de análisis de suelo para Conductividad Eléctrica.....	34
Tabla 16. Valores obtenidos del análisis de suelo para conductividad eléctrica (CE).....	35
Tabla 17. Interpretación de análisis de suelo para Materia Orgánica.....	35
Tabla 18. Valores obtenidos del análisis de suelo para materia orgánica .....	36
Tabla 19. Resultado del análisis de suelo para su Textura .....	37
Tabla 20. Interpretación del análisis de suelo para Fósforo (P) .....	37
Tabla 21. Valores obtenidos del análisis de suelo para el fósforo (P) .....	38
Tabla 22. Interpretación de análisis de suelo para Potasio disponible (K) .....	38
Tabla 23. Valores obtenidos del análisis de suelo para Potasio (K) .....	39
Tabla 24. Valores obtenidos del análisis de suelo para el carbono (%) .....	40
Tabla 25. Interpretación de análisis de suelo para Nitrógeno Total (N).....	40
Tabla 26. Valores obtenidos del análisis de suelo para Nitrógeno (N) .....	41
Tabla 26. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de flora .....	41
Tabla 27. Representación de especies % .....	43

## Índice de figuras

Figura 1. Triángulo de elementos generadores de un incendio forestal .....	4
Figura 2. Diagrama de flujo de los procesos de la elaboración del proyecto .....	17
Figura 3. Imágenes Sentinel 2 (S2MSI2A) de la zona de estudio .....	18
Figura 4. Área de estudio identificado por imagen satelital .....	19
Figura 5. Obtención del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI ...	20
Figura 6. Obtención del índice de vegetación ajustada al suelo SAVI .....	20
Figura 7. Obtención del Índice Normalizado de Área Quemada NBR.....	21
Figura 8. Obtención del Índice de severidad del incendio .....	21
Figura 9: Recorte del área de estudio mediante extracción por colorimetría.....	22
Figura 10. Rotulado de la muestra de suelo.....	23
Figura 11. Comportamiento del NDVI máximo, mínimo y la media .....	25
Figura 12. Comportamiento del SAVI máximo, mínimo y la media .....	26
Figura 13. Porcentajes de severidad del incendio (m <sup>2</sup> ) .....	27
Figura 14. Comparación de la temperatura máxima 2021 – 2022.....	28
Figura 15. Comparación de la temperatura mínima 2021-2022 .....	29
Figura 16. Comparación de la humedad relativa 2021 – 2022.....	30
Figura 17. Comparación de precipitación 2021 – 2022.....	30
Figura 18. Especies más representativas de la zona de estudio.....	42

## Resumen

Los incendios forestales causan impactos perjudiciales en ecosistemas forestales, por este motivo se tiene como objetivo principal determinar el porcentaje del impacto sobre la cobertura vegetal, por evento de incendio forestal, haciendo uso de índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco; empleando imágenes Sentinel-2. Se analizó las características fisicoquímicas en muestras de suelo del lugar del incendio, a la vez se realizó el registro de especies de flora. Como resultado, el incendio tuvo una severidad de gravedad alta; por otro lado, los índices de vegetación registraron al cuarto mes una vegetación alta y densa, sin embargo, está bajó en los últimos meses. Se determinó que la humedad relativa si intervienen en el desarrollo de la cobertura vegetal. Se registró 154 especies en área del incendio. Se concluyó que la gravedad del incendio fue de nivel medio alto, con impacto negativo principal en la flora; además se encontró que el suelo tiene gran parte de sus características bajas. Los suelos vienen recuperando sus propiedades fisicoquímicas después de un año y dos meses del incendio. La investigación es un aporte como instrumento de gestión para recuperar zonas impactadas por incendios.

**Palabras clave:** Cobertura vegetal, incendio forestal, índices espectrales, Sentinel-2.

## Abstract

Forest fires cause detrimental impacts on forest ecosystems, for this reason the main objective is to determine the percentage of impact on vegetation cover, by forest fire event, using spectral indices of vegetation in the district of Limatambo, Cusco; using Sentinel-2 images. The physicochemical characteristics of soil samples from the place of the fire were analyzed, at the same time the record of flora species was carried out. As a result, the fire had a severity of high severity; On the other hand, the vegetation indices registered high and dense vegetation in the fourth month, however, it has decreased in recent months. It was determined that the relative humidity does intervene in the development of the vegetal cover. 154 species were recorded in the fire area. It was concluded that the severity of the fire was medium-high, with a main negative impact on the flora; In addition, it was found that the soil has a large part of its low characteristics. The soils have been recovering their physicochemical properties one year and two months after the fire. Research is a contribution as a management tool to recover areas impacted by fires.

**Keywords:** Vegetation cover, forest fire, spectral indices, Sentinel-2.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales amenazas a nivel mundial, son los incendios forestales afectando en gran medida a los ecosistemas debido a que generan gases de efecto invernadero y alteran la fauna y flora de la zona causando alteraciones en la cobertura vegetal (Capador, González y Suarez, 2021). En Australia, se observó uno de los incendios más grandes de los últimos años, con un área afectada de aproximadamente 7,34 millones de hectáreas, los bosques fueron los más afectados (Bowman et al, 2021).

Según el informe de la Oficina Nacional Forestal de China (2017) indican que aproximadamente medio millón de hectáreas de sus bosques quedaron afectados por incendios forestales en los últimos años. Además, estos habitualmente tienden a desplazarse de la región boreal a la subtropical (Su, et al. 2019). En Sudamérica, se encuentra la mayor cantidad de bosques tropicales con amplia biodiversidad, sin embargo, han sido afectados por incendios múltiples y de gran magnitud afectando directamente la cobertura terrestre (Armenteras, et al, 2020).

En Perú, según el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) del 2017 al 2019, se reportaron 334 incendios forestales haciendo un total de 78.235 hectáreas de bosques afectados, la amazonia selvática cuenta con mayor cantidad de bosques húmedos tropicales donde las deforestaciones se concentran alrededor del 60%, afectando a ecosistemas y la pérdida de diversas especies de madera (Xinhua, 2019).

En Cusco, se registró emergencias en mayor cantidad a causa de incendios forestales ocasionados por actividad humana, concernientes con acciones de quemas, uso de cambio de suelo (actividades de agricultura ancestral) que ocasionan la pérdida de la cobertura forestal, disminución de fauna silvestre, deterioro del patrimonio cultural y contaminación de aguas y aire (CENEPRED, 2021). Uno de los incendios suscitados en el distrito de Limatambo fue en el sector de Parcco y Mamaco el 20 de setiembre del 2021 con una duración de tres días, sin embargo, el 24 de setiembre el incendio tuvo una reactivación con tres días de duración con 71 hectáreas de cobertura natural fueron afectadas según el informe

del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional; evento sobre el cual se realizó la investigación con los resultados que se muestran en el presente informe científico. (COEN, 2021)

Se formuló como **problemática general** la siguiente interrogante: ¿Cuál es el porcentaje del impacto en la cobertura vegetal tras el incendio forestal aplicando los índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022? y como **problemas específicos**: ¿Cómo se da la actividad fotosintética del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?, ¿Cuál es el área de la superficie afectada del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?, ¿Cómo las características geográficas y meteorológicas intervienen en el impacto de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?, ¿Cómo las características fisicoquímicas del suelo intervienen en el impacto de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?, ¿Qué tipo de especies de flora se identifican en la cobertura vegetal tras el incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?

La **justificación** de la investigación se enfocó en tres niveles: a **nivel ambiental**, el estudio busca proporcionar información sobre el impacto por los incendios forestales en la cobertura vegetal, desarrollando análisis fisicoquímicos de los suelos afectados, para determinar el pH, la materia orgánica, conductividad eléctrica, textura u otros, importante para determinar la salud y productividad del suelo. **A nivel social**, el estudio busca generar información para proporcionar conocimiento a la población sobre la cobertura vegetal y los suelos que fueron afectados por el incendio forestal ocurrido en la zona de estudio, creando conciencia debido a que estos eventos no solo tienen efecto negativo en el ambiente, también causan daño a la salud de las personas. **A nivel práctico**, la investigación proporciona información que será de alcance para todas las personas, así como a instituciones, en específico a la municipalidad de Anta que servirá para que implementen medidas en la recuperación de la cobertura vegetal afectada y

también realicen capacitaciones a la población para minimizar la cantidad de incendios que se suscitan en el distrito.

Es por ello, que se planteó como objetivo general: Determinar el porcentaje del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022, y como **objetivos específicos**: Analizar la actividad fotosintética del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022, determinar el área de la superficie afectada del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022, analizar las características geográficas y meteorológicas que impactan a la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022, evaluar las características fisicoquímicas del suelo de la cobertura vegetal tras incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022, e Identificar los tipos de especies de flora de la cobertura vegetal tras incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.

Por consiguiente, la investigación estableció como **hipótesis general**, se generó un impacto grave en más 50% de la cobertura vegetal tras el incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022; y como **hipótesis específicas**: Se obtendrá valores de 0.2 a 0.6 en índices espectrales de vegetación de la actividad fotosintética en la cobertura vegetal tras incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022; La superficie afectada fue de media y alta severidad en más del 50% de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022; Las características geográficas y meteorológicas sí intervienen en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022; Las características fisicoquímicas del suelo sí intervienen de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022; El amaranto silvestre es la especie con mayor porcentaje de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.

## II. MARCO TEÓRICO

Los **incendios forestales** son el fuego que se desarrolla en una determinada superficie forestal de manera descontrolada, sin planificación ni control, afectando a diversas especies de flora, bosques y vegetación en zonas áridas y semiáridas (Plana, Font y Serra, 2016).

De acuerdo a Gil Mora (2020) los incendios forestales son generalmente producidos por la actividad antropogénica, que frecuentemente suele expandirse a grandes áreas arrastrando consigo grandes pérdidas de flora, fauna y suelo. Según la guía de comunicadores de la Comisión Nacional Forestal (2010), los incendios forestales se basan en 3 elementos: calor, oxígeno y combustible, los cuales son indispensables para la generación de un incendio forestal, tal como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** *Triángulo de elementos generadores de un incendio forestal*

Los incendios forestales se presentan en tres tipos, se consideran **superficiales** cuando se desarrollan cuando el fuego se propaga de manera horizontal sobre una superficie o terreno alcanzando una altura de 1.5 m, afectando combustibles muertos y vivos; se denominan **subterráneos** cuando se desarrollan por debajo del terreno, afectando directamente la materia orgánica y raíces, no generan mucha llama solo emiten muy poco humo; y se denominan **de copa o aéreos** son los más destructivos y de máximo peligro debido a que son difíciles de controlar a consecuencia de ello el fuego consume toda la vegetación existente en el terreno. Según Novkovic (2021) indica que el empleo de la zonificación de susceptibilidad para incendios forestales fue ineludible en la reducción y mitigación

del riesgo de incendios forestales, permitió obtener datos sobre dónde es más probable que ocurran incendios forestales e identificar ciertos puntos calientes más probable de ocurrencia. Para Mligo (2019) que estudió la regeneración post incendio de especies vegetales autóctonas en el Pugu Reserva Forestal en cinco años después del incendio en Tanzania, el fuego devastó un número considerable de especies de plantas en 2008.

La **cobertura vegetal** es el manto de vegetación con la que se forra la superficie terrestre, con características fisonómicas, que parten desde pastizales hasta superficies cubiertas por bosques naturales (Maza Chamba, 2009). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) el 30% es cobertura vegetal con residuos y cultivos de cobertura, estos protegen el suelo del impacto de los cambios climáticos y ayudan a preservar la humedad.

Hu, et al. (2018) indican que la quema estimuló significativamente la cobertura vegetal y la densidad, además la disponibilidad de luz, la temperatura del suelo y la composición de la comunidad antes del incendio podrían ser los principales responsables de la recuperación de la comunidad del sotobosque después del incendio de baja gravedad.

La **regeneración natural** es un proceso de renovación de especies de plantas en un periodo de tiempo, el área afectada puede lograr recuperar su estructura, su composición vegetal, de manera parcial sin la intervención directa e indirecta del hombre (Hierro, 2014).

Graciela, et al. (2021) demostraron que un incendio moderado se puede regenerar naturalmente. Bär y Mayr (2020) analizaron la capacidad de aislamiento de la corteza mediante experimentos de calentamiento en cinco especies coníferas y cinco especies de angiospermas de árboles. Concluyeron que la capacidad de aislamiento de la corteza de las especies de árboles se debe principalmente a su grosor, pero también muestran una fuerte correlación entre la densidad de la corteza y la protección cambial. La fisiología posterior al incendio y la capacidad de reclutamiento serán la base para estimar mejor los impactos futuros en los ecosistemas forestales y desarrollar estrategias.

Un **sistema de Información Geográfica** es una base de datos que recolecta información espacial, es una tecnología informática que es utilizada para procesar, cartografiar y analizar información geográfica para obtener mapas temáticos (Morea y Huerta, 2018).

La **teledetección** es una técnica de recopilación sobre la información de toda la superficie terrestre a distancia sin mantener un contacto directo con el objeto, se realiza mediante sensores que van situados en el satélite (Cede et al., 2011). Al generar una serie de datos para ser procesados se obtienen información interpretable de la tierra (interacción electromagnética entre el terreno y el sensor) (IGN, 2018).

Las **imágenes satelitales** son los resultados de la captura por la radiación emitida o que ha sido reflejada por la superficie terrestre mediante un sensor adherido sobre un satélite artificial.

Martinez, et al. (2021) realizaron un estudio sobre la comparación de imágenes satelitales LANDSAT-8 y drones, donde los drones pudieron detectar la variabilidad de la cobertura vegetal entre áreas quemadas y no quemadas a través del Índice de Resistencia Atmosférica Visible (VARI), pero arrojaron resultados poco realistas al evaluar la efectividad de un tratamiento posterior al incendio, en cambio, las imágenes LANDSAT-8 pueden ser engañosas para evaluar los cambios en la cobertura del suelo después de un incendio forestal y los tratamientos posteriores al incendio, debido a la falta de correlación entre VARI y la cobertura vegetal.

La **actividad fotosintética** es un proceso bioquímico el cual utiliza agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y energía solar para generar carbohidratos y liberar el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) hacia la atmósfera. Este proceso es importante para todo el planeta ya que completa el ciclo de intercambio gaseoso que se produce entre los seres vivos (Almeraya, 2015).

**Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)** es un indicador utilizado para determinar la cantidad, calidad y el desarrollo de la vegetación mediante sensores remotos instalados en un satélite (Michalijos y Uboldi, 2013). El NDVI se obtiene a partir de las reflectancias que emiten las bandas rojo (RED) y

del infrarrojo cercano (NIR) del sensor Sentera High Precision, los cuales están normalizados en valores que van desde el -1 a +1 (Geovanny Moyao-Calleja et al., 2021) así como se muestra en la tabla 1 la siguiente ecuación:

**Tabla 1.** Ecuación de Índice de vegetación de diferencia normalizada

Ecuación	Donde:
$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \dots\dots\dots Ec (1)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>NDVI:</b> índice de vegetación de diferencia normalizada</li> <li>• <b>NIR:</b> infrarrojo cercano (banda 8)</li> <li>• <b>RED:</b> rojo (banda 4)</li> </ul>

**Tabla 2.** Clases de rangos de la actividad fotosintética del NDVI

Clases	Rango NDVI
Nula	< 0
Muy baja	0 - 0.1
Baja	0.1 – 0.3
Media	0.3 – 0.5
Media alta	0.5 – 0.6
Alta	0.6 – 0.8
Muy alta	> 0.8

**Fuente:** análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. estudio de caso en sierra de gata (2015) (Navazo Arenas, Nieto Masot y Moreno Marcos, 2016, p. 254)

Tariq et al. (2021) analizaron imágenes de Sentinel-2 en el período 2015-2020, buscan aplicar índices espectrales multitemporales como el NDVI y NBR para evaluar las áreas quemadas en incendios forestales y quemas prescritas en las colinas de Margalla de Pakistán. Los diagramas de caja presentan la distribución de valores por imagen de satélite e indican el tiempo de regeneración posterior a un incendio y la gravedad difieren entre los incendios de otoño y verano, además, las estadísticas indicaron que no existe diferencias entre el tiempo de regeneración y las categorías de incendios.

**Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)** es un indicador que se adapta a los estudios de análisis de vegetación, puede analizar suelos con vegetación de baja densidad. Muestra una variante sobre la ecuación tradicional de NDVI para evitar distorsión en los valores de análisis cuando la vegetación se encuentra sobre suelos expuestos. La ecuación se presenta en la tabla 3:

**Tabla 3.** Ecuación de Índice de vegetación ajustado al suelo

Ecuación	Donde:
$SAVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED+L)} * (1 + L)..... \text{ Ec (2)}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>SAVI:</b> índice de vegetación ajustado al suelo</li> <li>• <b>NIR:</b> infrarrojo cercano (banda 8)</li> <li>• <b>RED:</b> rojo (banda 4)</li> <li>• <b>L:</b> parámetro (0.5)</li> </ul>

**Tabla 4.** Clases de rangos de la actividad fotosintética del SAVI

Clases	Rangos SAVI
Agua	< 0
Suelo expuesto	0.001 – 0.226
Vegetación poco densa	0.227 – 0.341
Vegetación medio densa	0.342 – 0.405
Vegetación muy densa	> 0.406

**Fuente:** variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil (Alencar da Silva Alves et al., 2019, p. 143)

Longato, et al. (2019) emplearon la teledetección para el manejo de tierras agrícolas marginales entre ellas áreas incendiadas, para analizar posibles compensaciones y sinergias entre los nuevos cultivos madereros, la producción de alimentos y los servicios ecosistémicos. Aplicaron el índice de vegetación ajustada al suelo mediante imágenes Landsat 8 en la provincia de Rovigo (norte de Italia).

**Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)**, es uno de los índices más utilizados para cartografiar áreas quemadas, así como para la identificación de los niveles de daño que ha sufrido la vegetación por incendios (Reynosa Correa, 2016). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022) está diseñado para mostrar o expresar las áreas quemadas en zonas donde sucedieron grandes incendios forestales. Mediante la ecuación que se observa en la tabla 5, se combinan longitudes de ondas infrarrojas cercanos (NIR) e infrarrojas cortas (SWIR).

**Tabla 5.** Ecuación de Índice Normalizado de Área Quemada

Ecuación	Donde:
$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \dots\dots Ec (3)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>NBR:</b> Índice normalizado de área quemada</li> <li>• <b>NIR:</b> ondas infrarrojas cercano (banda 8a)</li> <li>• <b>SWIR:</b> ondas infrarrojas cortas (banda 12)</li> </ul>

Sin embargo, para poder determinar la severidad del incendio en la cobertura vegetal se necesita hallar la diferencia entre el prefire y postfire (antes y después del incendio) para calcular el diferencial NBR (dNBR), en donde si el dNBR es alto, significa que el daño es severo y si es menos indica un nuevo crecimiento de vegetación tras el incendio, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$dNBR = PrefireNBR - PostfireNBR \dots\dots Ec (4)$$

**Tabla 6.** Clases de rangos de la severidad dNBR

CLASES	RANGO dNBR
Rebrote mejorado alto	-0.5 - -0.251
Rebrote mejorado	-0.250 - -0.101
Sin quemar	-0.1 – 0.099
Gravedad baja	0.1 – 0.269
Gravedad moderada baja	0.27 – 0.439
Gravedad media alta	0.44 – 0.659
Gravedad alta	0.66 – 1.3

**Fuente:** Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre Portal de conocimientos de ONU-SPIDER - Relación de severidad del incendio (dNBR) (Keeley, 2009)

Nolè, et al. (2022) evaluaron la gravedad de incendio y sus patrones de recuperación de la vegetación a corto plazo después del incendio en los bosques europeos entre 2004 y 2015 basadas en métricas espectrales derivadas de MODIS por destacar las sensibilidades diferenciales de las bandas espectrales de detección remota analizadas. El NBR mostró una tasa de recuperación de la vegetación posterior al incendio más lenta con respecto al NDVI, lo que sugiere un retraso creciente en la recuperación de la vegetación después del incendio en los bosques europeos.

Según Smiraglia, et al. (2020) quienes emplearon imágenes de Sentinel-2 para mapear las áreas quemadas optimizaron el equilibrio de los errores de omisión y comisión mediante la selección de píxeles quemados reales logrando un buen nivel de precisión (mínimo 0,65, máximo 0,96) para todas las áreas de estudio. Fernández, et al. (2020) realizaron la frecuencia de los incendios, estos afectan las propiedades bioquímicas del suelo de manera diferente a la gravedad de las quemaduras, y los efectos varían entre los puntos de estudio en los ecosistemas de pinos.

La **Meteorología** es la ciencia que estudia las propiedades y la estructura de la atmósfera; con la finalidad de estudiar los fenómenos meteorológicos que se originan en un tiempo presente (Robles, 2015). Singleton, et al. (2021) ejecutaron una investigación sobre la humedad y la cubierta vegetal limita de la regeneración del Pino ponderosa en áreas quemadas de alta gravedad en el suroeste de EE. UU, examinaron la regeneración del pino ponderosa dentro de las áreas de borde y núcleo de parches de alta severidad en diez incendios entre 1996 a 2008 en Arizona y Nuevo México, EE. UU.

La **flora** se caracteriza por la diversidad de climas que posee el distrito de Limatambo en general, debido a su accidentada geografía, clima frío que emiten las cordilleras que lo rodea y templado por los valles que se encuentran a orillas del río Apurímac. Es por ello que su flora muestra diversidad de especies de *cactaceae*, *bromeliaceae*, *euphorbiaceae*, *fabaceae*, entre otros, llegando a presentar 85 especies de flora (Huamantupa y Cuba, 2013). En el anexo 5 se muestra el uso de suelo del lugar de estudio.

Bargali, et al. (2022) muestreo un total de 160 cuadrados para árboles, (320) arbustos y (480) plantas báceas la diversidad de hierbas disminuyó con el aumento de la frecuencia de incendios, desde un mínimo de 12 especies en la clase de alta frecuencia hasta un máximo de 37 en la clase sin incendios en los bosques de Uttarakhand utilizaron imágenes satelitales.

Lopez, et al. (2019) indicó que el promedio de especies fue menor tras el incendio forestal en la montaña Klamath-Siskiyou y las especies rebrotantes fueron menos abundantes en los sitios de orientación sur; las especies de bancos de semillas fueron más abundantes en el norte, el manejo posterior al incendio se asoció con una mayor cobertura de bancos de semillas y especies fijadoras de nitrógeno, pero no afectó la diversidad. La regeneración del pino ponderosa fue mayor en los sitios con manejo posterior al incendio, pero solo en las laderas del sur. Graciano, et al. (2018) registró 24 especies tras un incendio ocurrido en un área del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México, siendo *Havardia pallensla* que obtuvo los mayores valores de importancia con 11.3%. Para el índice de Margalef se obtuvo un valor de 3.16, lo cual indica una alta riqueza de especies. Con lo anterior se aportan algunos elementos cuantitativos y de comportamiento post-incendio de la vegetación arbórea y arbustiva de este ecosistema, sugiriendo que este tipo de vegetación presenta altos valores de regeneración.

Los **suelos afectados por los incendios** de acuerdo a la ONG Greenpeace (2010) generan una gran pérdida ecológica trayendo consigo la destrucción de la vegetación y fauna, así como también en la calidad del agua y del aire, pérdidas irreparables en la tierra fértil, erosión del suelo y paisaje.

Entre los **parámetros fisicoquímicos del suelo** se tienen los siguientes:

**El pH** (potencial de hidrogeniones) es el logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno, mediante el pH se determina si un suelo es ácido o alcalino, importante para conocer la solubilidad de los compuestos que se encuentran en el suelo (López, et al., 2002).

**La materia orgánica** es un componente importante que determina la calidad y productividad del suelo. La fertilidad, la humedad del suelo, la debilidad a la erosión, la compactación, la resistencia a las plagas y enfermedades, dependen de la materia orgánica del suelo (Docampo, 2014).

**La textura del suelo** es el conjunto de componentes de limos, arenas y arcilla, dependiendo a cada textura los suelos tienen diferentes capacidades en la retención de humedad, considerando el contenido de materia orgánica en el suelo (Ciancaglini, 2017).

**La conductividad eléctrica** es el medio para determinar de manera indirecta la concentración de sales en el suelo, el exceso de sales afecta el crecimiento de la planta, así como la actividad de los microorganismos que habitan en los suelos (Cremona y Enríquez, 2020).

Marcos, et al. (2018) demostró que los cambios en las propiedades del suelo se ven afectados por los incendios forestales, el empleo de la temperatura de 300 °C da como resultado una reducción significativa en el carbono orgánico del suelo, la profundidad carbonizada indica los cambios en las propiedades del suelo (principalmente propiedades físicas).

Lucas, et al. (2020) estudiaron los cambios a corto plazo en la funcionalidad del suelo después de un incendio forestal y cobertura de paja en un bosque de *Pinus halepensis* M. Como objetivo evaluar los cambios estacionales (de primavera a otoño) en las propiedades fisicoquímicas del suelo, como el pH o la materia orgánica del suelo, y las actividades enzimáticas, en suelos expuestos al incendio. El pH del suelo se mantuvo estable y la conductividad eléctrica se redujo notablemente, la materia orgánica fue mayor en los suelos expuestos y cubiertos con mantillo en comparación con los suelos no expuestos.

Huaman, (2021) realizó un estudio sobre el efecto de la quema en las propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola en el distrito de Sincos, Jauja, se extrajo muestras de la capa superficial de suelo agrícola, como objetivo determinó el efecto en diferentes niveles de temperatura. Los resultados mostraron un incremento considerable de la conductividad eléctrica, pH, potasio extractable, fósforo disponible, potasio cambiante y relación K-Mg.

Kong, Yang y Cai, (2019) realizaron un estudio sobre la topografía controla los cambios posteriores al incendio en las propiedades del suelo en un bosque boreal chino, determinaron que la topografía influye fuertemente en las propiedades del suelo, con laderas orientadas al norte con mayor humedad del suelo (SM), profundidad de la capa de materia orgánica (OML), concentraciones de carbono total y N inorgánico, y pH más bajo, carbono orgánico disuelto (DOC) y nitrógeno (DON). Después de 1 año, el incendio forestal borró los efectos topográficos en las variables del suelo, y ocurrieron mayores cambios en las propiedades del suelo.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El trabajo de investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y busca orientar y desarrollar nuevos conceptos que puedan dar solución a problemas de incendios forestales. Para Álvarez (2018) la investigación aplicada está orientada a desarrollar y conseguir nuevos conocimientos que de acuerdo a ello se pueda dar soluciones a problemas prácticos. Sin embargo, para Hernandez, Fernández y Baptista (2014), el enfoque cuantitativo se entrelaza con la recolección de datos para comprobar la hipótesis, análisis estadístico, para luego establecer y probar teorías.

El diseño del estudio que se presentó fue no experimental transversal descriptivo debido a que los índices espectrales, las características metrologías de la zona y las características fisicoquímicas del suelo se obtuvieron sin manipulación, sin embargo, presenta un enfoque experimental por la toma de datos de las especies de flora. De acuerdo Álvarez (2018) se le considera un diseño no experimental ya que no existe manipulación de la variable; transversal porque se mide una sola vez y de acuerdo a la información obtenida se puede realizar el análisis de los datos, y describir las características de la variable.

#### 3.2. Variables de operacionalización

**Univariable:** impacto de la cobertura vegetal

Se da por el cambio de la cobertura del suelo, mediante la conversión, apropiación y utilización no natural de los suelos, generalmente se atribuyen a procesos de erosión, deforestación, degradación e incendios que son producto de la actividad antropogénica y/o fenómenos naturales (Carranza y Tasilla, 2020).

La **operacionalización** de variables se realizó en un cuadro con relaciones simplificadas entre univariantes, preguntas, objetivos, dimensiones e indicadores del trabajo de investigación, el cual se puede ver en el Anexo 1.

### **3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis**

La población del estudio se encuentra en el distrito de Limatambo perteneciendo a la provincia de Anta. Según Arias, Villasís y Miranda (2016) la población son un conjunto de casos ya sean definidos y limitados que forman parte de la muestra, donde se debe especificar la población a estudiar para que se pueda dar una investigación adecuada y concluir con resultados óptimos de dicho estudio.

La muestra del estudio fueron dos sectores: Parcco y Mamaco ubicados dentro del distrito de Limatambo. Las muestras son subgrupos que pertenecen a la población, para poder ahorrar tiempo, recursos, calidad del estudio y estudiar la totalidad de los miembros de esta, con la finalidad de obtener objetivos concisos del estudio (Arias, Villasís y Miranda, 2016).

El muestreo del estudio se realizó a base la técnica no probabilística intencional, según Otzen y Manterola (2017) esta técnica permite limitar, seleccionar y analizar las características limitadas en la muestra.

La unidad de análisis del estudio fue realizada por hectáreas (ha), debido a que en la muestra total del área quemada es 147 hectáreas (ha).

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica utilizada es la observación del fenómeno en estudio, la cual se realiza de forma sistemática y personal para obtener registros de datos válidos de forma periódica, con instrumentos calibrados que ayuden a obtener datos reales (Campos y Lule, 2013).

El instrumento de recopilación de información o recolección de datos se dió con la finalidad de analizar la data obtenida de forma oficial y de referencia, a través de las fichas se permitió consolidar e integrar la data obtenida y someterlo al proceso de discusión de resultados, como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

<b>Proceso</b>	<b>Fuente</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Recolección de datos de la actividad fotosintética	Valor promedio de los índices de vegetación	Observación	Instrumento N° 01 Ficha de recolección de datos de la actividad fotosintética
Recolección de datos de la superficie afectada	Nivel de severidad (DNVR)	Observación	Instrumento N° 02 Ficha de recolección de datos de la superficie afectada
Recolección de datos de las características geográficas y meteorológicas	Características meteorológicas	Observación	Instrumento N° 03 Ficha de recolección de datos de las características geográficas y meteorológicas
Recolección de datos del análisis de las características fisicoquímicas del suelo	Características fisicoquímicas	Observación	Instrumento N° 04 Ficha de recolección de datos del análisis de las características fisicoquímicas del suelo
Recolección de datos de las especies forestales	Registro de especies	Observación	Instrumento N° 05 Ficha de recolección de datos de las especies forestales

La validez del instrumento de investigación (fichas de recolección) según Hernández y Pascual (2018) menciona que debe garantizar la fiabilidad al momento de aplicar las fichas de recolección, estas deben generar resultados verídicos. Por ello, para esta investigación se utilizaron 05 instrumentos que fueron validados por 4 expertos, como se observa en la tabla 8.

**Tabla 8. Validación de instrumentos de recolección de datos**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>N° de CIP</b>	<b>I.1</b>	<b>I.2</b>	<b>I.3</b>	<b>I.4</b>	<b>I.5</b>	<b>% de validez</b>	<b>Promedio de Validación Total</b>
Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio	25450	85	85	85	85	85	85 %	88.75 %
Dr. Lizarzaburu Aguinaga, Danny Alonso	95556	85	85	85	85	85	85 %	
Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio	89972	95	95	95	95	95	95 %	
Dra. Cabello Torres, Rita Jaqueline	145791	90	90	90	90	90	90 %	
I = instrumento								

La confiabilidad de un instrumento se da con el fin de obtener la fiabilidad del instrumento proveniente de los datos obtenidos (Hernández y Pascual 2018). El uso de los instrumentos evaluados ayudó en la obtención de los datos para el análisis y desarrollo del proyecto.

### 3.5. Procedimiento

En la figura 2 se plasma cada uno de los procesos que se llevaron a cabo durante el desarrollo del proyecto, estos contribuyeron con el procesamiento de datos, análisis, monitorios entre otros.

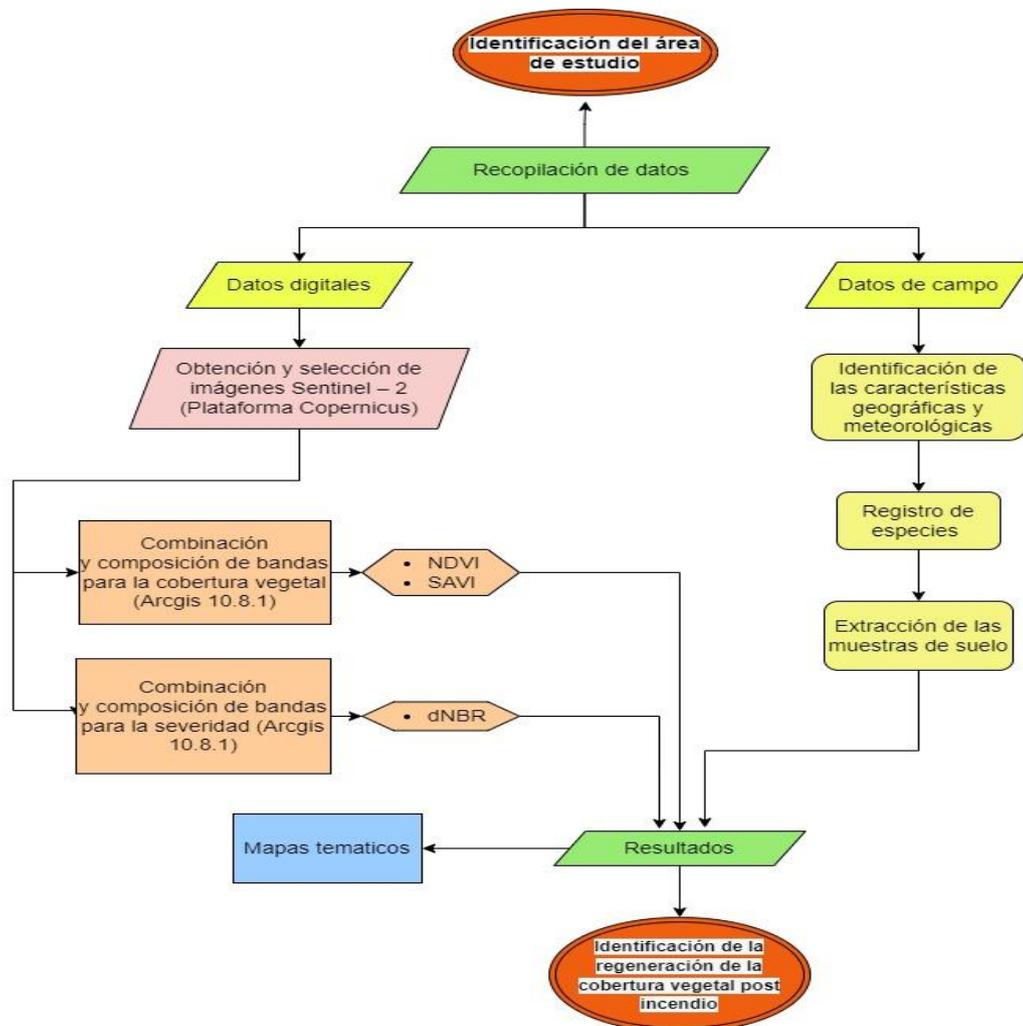


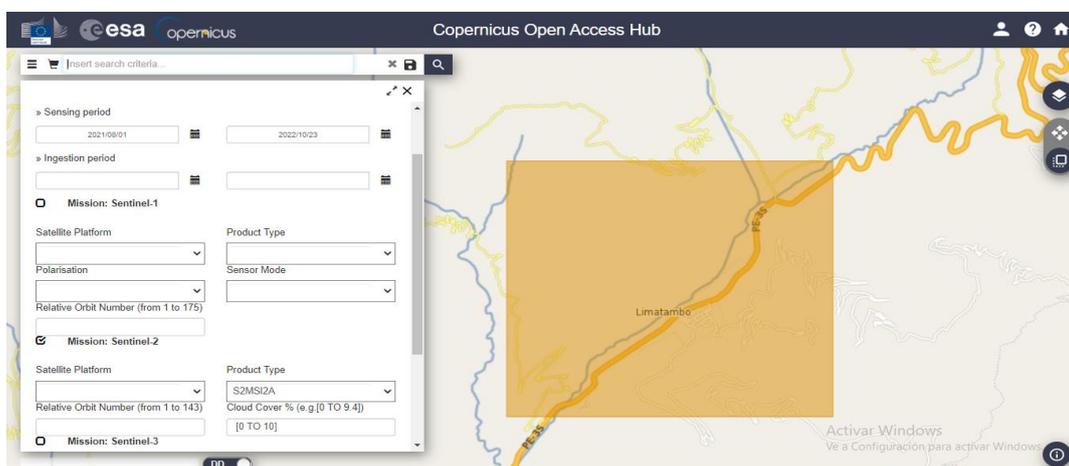
Figura 2. Diagrama de flujo de los procesos de la elaboración del proyecto

La recopilación de datos se desarrolló mediante los datos obtenidos del procesamiento de imágenes digitales y por la extracción de muestras de suelo, características fisicoquímicas y registro de especies de flora en la zona de estudio; con la data obtenida de los procesos se realizó mapas temáticos y el análisis de la regeneración de la cobertura vegetal.

- **Etapa 1: Identificación del área de estudio**

Se evaluó el incendio suscitado en el año 2021 a 2022, el área de estudio se encuentra en el distrito de Limatambo, este se encuentra dentro de las cuadrillas de las imágenes satelitales de Sentinel 2, el área de estudio cumple con las características significativa de presencia de vegetación para realizar el conteo de diversidad de especies. El incendio suscitado se desarrolló cerca a los pueblos de Parcco y Mamaco, en el cerro Huascatín, dicho incendio cuenta con un área total aproximado de 147 hectáreas como se muestra en el anexo nueve.

En la figura 3, se observa la identificación del lugar de estudio en la plataforma Copernicus Open Access Hub, este pide un previo registro para descargar las imágenes seleccionadas. En la búsqueda se debe identificar el tipo de satélite a emplear (S-2), las fechas de interés y el porcentaje de nubosidad.



**Figura 3.** *Imágenes Sentinel 2 (S2MSI2A) de la zona de estudio*

En la figura 4, se muestra la selección de imágenes satelitales, estas no deben de contar con un porcentaje de nubosidad alto, además se identificó que las nubes no se encuentran en el área de estudio.

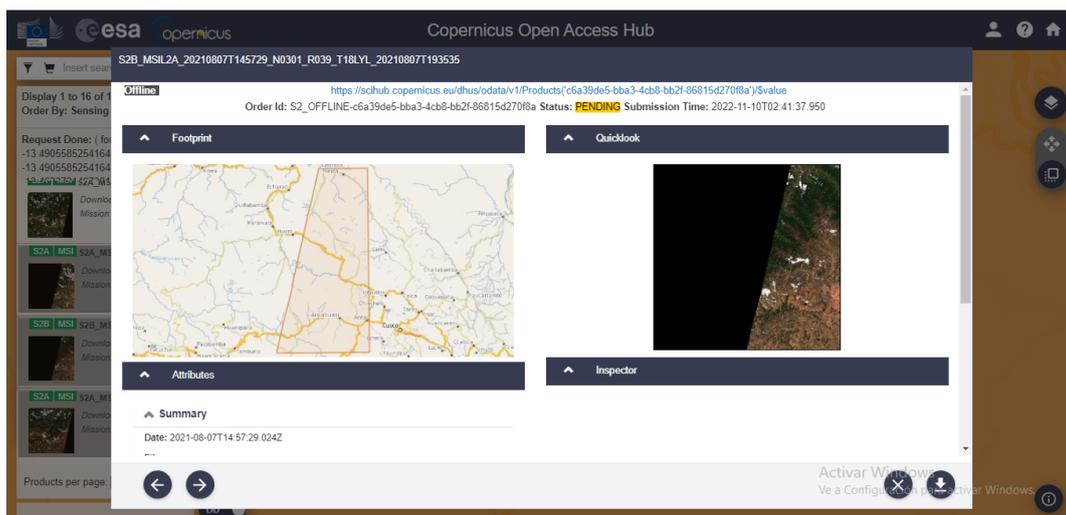


Figura 4. Área de estudio identificado por imagen satelital

- **Etapas 2: Obtención y selección de imágenes Sentinel – 2 (Plataforma Copernicus)**

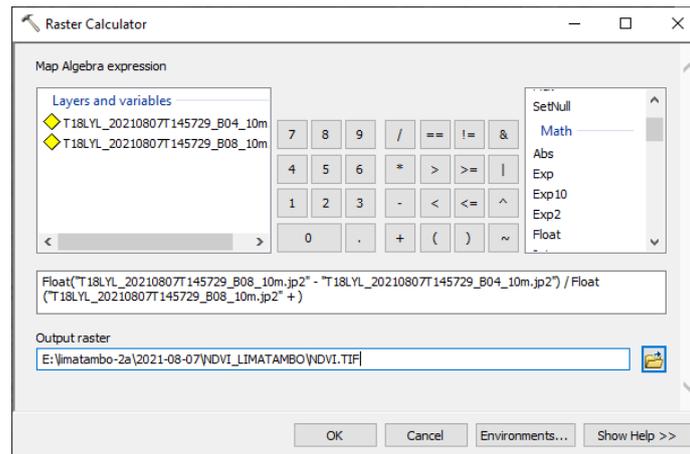
Para la descarga de imágenes se utilizó las imágenes del Sentinel 2 de nivel 2A, donde se encuentran imágenes corregidas atmosféricamente y próximas a la realidad. La tabla 9, muestra las fechas de las imágenes Sentinel 2 descargadas del portal Copernicus Open Access Hub.

Tabla 9. Imágenes de Sentinel 2 selectas

Nº	Fecha	Plataforma	Identificación
01	07/08/2021	S2B	S2B_MSIL2A_20210807T145729_N0301_R039_T18LYL_20210807T193535
02	01/09/2021	S2A	S2A_MSIL2A_20210901T145731_N0301_R039_T18LYL_20210901T185305
03	21/10/2021	S2A	S2A_MSIL2A_20211021T145731_N0301_R039_T18LYL_20211021T191412
04	08/11/2021	S2B	S2B_MSIL2A_20211108T150719_N0301_R082_T18LYL_20211108T191239
05	25/12/2021	S2B	S2B_MSIL2A_20211225T145719_N0301_R039_T18LYL_20211225T173221
06	02/01/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20220102T150721_N0301_R082_T18LYL_20220102T191720
07	21/02/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20220221T150721_N0400_R082_T18LYL_20220221T190808
08	23/03/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20220323T150721_N0400_R082_T18LYL_20220323T191926
09	29/04/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20220429T145731_N0400_R039_T18LYL_20220429T202119
10	24/05/2022	S2B	S2B_MSIL2A_20220524T145729_N0400_R039_T18LYL_20220524T185916
11	28/06/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20220628T145741_N0400_R039_T18LYL_20220628T212517
12	21/07/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20220721T150731_N0400_R082_T18LYL_20220721T214155
13	25/08/2022	S2B	S2B_MSIL2A_20220825T150719_N0400_R082_T18LYL_20220829T173637
14	01/09/2022	S2B	S2B_MSIL2A_20220901T145729_N0400_R039_T18LYL_20220901T184119
15	06/10/2022	S2A	S2A_MSIL2A_20221006T145731_N0400_R039_T18LYL_20221006T211657

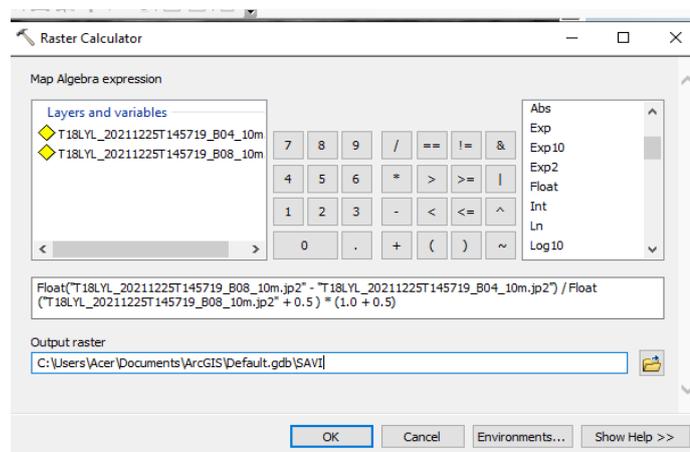
- **Etapa 3: Combinación y composición de bandas**

El desarrollo empleó el software ArcGIS 10.8. Para la obtención de los índices de vegetación (NDVI), se trabajaron con las bandas 08 (NIR) y 04 (RED) en una resolución de 10 por 10 metros. En la figura 5, se muestra la aplicación de la ecuación (1), que fue introducida en la herramienta de Raster Calculator para cada fecha indicada anteriormente.



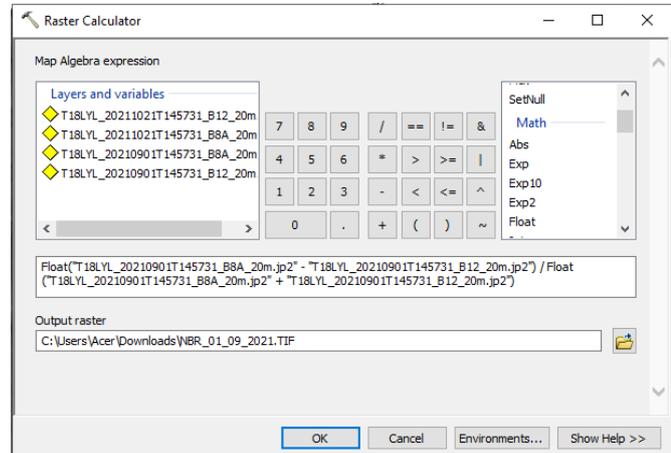
**Figura 5.** Obtención del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI

Para la obtención de los índices de vegetación (SAVI), se trabajaron con las bandas 08 (NIR) y 04 (RED) en una resolución de 10 por 10 metros. En la figura 6, se muestra la ecuación (2), que fue introducida en la herramienta de Raster Calculator para cada fecha indicada anteriormente.



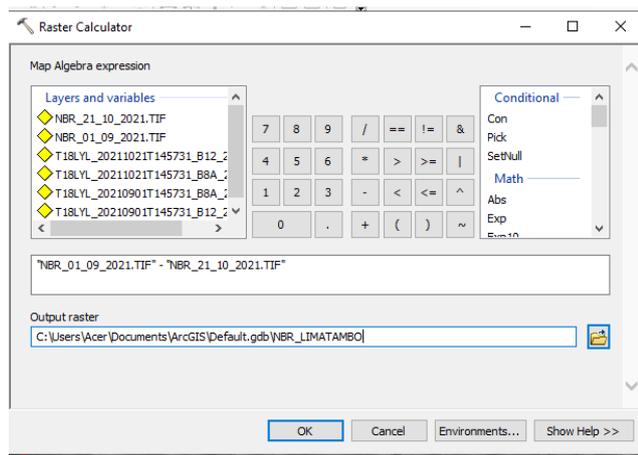
**Figura 6.** Obtención del índice de vegetación ajustada al suelo SAVI

Para Índice Normalizado de Área Quemada se trabajó con las bandas 8A (NIR) y 12 (SWIR) en una resolución de 20 por 20 metros donde se trabajó con la ecuación (3) introducida a la herramienta Raster Calculator que se muestra en la figura 7.



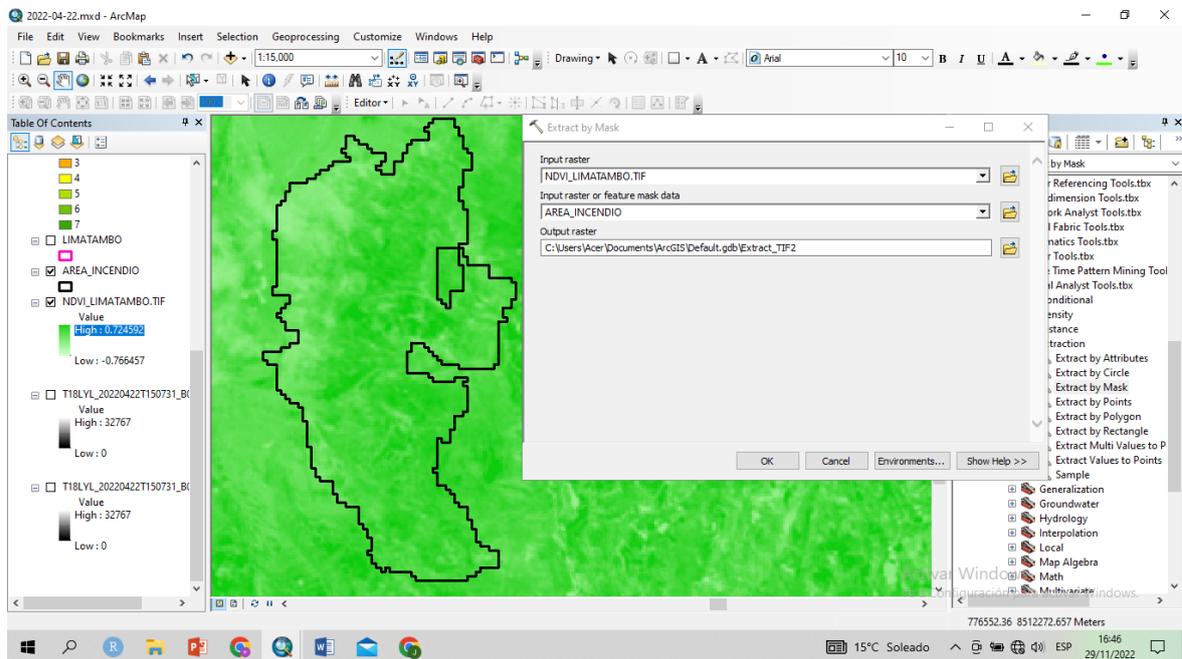
**Figura 7.** Obtención del Índice Normalizado de Área Quemada NBR

El índice de severidad del incendio trabajó con el índice NBR antes y después de la fecha del incendio tal como se muestra en la ecuación (4), esta se introduce de igual forma en la herramienta Raster Calculator como se observa en la figura 8.



**Figura 8.** Obtención del Índice de severidad del incendio

Se extrajeron los valores del área de estudio mediante la extracción por máscara donde se clasificó los valores según los rangos de cada índice y se aplicó una colorimetría específica.



**Figura 9:** Recorte del área de estudio mediante extracción por colorimetría

- **Etapa 4: Elaboración de mapas temáticos**

Con los resultados de la aplicación de índices espectrales y de quema, se procedió a realizar mapas temáticos por cada diferentes índices analizados y para cada una de las fechas. Esto permitirá observar la variación de la cobertura vegetal.

- **Etapa 5: Identificación de las características geográficas y meteorológicas**

Se obtuvo data desde el año 2021 al 2022 de la estación meteorológica convencional Ancachuro de Zurite debido a su cercanía de la zona de estudio para analizar las características meteorológicas. Los datos geográficos se obtuvieron empleando el GPS en campo.

- **Etapa 6: Registro de especies**

El registro de las especies se aplicó una metodología de transecto lineal, el cual consiste en un recorrido lineal donde se contabilizará el número de individuos de la cobertura vegetal por especie. Las especies fueron anotadas en lo posible, datos tales como nombre común, científico y familia. A cada ejemplar identificado se le anotaron los datos de fecha, transecto, nombre común y ubicación con coordenadas registradas por medio de GPS.

- **Etapa 7: Extracción de las muestras de suelo**

Se recolectó tres (3) muestras individuales de suelos no expuestos a incendios y tres (3) muestras individuales de suelos expuestos a incendios, a una profundidad de 30 cm en ambas muestras (suelo no expuesto a incendio y suelo expuesto a incendio). El peso de cada muestra de suelo fue de aproximadamente 1 kg, se colocó en una bolsa de polietileno de baja densidad, con rotulado de: fecha, lugar de muestreo y nombre como de muestra en la figura 10; posterior a ello, fueron enviados al laboratorio de análisis de suelos certificado por INACAL.



**Figura 10.** Rotulado de la muestra de suelo

### **3.6. Método de análisis de datos**

El trabajo de investigación empleó una estadística inferencial, con la base datos obtenidos de la plataforma Copernicus, para la descarga de imágenes Sentinel 2, para que posteriormente sean procesadas en el software ArcGIS, para poder determinar el impacto de los incendios en la cobertura vegetal y determinar la superficie afectada de la cobertura vegetal. Asimismo, se empleó la estadística descriptiva, luego que se obtuvieron los datos del monitoreo de suelo para determinar las características del suelo, así como la obtención de datos de la estación meteorológica, se elaboraron tablas y cuadros para dar una mejor representación del resultado.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación se ha realizado con principios éticos, con autenticidad de los datos y resultados, se respetó el derecho del autor en cada párrafo que contiene el estudio y se impuso una redacción con parafraseo y citas haciendo uso de la guía ISO 690, con el objetivo de respetar la propiedad intelectual de cada autor para posteriormente ser sometida a la herramienta de prevención y antiplagio Turnitin el cual fue aprobado por la Resolución del Vicerrectorado de Investigación N°116-2021-VI-UCV, además de someterlo al código de ética y los reglamentos de investigación de la Universidad César Vallejo aprobado por la Resolución de Consejo Universitario N° 0262-2020-UCV.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de la actividad fotosintética

En la figura 11, se indica los valores que se obtuvieron para índice de vegetación de diferencia normalizada desde el mes de agosto del 2021 a octubre del 2022. En el anexo 7, se observan los mapas temáticos aplicando el índice NDVI.

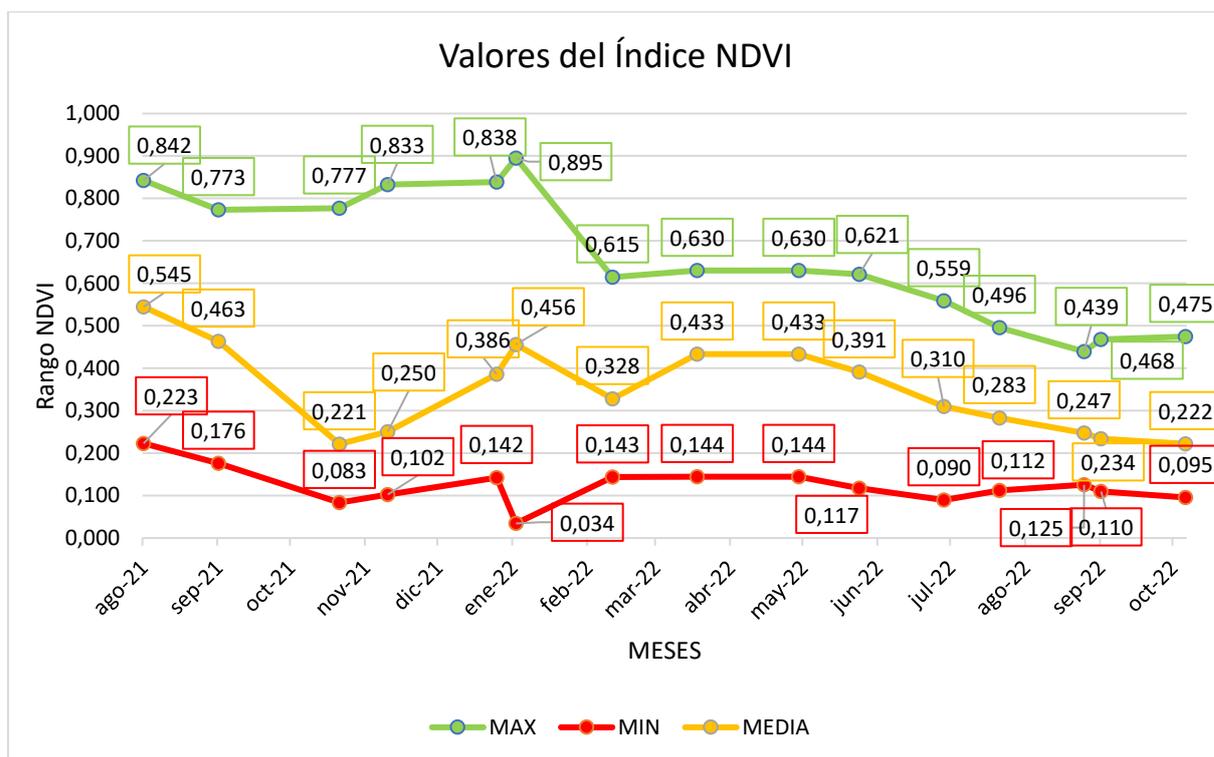
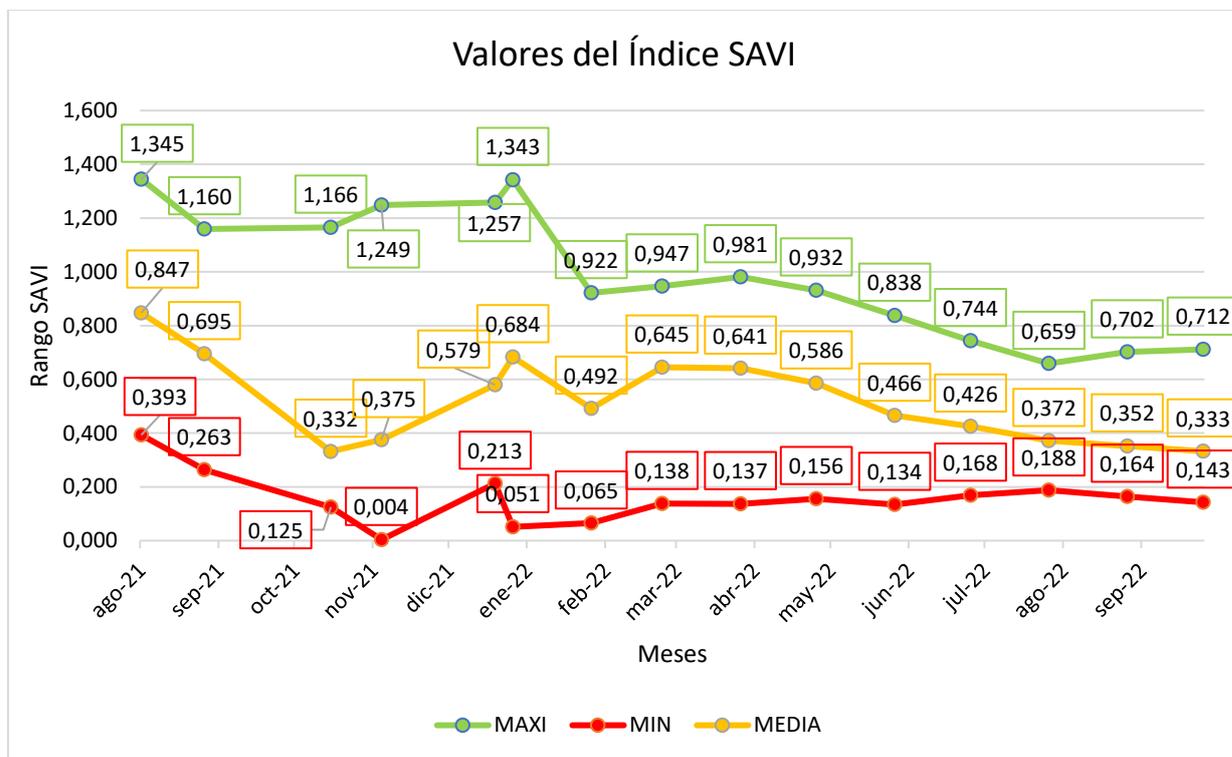


Figura 11. Comportamiento del NDVI máximo, mínimo y la media

En la figura 11, se observa los rangos del NDVI, el mes de enero presenta un valor máximo 0.895 siendo una vegetación muy alta con un área de 24,100 m<sup>2</sup> que representa solo al 1.6 % del área total afectada. Posterior a la fecha del incendio el valor que presenta la vegetación baja es de un área de 1'282,913 m<sup>2</sup> que equivale al 86.85 % del área total incendiada, por consiguiente, al mes de enero se observa la cobertura vegetal del área afectada con una presencia de vegetación media alta en mayor cantidad ocupando un 50.8 % o 750,311 m<sup>2</sup> del total del área afectada. No obstante, a partir del mes de abril se observa una disminución de la vegetación

media alta de manera abrupta, se puede atribuir debido al incremento y descenso en la temperatura, así mismo por la falta de precipitaciones pluviales (lluvias).

En la figura 12, se indica los valores que se obtuvieron para índice de vegetación ajustada al suelo desde el mes de agosto del 2021 a octubre del 2022. En el anexo 8, se observa los mapas temáticos aplicando el índice SAVI.

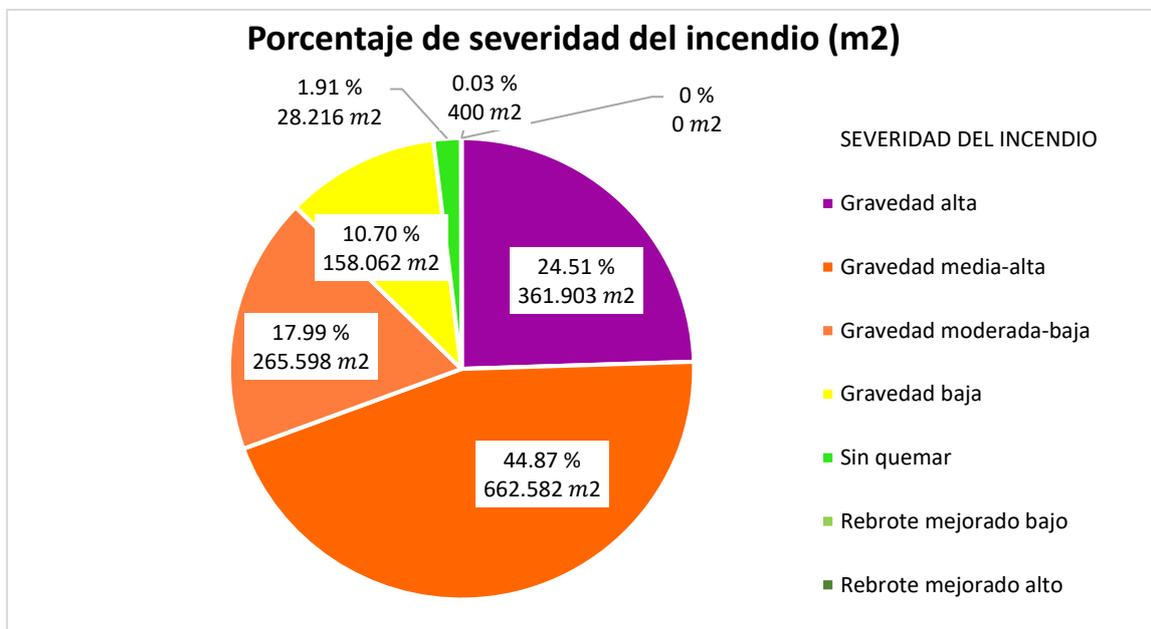


**Figura 12.** Comportamiento del SAVI máximo, mínimo y la media

En la figura 12, se muestra el alcance del índice SAVI máximo con un valor de 1.345 para el mes de agosto antes del incendio, presentando una vegetación muy densa solo en 1'474,082 m<sup>2</sup> que representa al 99.82 % del área total afectada. Posterior a la fecha del incendio el valor que resalta es una vegetación poco densa con un área de 89,6742 m<sup>2</sup> que equivale al 60.72 % del área total incendiada. Para el mes de diciembre del 2021 observó la cobertura vegetal del área afectada con presencia de vegetación muy densa que ocupa el 84.53 % o 1'248,351 m<sup>2</sup> del total del área afectada. A partir del mes de junio se observa una disminución de la densidad de la vegetación, se atribuye al incremento de la temperatura y la falta de precipitaciones.

## 4.2. Determinar el área de la superficie afectada

El desarrollo del área de la superficie se muestra en los resultados obtenidos en la figura 13, mientras que el mapa temático de severidad del incendio se observa en el anexo 10.



**Figura 13.** Porcentajes de severidad del incendio (m<sup>2</sup>)

En la figura 13, se observa la zona de estudio afectada debido al incendio, los resultados se obtuvieron mediante el análisis de las imágenes Sentinel 2 para la fecha del 01 de septiembre y 21 de octubre del 2021. Se obtuvo en mayor cantidad una severidad de gravedad media alta en un 44.87% que corresponde a un área 662,582 m<sup>2</sup>, para la severidad de gravedad alta un 24.51 % con un área de 361,902 m<sup>2</sup>, la gravedad moderada baja 17.99 % con un área de 265, 589 m<sup>2</sup>, una gravedad baja un 10.70 % con un área de 158, 062 m<sup>2</sup>, la zona no afectada presentó un 1.91 % con un área de 28, 219 m<sup>2</sup>. En el área de incendio se evidencio un rebrote de mejora bajo en un 0.03 % con un área de 400 m<sup>2</sup>, el rebrote mejorado alto es nulo y se puede suponer que en la zona de estudio sucedió un incendio en años pasados.

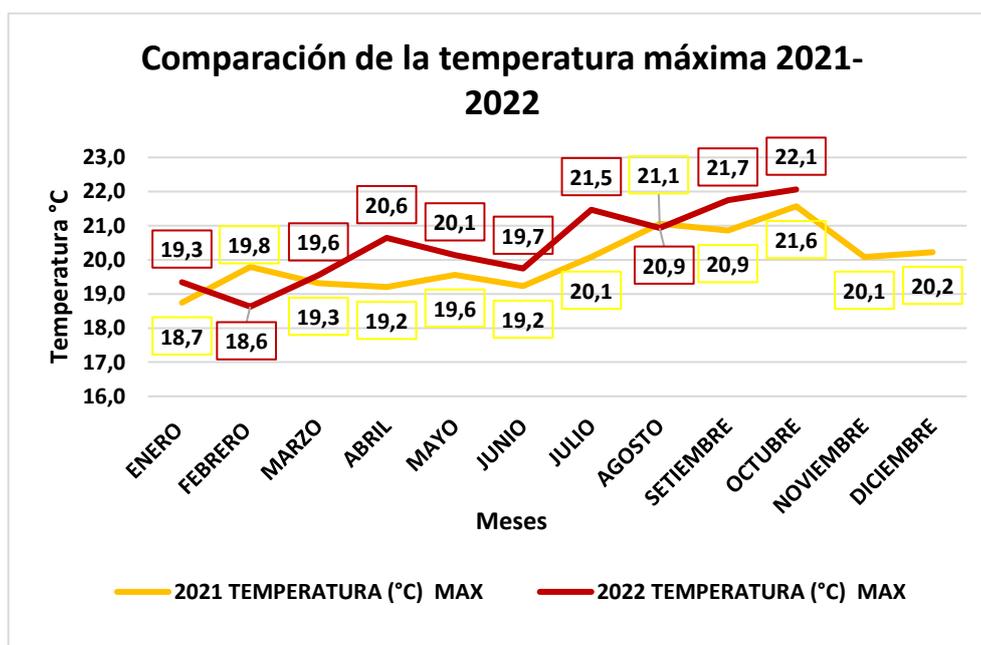
### 4.3. Analizar características geográficas y meteorológicas

En la tabla 10, se realizó el registro de la altitud de los puntos de muestreo que presenta la zona de estudio, como resultado se obtuvo que el punto con mayor altitud es el punto dos (P2) que cuenta con una altitud de 3285 msnm y el punto 3 (P3) que cuenta con una altitud de 3304 msnm.

**Tabla 10.** Registro de la altitud de la zona de estudio

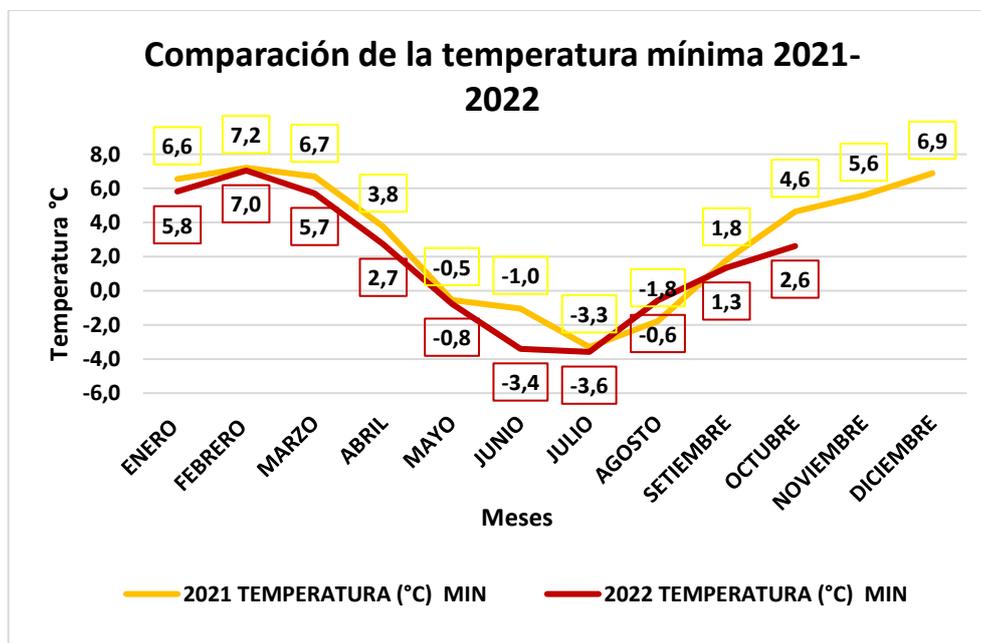
Punto	Zona	Coordenadas		Altura	Fecha	Hora
		Este	Norte			
P1	18 L	776402	8513232	3241 msnm	16/10/2022	08:50:27 a. m.
P2	18 L	776245	8513166	3285 msnm	16/10/2022	09:39:57 a. m.
P3	18 L	776211	8512905	3304 msnm	16/10/2022	11:38:39 a. m.
P4	18 L	776319	8512763	2371 msnm	16/10/2022	12:23:12 p. m.
P5	18 L	776340	8512803	3321 msnm	16/10/2022	12:50:47 p. m.
P6	18 L	776434	8512985	3254 msnm	16/10/2022	01:41:35 p. m.

En la figura 14, se muestra una comparación de las temperaturas máximas del año 2021 al 2022, el mes de octubre de ambos años registraron las temperaturas más altas con 21.6 y 22.1 °C.



**Figura 14.** Comparación de la temperatura máxima 2021 – 2022

En la figura 15, se muestra una comparación de las temperaturas mínimas del año 2021 al 2022, en el mes de julio de ambos años se registraron las temperaturas más bajas con  $-3.3$  y  $-3.6^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 15.** Comparación de la temperatura mínima 2021-2022

La figura 16, muestra los valores de la humedad relativa, los meses de febrero y marzo del 2022 registraron los valores más altos con  $88.6\%$  y  $88.2\%$  respectivamente, el valor más bajo se registró en el mes de septiembre con  $81.3\%$ . Para el año 2021 la humedad relativa más alta fue en los meses de enero ( $87.2\%$ ) y noviembre ( $86.1\%$ ), sin embargo, la más baja se registró en el mes de septiembre con  $78.1\%$ .

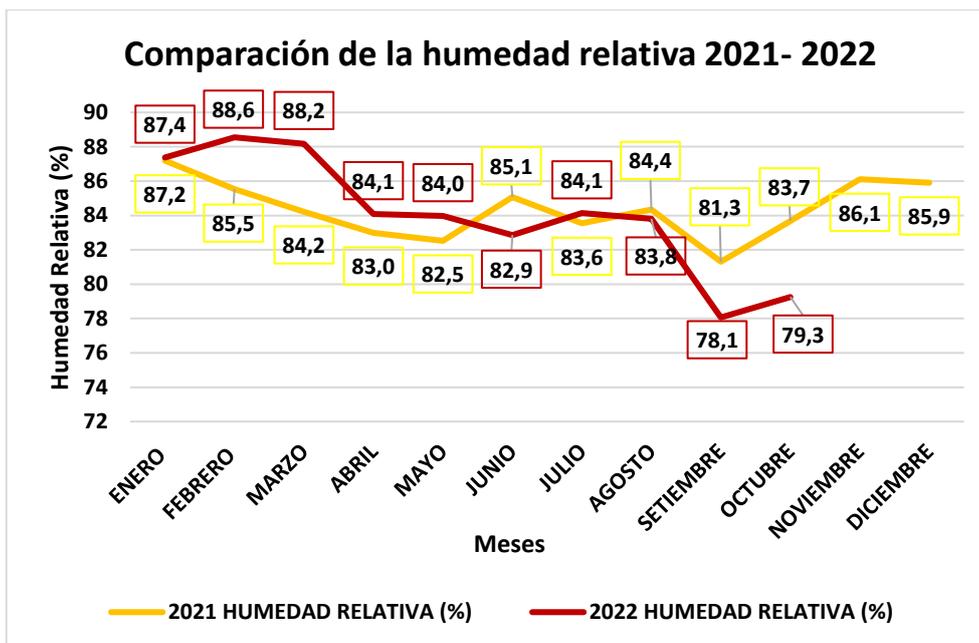


Figura 16. Comparación de la humedad relativa 2021 – 2022

En la figura 17, se muestra el registro de la precipitación para los años 2021 y 2022, el mes de enero (2021) registró un valor de 5.3 mm/día siendo el más alto de todo el año, los meses enero y marzo (2022) registraron un valor de 59 mm/día de precipitación siendo lo más representativo de todo el año.

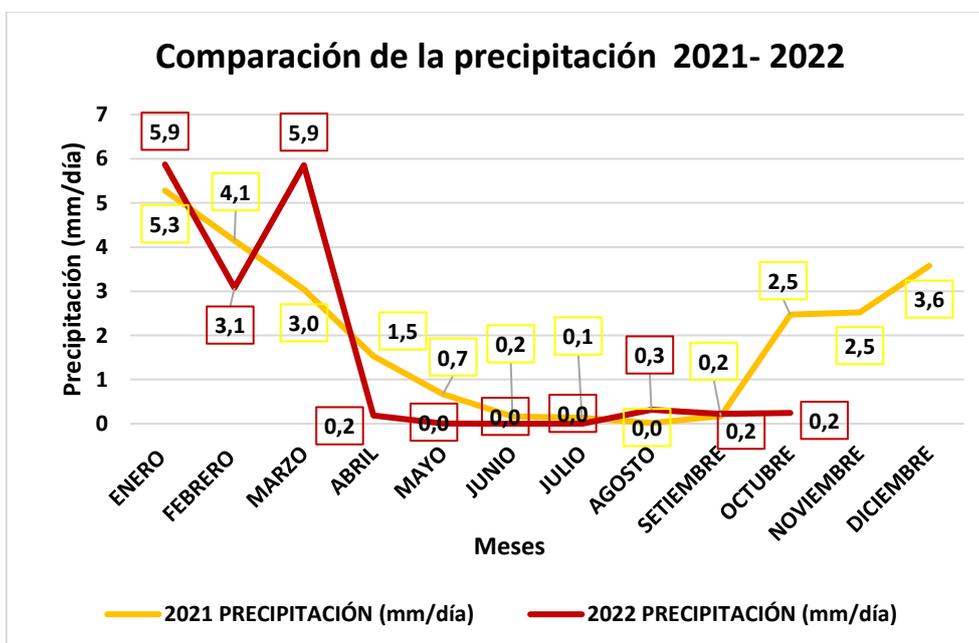


Figura 17. Comparación de precipitación 2021 – 2022.

#### 4.4. Análisis de correlación entre los índices espectrales de vegetación y las características meteorológicas

Se realizó la prueba de normalidad con los datos de media de los índices espectrales para realizar la correlación de Pearson e identificar si tienen relación con los datos meteorológicos.

$H_0$ : Los datos analizados de los índices espectrales de vegetación muestran una distribución normal

$H_1$ : Los datos analizados de los índices espectrales de vegetación no muestran una distribución normal

Se determinó el nivel de significancia como datos no válidos si "Sig." es menor a 0.05; y los datos se consideran como normales si la significancia es mayor a 0.05.

En la tabla 11, se observa la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que los datos analizados son menores a 30. Los resultados observados en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk es mayor a 0.05, esto indica que los datos analizados son normales, por consiguiente, es un dato estadístico paramétrico.

**Tabla 11.** Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
NDVI	,923	15	,213
SAVI	,924	15	,223

Según los resultados anteriores se presentan las siguientes hipótesis para la correlación se consideró solo los datos posteriores al incendio suscitado.

$H_0$ : Existe un grado de relación entre los índices espectrales y las características meteorológicas

$H_1$ : No existe un grado de relación entre los índices espectrales y las características meteorológicas

En la tabla 12, se muestran los resultados obtenidos en la aplicación de la correlación de Pearson, el nivel de significancia “Sig.” entre los índices espectrales, la humedad relativa es menor a 0.05, esto indica que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  donde sí existe una relación entre los índices espectrales con la humedad relativa. El grado de correlación entre los índices espectrales y la humedad relativa es 0.612 (correlación alta).

**Tabla 12.** Correlación entre índices espectrales y características meteorológicas

Correlaciones						
		NDVI	SAVI	Humedad relativa	Precipitación	Temperatura promedio
NDVI	Correlación de Pearson	1	1,000**	,612*	,528	,118
	Sig. (bilateral)		,000	,026	,063	,701
	N	13	13	13	13	13
SAVI	Correlación de Pearson	1,000**	1	,609*	,522	,114
	Sig. (bilateral)	,000		,027	,067	,710
	N	13	13	13	13	13
Humedad relativa	Correlación de Pearson	,612*	,609*	1	,732**	,315
	Sig. (bilateral)	,026	,027		,004	,294
	N	13	13	13	13	13
Precipitación	Correlación de Pearson	,528	,522	,732**	1	,665*
	Sig. (bilateral)	,063	,067	,004		,013
	N	13	13	13	13	13
Temperatura promedio	Correlación de Pearson	,118	,114	,315	,665*	1
	Sig. (bilateral)	,701	,710	,294	,013	
	N	13	13	13	13	13
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).						
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).						

De igual modo se aprecia el nivel de significancia entre los índices espectrales, la temperatura promedio y la precipitación son mayores a 0.05 donde se rechaza la  $H_0$ , esto indica que no necesariamente existe una relación entre los índices espectrales, la precipitación y la temperatura promedio.

#### 4.5. Características fisicoquímicas del suelo

Mediante la guía de interpretación de análisis de suelo, se pudo analizar los resultados por cada parámetro para el desarrollo de la investigación.

##### a. pH de suelos

En la tabla 13, se muestran los valores para la interpretación del pH del suelo estudiado.

**Tabla 13.** Interpretación de análisis de suelo para pH

<b>Categoría del suelo</b>	<b>pH</b>
Fuertemente ácido	<5.1 %
Moderadamente ácido	5,2 – 6,0 %
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5 %
Neutro	6,6 – 7,3 %
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,4%
Ligeramente alcalino	>8.4

- **Resultado del pH de los suelos analizados**

En la tabla 14, se muestra los valores obtenidos del análisis de suelo para el pH, 3 muestras para suelos expuestos por el incendio y 3 muestras para suelos no expuestos por el incendio; como resultado se obtuvo para ambos suelos un pH neutro, según la tabla 11 los valores que van del 6.6 - 7.3 son considerados suelos neutros.

**Tabla 14.** Valores obtenidos del análisis de suelo para pH

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>pH obtenido</b>
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	6.8
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	7.2
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	7.2
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	7.2
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	7.2
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	6.9

**b. Conductividad eléctrica de suelos analizados**

En la tabla 15, se muestran los valores obtenidos del análisis de suelo para la interpretación de la conductividad eléctrica.

**Tabla 15.** Interpretación de análisis de suelo para Conductividad Eléctrica

<b>CE <math>\mu</math>s/cm</b>	<b>Descripción</b>	
<900	No salino	Suelos normales
1800-1900	Débilmente Salino	Es posible que se afecte el rendimiento de cultivos sensibles.
1800-3600	Moderadamente Salino	El rendimiento de la mayoría de los cultivos se afecta.
3700-7200	Fuertemente Salino	Es difícil de explotar en tales condiciones
>7200	Extremadamente Salino	Por lo general no crece cultivo en ese suelo

- **Resultado de la Conductividad Eléctrica (CE) de suelos analizados**

En la tabla 16, se muestra que los suelos menores a 900  $\mu\text{s/cm}$  son considerados suelos normales, el cual se da un óptimo desarrollo de las plantas y vegetación en la zona de estudio.

**Tabla 16.** Valores obtenidos del análisis de suelo para conductividad eléctrica (CE)

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>CE <math>\mu\text{s/cm}</math></b>
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	220
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	320
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	420
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	360
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	420
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	330

**c. Materia orgánica del suelo**

En la tabla 17, se muestran valores para la interpretación de la materia orgánica de los suelos expuestos a incendio y no afectados por el incendio.

**Tabla 17.** Interpretación de análisis de suelo para Materia Orgánica

<b>Materia orgánica</b>	<b>Clase</b>
Bajo	<2%
Medio	2-4%
Alto	>4%

- **Resultados de la materia orgánica del suelo analizado**

Según los resultados obtenidos, se determina que los suelos no expuestos a incendio tienen muy poca materia orgánica ya que en promedio tienen un valor de 0.8 y los suelos expuestos 1.6 presentando poca materia orgánica, según lo descrito en la tabla 18, los suelos con valores que están por debajo de 2% son considerados suelos con poca materia orgánica.

**Tabla 18.** *Valores obtenidos del análisis de suelo para materia orgánica*

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>Materia orgánica</b>
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	1.1
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	1
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	1.9
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	2
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	0.5
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	1

**d. Textura del suelo**

En la tabla 19, se observa los valores obtenidos del análisis de suelo para su textura (arena, arcilla, limo) e identificó la clase textural para los suelos afectados y no afectados por el incendio; como resultado se determinó que los suelos analizados son francos limosos.

**Tabla 19. Resultado del análisis de suelo para su Textura**

Puntos de monitoreo	Textura malla(2mm)	Clase textural
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	Arena 14.1%	Limoso
	Arcilla 2.2%	
	Limo 83.7%	
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	Arena 46.2 %	Franco limoso
	Arcilla 1.1 %	
	Limo 52.7 %	
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	Arena 25.9 %	Franco limoso
	Arcilla 1.7 %	
	Limo 72.4 %	
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	Arena 24.7 %	Franco limoso
	Arcilla 2.5 %	
	Limo 72.8 %	
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	Arena 38.1 %	Franco Limoso
	Arcilla 2.9 %	
	Limo 59 %	
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	Arena 21.7 %	Franco Limoso
	Arcilla 2.9 %	
	Limo 75.4 %	

**e. Fósforo del suelo**

En la tabla 20, se observan los valores para la interpretación del análisis de suelo para el Fósforo (P) disponible, tanto para suelos afectados y no afectados por el incendio.

**Tabla 20. Interpretación del análisis de suelo para Fósforo (P)**

<b>P<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mg/100</b>	<1	Bajo
	1-2	Medio
	2-4	Alto
	>4	Excesivo

- **Resultados del Fósforo disponible en el análisis del suelo**

Se obtuvo como resultado un valor promedio de 2.3 para los suelos no expuestos a incendio, presentado un rango alto de fósforo disponible en suelo; para los suelos expuestos se obtuvo un promedio de 2.6 presentando un rango alto de fósforo disponible según se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21.** Valores obtenidos del análisis de suelo para el fósforo (P)

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/100</b>
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	2.3
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	2.8
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	3.1
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	1.9
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	2.1
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	2.6

**f. Potasio del suelo**

En la tabla 22, se observan los valores para la interpretación del análisis en laboratorio para el Potasio (K) intercambiable, tanto para suelos afectados y no afectados por el incendio.

**Tabla 22.** Interpretación de análisis de suelo para Potasio disponible (K)

<b>K<sub>2</sub>O mg/100</b>	<15	Bajo
	15-25	Medio
	25-80	Alto
	>80	Excesivo

- **Resultados del Potasio (K) del análisis del suelo**

Como resultado se obtuvo un valor promedio de 12.4 para los suelos no expuestos al incendio presentando un rango bajo de potasio intercambiable en suelo; para los suelos expuestos al incendio se obtuvo un promedio de 13.4 presentando un rango bajo de potasio intercambiable según la tabla 23, para los valores obtenidos del análisis de suelo.

**Tabla 23.** *Valores obtenidos del análisis de suelo para Potasio (K)*

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>K<sub>2</sub>O mg/100</b>
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	12.1
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	14.6
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	12.8
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	12.9
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	12.7
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	12.5

**g. Resultado de Carbono Orgánico (%) del análisis de suelo**

En la tabla 24, se muestra los valores obtenidos del análisis de suelo para el carbono, 3 muestras para suelos expuestos por el incendio y 3 muestras para suelos no expuestos por el incendio; como resultado se obtuvo para suelos expuestos a incendio un promedio de 1.18 % y para suelos no expuestos 0.61 de porcentaje de carbono orgánico en suelo.

**Tabla 24.** Valores obtenidos del análisis de suelo para el carbono (%)

Puntos de monitoreo	Carbono Orgánico %
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	0.80
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	0.70
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	1.45
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	1.40
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	0.29
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	0.75

#### **h. Nitrógeno del suelo**

En la tabla 25, se observan los valores para la interpretación del análisis en laboratorio para el Nitrógeno Total (N), tanto para suelos afectados y no afectados por el incendio.

**Tabla 25.** Interpretación de análisis de suelo para Nitrógeno Total (N)

<b>N Total (%)</b>	<0.1	Bajo
	0.1 – 0.2	Medio
	>0.2	Alto

- **Resultados del Nitrógeno (N) del análisis del suelo**

Como resultado se obtuvo un valor promedio de 0.067 % para los suelos no expuestos al incendio presentando un rango bajo de nitrógeno total en suelo; para los suelos expuestos al incendio se obtuvo un promedio de 0.09 % presentando un rango bajo de nitrógeno total según como se muestra en la tabla 26.

**Tabla 26.** Valores obtenidos del análisis de suelo para Nitrógeno (N)

Puntos de monitoreo	Nitrógeno total	Nitrógeno de nitrato	Nitrato $NO_3^-$
<b>M1</b> Suelo no expuesto a incendio	0.08	0.04	0.17
<b>M2</b> Suelo expuesto a incendio	0.06	0.03	0.13
<b>M3</b> Suelo expuesto a incendio	0.11	0.08	0.35
<b>M4</b> Suelo expuesto a incendio	0.10	0.05	0.22
<b>M5</b> Suelo no expuesto a incendio	0.05	0.00	0.00
<b>M6</b> Suelo no expuesto a incendio	0.07	0.04	0.17

#### 4.6. Identificar tipo de especies de flora

En la tabla 27, se describe la zona, las coordenadas del área de estudio, fecha, hora y la cobertura vegetal predominante identificada en el transecto T2 y T5 en la zona, se analizaron el transecto T2 debido a que se encontró en el área incendiada y el transecto T5 se encuentra en área no incendiada; esto permitirá hacer la comparación de la cobertura vegetal y los tipos de especies predominantes. El mapa de los transectos se muestra en el Anexo 12.

**Tabla 27.** Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de flora

Transecto	Zona	Coordenadas		Fecha	Hora	Descripción	Cobertura Vegetal
		Este	Norte				
T1	18 L	776402	8513232	16/10/2022	08:50:27	Toma de muestra	Matorral arbustivo
T2	18 L	776245	8513166	16/10/2022	09:39:57	Toma de muestra	Matorral arbustivo
T3	18 L	776211	8512905	16/10/2022	11:38:39	Toma de muestra	Matorral arbustivo
T4	18 L	776340	8512803	16/10/2022	12:50:47	Toma de muestra	Matorral arbustivo
T5	18 L	776434	8512985	16/10/2022	13:41:35	Toma de muestra	Matorral arbustivo

### a. Resultado de la cantidad de especies encontradas en el área de estudio

Para el estudio de la cantidad de especies abundantes en la zona de impacto por el incendio, se registró un total de 294 especies, agrupadas en 20 familias.

De acuerdo con la figura 18, muestra que la especie *Amaranthus spinosus* con el nombre común (amaranto silvestre) fue la especie más representativa en toda la zona de estudio. En el Anexo 13, se observa una lista de las especies de flora registradas en campo.

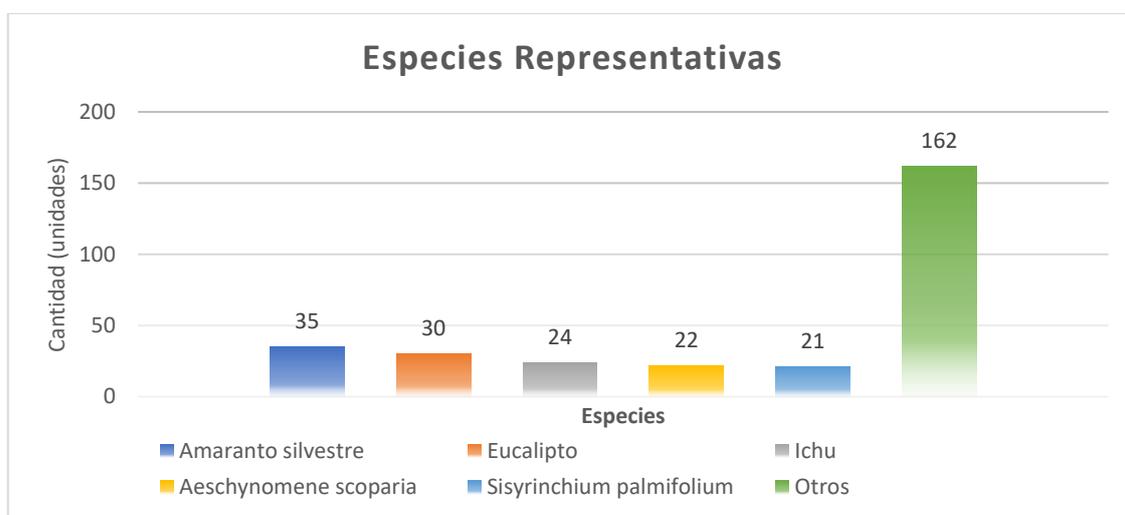


Figura 18. Especies más representativas de la zona de estudio

### b. Porcentaje de las especies más representativas de la zona de estudio

En la tabla 28, se presentaron las especies más abundantes en el transecto 2 y el transecto 5; se identificó en primer lugar la especie de *Amaranthus spinosus* en (11.90%), la especie restante como *Eucalipto* en (10.20 %), *Ichu* con (8.16%), *Aeschynomene scoparia* con (7%) y otro un 55.10 % distribuidos en diferentes familias y especies. En el anexo 14 se realizó la lista de cada especie, describiendo la representatividad de cada uno en porcentajes (%).

**Tabla 28. Representación de especies %**

N°	Especie representativas por transecto	T-2	T-5	Especies representativas	
1	<i>Amaranto silvestre</i>	20	15	35	11.90%
2	<i>Eucalipto</i>	0	30	30	10.20%
3	<i>Ichu</i>	17	7	24	8.16%
4	<i>Aeschynomene scoparia</i>	15	7	22	7%
5	<i>Sisyrinchium palmifolium</i>	18	3	21	7.14%
6	Otros	84	78	162	55.10%
	Total por transectos	154	140		

## V. DISCUSIÓN

En relación con la actividad fotosintética para el índice de vegetación de diferencia normalizada se apreció que el mes de enero del 2022 presenta el NDVI más alto con 0.895 ocupando un área de 24 100  $m^2$  (1.6 %) y de igual forma también se observa el más bajo con 0.034 ocupando un área de 5 376  $m^2$  (0.4 %) del área quemada analizada. El índice de vegetación ajustada al suelo de igual forma en el mes de enero se observa el índice SAVI más alto con 1.343 indicando una vegetación muy densa ocupando un área de 1 320 230  $m^2$  (89.40 %), sin embargo, es en el mes de noviembre donde se observa el SAVI más bajo con 0.004 ocupando un área de 129 797  $m^2$  (8.79 %).

Para Longato et al. (2019) quienes utilizaron imágenes Landsat 8 aplicando el índice SAVI obtienen valores mínimos de 0.317 y máximos de 0.77, en los suelos marginales la generación de bioenergía en el nivel de compensaciones con todos los servicios ecosistémico-analizados es bajo. El autor indica que las imágenes Sentinel presentan un análisis más detallado debido a que tienen una resolución más fina. Para Tariq et al. (2021) que trabajaron con Sentinel 2, obtuvieron valores de NDVI después del incendio entre 0.020 a 0.031 mientras que la diferencia de antes y después del incendio fue 0,398 para incendios forestales de otoño, 0,278 incendios forestales de verano y 0,156 incendios prescritos fueron. La gravedad de los incendios forestales de otoño no fue estadísticamente diferente de la de los incendios prescritos esto puede deberse a que su severidad fue muy alta por lo que afecta a tu tiempo de regeneración en más de seis meses. Para (Nolè et al., 2022) las estimaciones basadas en el NDVI indican un tiempo de recuperación posterior al incendio no superaron los 2,5 años, en el conjunto de datos agrupados durante el período de observación, el desarrollo de la vegetación dependerá a la gravedad de la severidad, además una recuperación más rápida de la vegetación dependerá a frecuencia de incendios y si son más o menos severos, lo que se atribuyó al efecto de incendios rápidos la colonización por vegetación herbácea pionera después de una fuerte reducción de la cubierta forestal en áreas fuertemente quemadas.

La severidad del incendio llegó a una gravedad media alta en 662 582  $m^2$  (44,87 %) del área total incendiada, seguida de una gravedad alta en 361 903  $m^2$

(24.51 %), se observa también un área sin quemar de 28 216  $m^2$  (1.91 %) y un rebrote mejorado bajo de 400  $m^2$  (0.03 %).

Según el análisis de Tariq et al. (2021) donde evaluaron el tiempo de regeneración posterior a incendios forestales que ocurrieron en otoño tardaron una media de 223 días en recuperarse del fuego, mientras que los incendios forestales que ocurrieron en verano tardaron una media de 188 días y las quemas prescritas tardaron una media de 165 días en recuperarse, esto puede deberse a su severidad alta del incendio que alcanzó 0,789, 0,735 y 0,635 mientras que en este estudio se alcanzó principalmente a una severidad media alta y se puede evidencia una actividad fotosintética alta a partir del día 100, además se puede atribuir que el incendio sucedió en la estación de primavera o temporada seca seguida de la temporada de lluvias. Según lo mencionado por Smiraglia et al. (2020) el índice de severidad más alto fue en Rocagorga de 1.24775 que es más elevado al obtenido en este estudio, se puede atribuir que el incendio de este lugar se suscitó tras una estación seca de verano con un clima mediterráneo oceánico en el mes de julio contando con vegetación principal de bosque de pinos, matorrales y pastizales, mientras que en Bussoleno su valor de severidad fue 0.58845 suscitado entre el mes de octubre y noviembre después de una sequía prolongada con clima templado semi continental acercando al resultado obtenido del cerro Huascatín suscitado en el mes de setiembre con un valor entre 0.44 – 0.659.

La frecuencia y la severidad de los incendios continúan influyendo en las propiedades bioquímicas del suelo incluso cuatro años después de un incendio, pero la fuerza y la dirección de los efectos varían en gran medida entre los sitios con diferentes condiciones ambientales (Fernández, et al., 2020).

Las condiciones meteorológicas analizadas indican que las temperaturas del 2022 son las más altas y las más bajas en relación al año anterior, sin embargo, solo se encuentra la existencia de un grado de relación entre los índices espectrales y la humedad relativa encontrándose una concordancia en el estudio por Singleton et al. (2021), encuentra mayor regeneración de éxito de la cobertura vegetal en el establecimiento y la densidad de las plántulas de pino según el gradiente de humedad. Mientras que las características geográficas del lugar nos muestran una altura superior a los 3200 metros sobre el nivel del mar donde, según Kong, Yang

y Cai (2019) realizaron un estudio sobre la topografía controla los cambios posteriores al incendio en las propiedades del suelo en un bosque boreal chino, determinaron que la topografía influyó fuertemente en las propiedades del suelo, con laderas orientadas al norte con mayor humedad del suelo (SM), profundidad de la capa de materia orgánica (OML), concentraciones de carbono total y N inorgánico, y pH más bajo, carbono orgánico disuelto (DOC) y nitrógeno (DON).

Según los resultados obtenidos para las características físico-químicas, tenemos como primer parámetro el pH, con 3 muestras para suelos afectados por el incendio y 3 muestras para suelos no afectados; el cual se determinó para ambas muestras un pH neutro, debido a que se encontraron en un rango de 6.6 - 7.3. el estudio realizado por Huaman (2021) determinó que el pH se incrementó a causa del incremento en la temperatura (400°C) y un valor de 7.47, teniendo en cuenta que el estudio realizado presentó una intensidad media, no se pudo evidenciar un incremento notorio en el pH, es importante hacer evaluación poco después ocurrido el incendio para obtener valores más exactos.

CBI es un buen índice para reflejar los cambios físicos en las características del suelo que están estrechamente relacionados con el comportamiento hidrológico de los suelos después de un incendio. Este índice debe incluir siempre la profundidad de carbonización ya que es el indicador visual más relacionado con el impacto sufrido por los suelos, aunque no se mide inmediatamente después del incendio. La LST posterior al incendio podría considerarse como un indicador potencial de la gravedad de la quema, debido a su relación con los cambios en el carbono orgánico del suelo (Marcos, et al. 2018).

Para los resultados de la conductividad eléctrica se muestra que los suelos menores a 900  $\mu\text{s}/\text{cm}$  son considerados suelos normales, el cual es apto para el desarrollo de vegetación. El estudio que realizaron Lucas, et al. (2020) para su área de estudio, el pH no respondió al patrón descrito, debido a su cambio entre tratamientos siendo estable, probablemente debido a la mayor capacidad amortiguadora de los suelos carbonatados, Por el contrario, la CE de los suelos expuestos a incendio incrementó.

Para la materia orgánica se determinó que los suelos no expuestos a incendio tienen muy poca materia orgánica ya que en promedio tienen un valor de 0.8 y los suelos expuestos 1.6 presentando poca materia orgánica, ya que obtuvieron valores que están por debajo de 2%, el cual son considerados suelos con poca materia orgánica. Los resultados obtenidos por Lucas, et al. (2020) indicaron que después de un año, ninguno de los suelos experimentales mostró diferencias significativas en la relación C/N, aunque se registró un ligero aumento en las parcelas B + M. Esto está en concordancia con estudios previos en pinares quemados, que indican que, tras la caída inicial de C/N provocada por el fuego y debido a nuevas formas de acumulación recalcitrante de N y a la volatilización de compuestos de C inmediatamente después del fuego.

Los valores obtenidos del análisis de suelo para su textura (arena, arcilla, limo) e identificó la clase textural para los suelos afectados y no afectados por el incendio; como resultado se determinó que los suelos analizados son francos limosos. Teniendo en cuenta lo desarrollado por Lucas, et al. (2020) los cambios en la textura del suelo de los suelos expuestos a incendio (disminución de arcilla y aumento de limo en las parcelas B + NM y aumento de limo y disminución de arena en B + M) son de esperar después de un incendio forestal. Estos cambios deben monitorearse con precaución, porque una disminución de la fracción más fina del suelo puede hacernos sospechar que los suelos expuestos a incendio, pero no tratados pueden ser más propensos a la erosión en comparación con los suelos no expuestos a incendio y expuestos pero cubiertos con mantillo. Huaman (2021) indica que la textura del suelo generalmente no experimenta cambios debajo de los 500 °C.

Para el fósforo se obtuvo como resultado un valor promedio de 2.3 para los suelos no expuestos a incendio, presentado un rango alto de fósforo disponible en suelo; para los suelos expuestos se obtuvo un promedio de 2.6 presentando un rango alto de fósforo disponible. Para el potasio se obtuvo un valor promedio de 12.4 para los suelos no expuestos a incendio, presentado un rango bajo de potasio intercambiable en suelo; para los suelos expuestos se obtuvo un promedio de 13.4 presentando un rango bajo de potasio intercambiable, para el carbono mostró como

resultado para suelos expuestos a incendio un promedio de 1.18% y para suelos no expuestos 0.61 de porcentaje de carbono en suelo.

Para hacer el análisis de suelo se tuvo como limitante el acceso a toda el área afectada por incendio, por lo que los resultados de las características fisicoquímicas del suelo no tuvieron valores muy significativos, encontrando muy poca variación en sus valores, ya que el estudio se realizó después de un año sucedido el incendio

Los resultados obtenidos para la cobertura vegetal indican que la especie predominante en la zona es el matorral arbustivo. Para la cantidad de especies regeneradas en la zona de impacto por el incendio, se registró un total de 294 especies, agrupadas en 20 familias, donde se muestra que la especie *Amaranthus spinosus* con el nombre común (amaranto silvestre) fue la especie más representativa en toda la zona de estudio. En el estudio realizado por Mligo (2019) para el muestreo se utilizaron un diseño de parcelas anidadas a lo largo de tres transectos establecidos entre las posiciones topográficas de cimas de colinas, laderas de colinas y fondo de valle, donde registraron un promedio de 316 especies de plantas autóctonas de 46 familias que se habían regenerado con éxito en el área quemada.

En el estudio se realizó una lista de las especies más abundantes en la zona, en primer lugar, se encuentra *Amaranthus spinosus* (11.90%), las especies restantes como *Eucalipto* (10.20 %), *Ichu* (8.16%), *Aeschynomene scoparia* (7%) y otro un 55.10 % distribuidos en diferentes familias y especies. Por el contrario, el estudio que realizaron Bargali et al. (2022) utilizaron una metodología de transecto lineal, tomando 5 puntos de monitoreo para el registro, con una distancia de 100 m entre cada punto. Sin embargo, a diferencia de la metodología aplicada para el registro de las especies este estudio utilizó imágenes satelitales, donde, el fuego se clasificó en cuatro clases de frecuencia (sin fuego, fuego bajo, fuego moderado y alto fuego). Se muestreo un total de 160 cuadrados para árboles, (320) arbustos y (480) plantas báceas. La diversidad de hierbas disminuyó con el aumento de la frecuencia de incendios, desde un mínimo de 12 especies en la clase de alta frecuencia hasta un máximo de 37 en la clase sin incendios.

El número promedio de especies fue menor y las especies que rebrotan fueron menos abundantes en los sitios de orientación sur; las especies de bancos de semillas fueron más abundantes en los aspectos norte. La regeneración del pino ponderosa fue mayor en los sitios con manejo posterior al incendio, pero solo en las laderas del sur (Lopez et al., 2019).

Registraron una riqueza de 24 especies, siendo un valor importante de especies regeneradas después de un incendio, la especie *Harvardia pallens* presentó un 11.3%, siendo la especie más representativa del área de estudio. También se registraron valores significativos demostrando que el área post incendio presenta una buena regeneración y con variedad de especies (Graciano-Ávila, G. et al., 2018).

Las características de aislamiento de la corteza específicas de la especie ayudan a comprender y cuantificar mejor la sensibilidad al fuego de los árboles de los Alpes centrales. Vincular los datos de aislamiento de la corteza con información sobre otras características de resistencia al fuego (por ejemplo, la susceptibilidad al calor de los componentes de la copa, la altura de la base de la copa, la inflamabilidad), la fisiología posterior al incendio y la capacidad de reclutamiento serán la base para estimar mejor los impactos futuros en los ecosistemas forestales y desarrollar estrategias (Bär y Mayr, 2020).

La quema estimuló significativamente la cobertura y la densidad. La disponibilidad de luz, la temperatura del suelo y la composición de la comunidad antes del incendio podrían ser los principales responsables de la recuperación de la comunidad del sotobosque después del incendio de baja gravedad (Hu et al., 2018).

## VI. CONCLUSIONES

1. El impacto en la cobertura vegetal se puede identificar principalmente por el análisis de la severidad y la extensión del incendio donde se evidencio que la gravedad fue media alta en 44,87 % del área incendiada, equivalente a 66 hectáreas.
2. En la actividad fotosintética muestra para el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) registró valores desde 0.034 a 0.895, mientras que en el índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI) registró valores desde 0.004 a 1.345 mostrando el desarrollo natural de la cobertura vegetal, las tendencias de desarrollo entre los ambos índices muestran similitud.
3. La superficie afectada según el índice de relación de quemado normalizado (dNBR) muestra una severidad de incendio de gravedad alta en 361 903  $m^2$  (24.51%), los datos multiespectrales muestran el área quemada más precisas por el empleo de imágenes Sentinel 2.
4. En cuanto a las características geográficas el principal factor que intervienen en el desarrollo de la cobertura vegetal es el deslizamiento de suelo que se observó en campo, las características meteorológicas (humedad relativa) se pudo analizar una mayor relación con los índices espectrales de vegetación indicando que si intervienen en el desarrollo de la cobertura vegetal.
5. Se logró evaluar las características fisicoquímicas del suelo, donde los valores indican que los suelos vienen recuperando sus propiedades fisicoquímicas después de un año y dos meses, además, si interviene en el desarrollo de la cobertura vegetal cuando no se encuentran en las cantidades adecuadas.
6. Por último, se logró registrar las especies más abundantes en la zona de estudio, siendo esta la *Amaranthus spinosus* seguida del *ichu* debido a que son especies que se adaptan con facilidad.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Implementar un inventario de las especies de flora de los lugares afectados por incendio en temporada seca y de lluvias que sea de manera quincenal o mensual y en el área total afectada para poder hacer un estudio de regeneración evaluando las especies que se regeneran con mayor rapidez y tener un mapeo de clasificación de suelo actualizado.

Realizar monitoreo de suelos después del incendio y de manera trimestral para evaluar los parámetros afectados, e identificar la mejora, de esta manera determinar si debe intervenir la zona para mejorar la vegetación del lugar o emplear una reforestación del lugar afectado, para obtener mayor probabilidad en el desarrollo y crecimiento de la vegetación.

Realizar estudios previos en la zona afectada por un incendio, para determinar si la zona es de fácil acceso, el cual no representa ninguna limitación para el desarrollo del proyecto de investigación.

Se recomienda investigar sobre los sensores remotos Modis y Aviris para el desarrollo de medidas de campo sobre la severidad, de igual manera con el sensor Landsat Thematic Mapper ya que son utilizados para el desarrollo de estos temas de investigación.

## REFERENCIAS

- ALENCAR DA SILVA ALVES, Keyla Manuela, PARODI D'AVILA, Maria Carolina, SILVA NÓBREGA, Ranyére y OPAZO ALBARRAN, Dustyn, Variabilidad Espacial Y Temporal De La Cobertura Vegetal De Los Años 1984 a 2011 En La Cuenca Hidrográfica Del Río Moxotó, Pernambuco, Brasil. *Diálogo andino*, 2019. no. 58, pp. 139-150. DOI 10.4067/s0719-26812019000100139.
- ALMERAYA DEL VALLE, Érika Victoria y SANCHEZ QUINTANAR, Estela, Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación del carbono. *Academia Meicana de Ciencia* [en línea], 2015. vol. 66, no. 4, pp. 2-9. Disponible en: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-66-numero-4/559-adaptaciones-fotosinteticas-en-las-plantas-para-mejorar-la-captacion-del-carbono#:~:text=Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación del carbono,-Resumen&text=La>.
- ÁLVAREZ RISCO, Aldo, La Motivación Docente Y Su Repercusión En La Calidad Educativa: Estudio De Caso. *Revista de pedagogia* [en línea], 2018. vol. 39, no. 105, pp. 12. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/322967825.pdf>.
- ARIAS-GÓMEZ, Jesús, VILLASÍS-KEEVER, Miguel Ángel y MIRANDA-NOVALES, María Guadalupe, The research protocol III. Study population. *Revista Alergia Mexico*, 2016. vol. 63, no. 2, pp. 201-206. ISSN 00025151. DOI 10.29262/ram.v63i2.181.
- ARMENTERAS, Dolors, GONZÁLEZ, Tania Marisol, RÍOS, Orlando Vargas, ELIZALDE, María Constanza Meza y OLIVERAS, Imma, Fire in the ecosystems of northern south america: Advances in the ecology of tropical fires in Colombia, Ecuador and Peru. *Caldasia*, 2020. vol. 42, no. 1, pp. 1-16. ISSN 03665232. DOI 10.15446/caldasia.v42n1.77353.
- BÄR, Andreas y MAYR, Stefan, Bark insulation: Ten Central Alpine tree species compared. *Forest Ecology and Management* [en línea], 2020. vol. 474, no. July, pp. 118361. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118361. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118361>.
- BARGALI, Himanshu, CALDERON, Laura Patricia Ponce, SUNDRIYAL, R.C. y

- BHATT, Dinesh, Impact of forest fire frequency on floristic diversity in the forests of Uttarakhand, western Himalaya. *Trees, Forests and People* [en línea], 2022. vol. 9, no. March, pp. 100300. ISSN 26667193. DOI 10.1016/j.tfp.2022.100300. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100300>.
- BOWMAN, David M.J.S., WILLIAMSON, Grant J., GIBSON, Rebecca K., BRADSTOCK, Ross A. y KEENAN, Rodney J., The severity and extent of the Australia 2019–20 Eucalyptus forest fires are not the legacy of forest management. *Nature Ecology and Evolution* [en línea], 2021. vol. 5, no. 7, pp. 1003-1010. ISSN 2397334X. DOI 10.1038/s41559-021-01464-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-021-01464-6>.
- CAMPOS Y COVARRUBIAS, Guillermo y LULE MARTÍ-NEZ, Nallely Emma, La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai* [en línea], 2013. vol. 7, no. 13, pp. 45-60. DOI 10.37646/xihmai.v7i13.202. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3979972>.
- CAPADOR AGUILAR, Yezid Esteban, GONZÁLEZ ANGARITA, Gina Paola y SUAREZ DAZA, Paula Andrea, Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). *Avances Investigación en Ingeniería* [en línea], 2021. vol. 18, no. 1, pp. 1-17. ISSN 1794-4953. DOI 10.18041/1794-4953/avances.1.6931. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/6931>.
- CARRANZA GALLARDO, Jherson y TASILLA MONTALVAN, Flor Esmeralda, Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 – 2017). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* [en línea], 2020. vol. 6, no. 1, pp. 1-11. ISSN 2313-7991. DOI 10.17162/rictd.v6i1.1400. Disponible en: <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1400>.
- CEDE, Ricardo, CABRERA, E., VARGAS, D.M., GALINDO, G., GARCÍA, M.C., ORDOÑEZ, M.F. y ALONSO, Francisco, Fundamentos de la teledetección. *Introducción a la percepción remota y sus aplicaciones Geológicas* [en línea],

2011. no. 4, pp. 181-218. ISSN 0716-078X. Disponible en: [http://www.um.es/geograf/sigmur/%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo\\_para\\_la\\_cuantificación\\_Deforestación\\_Nivel\\_Nacional.pdf](http://www.um.es/geograf/sigmur/%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo_para_la_cuantificación_Deforestación_Nivel_Nacional.pdf).

CENEPRED, CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, Escenario de Riesgo por Incendios Forestales de la Región Cusco. *Incendios Forestales*, 2021. pp. 1-49.

CIANCAGLINI - PROSAP, Nicolás, Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. [en línea], 2017. pp. 10. Disponible en: [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO\\_R001\\_Guía\\_para\\_la\\_determinación\\_de\\_textura\\_de\\_suelos\\_por\\_método\\_organoléptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R001_Guía_para_la_determinación_de_textura_de_suelos_por_método_organoléptico.pdf).

COEN, Centro Operaciones de Emergencia Nacional, Incendio Forestal En El Distrito de Limatambo - Cusco. *INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL - INDECI* [en línea], 2019. pp. 1-9. Disponible en: <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/10/REPORTE-PRELIMINAR-Nº-1493-11OCT2020-INCENDIO-FORESTAL-EN-EL-DISTRITO-DE-PICHIRHUA-APURÍMAC.pdf>.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL, 2010. Incendios forestales - Guía práctica para comunicadores. . Tercera Ed. Efecto Marketing.

CREMONA, María Victoria y ENRÍQUEZ, Andrea Soledad, Algunas Propiedades Del Suelo Que Condicionan Su Comportamiento. *Presencia*, 2020. vol. 73, pp. 5-8.

DOCAMPO, Roberto, La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. *INIA Las Brujas – Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”* [en línea], 2014. vol. 67, pp. 81-89. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, Víctor, MARCOS, Elena, REYES, Otilia y CALVO, Leonor, Do fire regime attributes affect soil biochemical properties in the sameway under different environmental conditions? *Forests*, 2020. vol. 11, no. 3, pp. 1-15. ISSN 19994907. DOI 10.3390/f11030274.

- GEOVANNY MOYAO-CALLEJA, Ing, ROCÍO RAMOS-BERNAL, Dra N., VÁZQUEZ-JIMÉNEZ, René, GUINTO-HERRERA, Esteban R. y EN ABEL NÁJERA-RAMOS, M.I., Cálculo de Índices de Vegetación NDVI y SAVI a Partir de Imágenes Multiespectrales Obtenidas con un Dron. , 2021. vol. 13, no. 4, pp. 2021. ISSN 1946-5351.
- GIL MORA, Juan Eduardo, INCENDIOS FORESTALES: causas e impactos. *El Antoniano* [en línea], 2020. vol. 135, no. 1, pp. 45. Disponible en: <https://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/anto/article/view/866>.
- GRACIANO-ÁVILA, G., G., ALANÍS-RODRÍGUEZ, E., AGUIRRE-CALDERÓN, Ó.A., RUBIO-CAMACHO, E.A. y GONZÁLEZ-TAGLE, M.A., Estructura Y Diversidad Post-Incendio En Un Área Del Matorral Espinoso Tamaulipeco Structure and Diversity After Fire in an Area of Tamaulipan Thornscrub. *Polibotánica*, 2018. vol. 0, no. 45, pp. 89-100. DOI 10.18387/polibotanica.45.7.
- GRACIELA, Ana, RODRÍGUEZ, Flores, GERMÁN, José, GARNICA, Flores, RAYMUNDO, Diego, EGUIARTE, González, RODRÍGUEZ, Agustín Gallegos, VILLASEÑOR, Patricia Zarazúa, MUNGUÍA, Salvador Mena, EDITH, Mónica, ZAVALA, Lomelí y GUZMÁN, Ruíz, niveles de perturbación por incendios forestales Pine and oak natural regeneration under different levels of forest fire disturbance Fires are disturbance factors to which forest ecosystems are exposed year after year , , 2021. vol. 12, no. 65.
- GREENPEACE, Incendios forestales ¿qué perdemos ? *Bosques* [en línea], 2010. pp. 1-4. Disponible en: [www.greenpeace.com](http://www.greenpeace.com).
- HERNÁNDEZ, Diego, ESPINOSA, Jhon, PEÑALOZA, Mariana, RODRIGUEZ, Johel, CHACÓN, José, TOLOZA, Cristian, ARENAS, Marly, CARRILLO, Sandra y BERMÚDEZ, Valmore, Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones On the proper use of the Pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica* [en línea], 2018. vol. 37, no. 5, pp. 587-595. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0003->.
- HERNÁNDEZ, Hector Andres y PASCUAL BARRERA, Alina Eugenia, Validación de un instrumento de investigación para el diseño de una metodología de

- autoevaluación del sistema de gestión ambiental. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2018. vol. 9, no. 1, pp. 157-164. ISSN 2145-6097. DOI 10.22490/21456453.2186.
- HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto, FÉRNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar, *Metodología de la investigación*. 6ta. México: s.n. 2014. ISBN 9788578110796.
- HIERRO, R. Serrada, Regeneración Natural: Situaciones, conceptos, factores y evaluación. *ResearchGate*, 2014. vol. 15, no. January 2003, pp. 11-15.
- HU, Mengjun, LIU, Yanchun, SUN, Zhaolin, ZHANG, Kesheng, LIU, Yinzhan, MIAO, Renhui y WAN, Shiqiang, Fire rather than nitrogen addition affects understory plant communities in the short term in a coniferous-broadleaf mixed forest. *International Journal of Business Innovation and Research*, 2018. vol. 8, no. 16, pp. 8135-8148. ISSN 20457758. DOI 10.1002/ece3.4263.
- HUAMAN CARDENAS, Lyz Deyssy, *Efecto de la quema en las propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola en el distrito de Sincos, Jauja, 2018* [en línea]. S.l.: Universidad Continental. 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11421>.
- HUAMANTUPA, Isau y CUBA, Z. Magaly, Bosque Seco Inter-Andino, Departamentos Cusco-Apurímac, PERU Plantas de LIMATAMBO, CUNYAC y CURAHUASI. [en línea], 2013. Disponible en: [https://fieldguides.fieldmuseum.org/sites/default/files/rapid-color-guides-pdfs/469\\_2.pdf](https://fieldguides.fieldmuseum.org/sites/default/files/rapid-color-guides-pdfs/469_2.pdf).
- IGN, 3D Analyst y ArcGlobe. Teledetección. *Instituto Geográfico Nacional* [en línea], 2018. pp. 2. Disponible en: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>.
- KEELEY, JE, 2009. Relación de quemado normalizada (NBR). [en línea]. Disponible en: <https://un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio>.
- KONG, Jian jian, YANG, Jian y CAI, Wenhua, Topography controls post-fire changes in soil properties in a Chinese boreal forest. *Science of the Total*

*Environment* [en línea], 2019. vol. 651, pp. 2662-2670. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.10.164. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.164>.

LONGATO, Davide, GAGLIO, Mattias, BOSCHETTI, M. y GISSI, E., Bioenergy and ecosystem services trade-offs and synergies in marginal agricultural lands: A remote-sensing-based assessment method. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2019. vol. 237, pp. 117672. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.117672. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117672>.

LÓPEZ AGUILAR, Raúl, MURILLO AMADOR, Bernardo, BENSON ROSAS, Mario, LÓPEZ ARCE, Eduardo y VALLE MEZA, Gabriela, 2002. *Manual De Análisis Químicos De Suelos*. 2002. Mexi: s.n. ISBN 970-18-8541-4.

LOPEZ, Maria J., MARCEY, Terry, LUCASH, Melissa S., HIBBS, David, SHATFORD, Jeffrey P.A. y THOMPSON, Jonathan R., Post-fire management affects species composition but not Douglas-fir regeneration in the Klamath Mountains. *Forest Ecology and Management*, 2019. vol. 432, no. May 2018, pp. 1030-1040. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2018.10.030.

LUCAS-BORJA, M.E., PLAZA-ÁLVAREZ, P.A., ORTEGA, R., MIRALLES, I., GONZÁLEZ-ROMERO, J., SAGRA, J., MOYA, D., ZEMA, D.A. y DE LAS HERAS, J., Short-term changes in soil functionality after wildfire and straw mulching in a *Pinus halepensis* M. forest. *Forest Ecology and Management* [en línea], 2020. vol. 457, no. November 2019, pp. 117700. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2019.117700. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117700>.

MARCOS, Elena, FERNÁNDEZ-GARCÍA, Víctor, FERNÁNDEZ-MANSO, Alfonso, QUINTANO, Carmen, VALBUENA, Luz, TÁRREGA, Reyes, LUIS-CALABUIG, Estanislao y CALVO, Leonor, Evaluation of Composite Burn Index and Land Surface Temperature for assessing soil burn severity in mediterranean fire-prone pine ecosystems. *Forests*, 2018. vol. 9, no. 8, pp. 1-16. ISSN 19994907. DOI 10.3390/f9080494.

MARTINEZ, Jose Luis, LUCAS-BORJA, Manuel Esteban, PLAZA-ALVAREZ, Pedro

Antonio, DENISI, Pietro, MORENO, Miguel Angel, HERNÁNDEZ, David, GONZÁLEZ-ROMERO, Javier y ZEMA, Demetrio Antonio, Comparison of satellite and drone-based images at two spatial scales to evaluate vegetation regeneration after post-fire treatments in a mediterranean forest. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2021. vol. 11, no. 12. ISSN 20763417. DOI 10.3390/app11125423.

MAZA CHAMBA, Christian Vicente, *Universidad técnica particular de Loja* [en línea]. S.l.: Universidad Técnica Particular de Loja. 2009. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/2218>.

MICHALIJOS, María Paula y UBOLDI, Julio, Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*, 2013. vol. 234, no. 56, pp. 223-234. ISSN 03798682. DOI 10.4067/s0718-34022013000300012.

MLIGO, C., Post fire regeneration of indigenous plant species in the Pugu Forest Reserve, Tanzania. *ELSERVIER* [en línea], 2019. vol. 18, no. e00611, pp. 10. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00611>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989418304566?via%3Dihub>.

MOREA RODRIGUEZ, Maria Luisa y HUERTA RODRIGUEZ, Juan Carlos, SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *Sistemas de información geográfica*, 2018. pp. 1-47.

NAVAZO ARENAS, Guadalupe, NIETO MASOT, Ana y MORENO MARCOS, Gerardo, ANÁLISIS DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN. ESTUDIO DE CASO EN SIERRA DE GATA (2015). [en línea], 2016. no. November, pp. 246-268. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5776243>.

NOLÈ, Angelo, RITA, Angelo, SPATOLA, Maria Floriana y BORGHETTI, Marco, Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of the Total Environment*, 2022. vol. 823. ISSN 18791026. DOI

10.1016/j.scitotenv.2022.153807.

NOVKOVIC, Ivan, Goran B. MARKOVIC, Djordje LUKIC, Slavoljub DRAGICEVIC, Marko MILOSEVIC, Snezana DJURDJIC, Ivan SAMARDZIC, Tijana LEZAIC a Marija TADIC. GIS-Based Forest Fire Susceptibility Zonation with IoT Sensor Network Support, Case Study-Nature Park Golija, Serbia. *Sensors* (Basel, Switzerland) [online]. 2021, 21(19), 6520. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21196520

ONU, Organización de la Naciones Unidas-, 2022. Normalized Burn Ratio (NBR). *Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal* [en línea]. Disponible en: <https://un-spider.org/es/node/10959>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Agricultura de Conservación. [en línea], 2022. pp. 3. Disponible en: <https://www.fao.org/conservation-agriculture/en/Organización>.

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos, Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Scielo* [en línea], 2017. vol. 35, no. 1, pp. 227-232. DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022017000100037](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037).

PLANA BACH, Eduard, FONT BERNET, Marc y SERRA DAVO, Marta, *Los incendios forestales: guía para comunicadores y periodistas* [en línea]. Ediciones. Cataluña: s.n. 2016. ISBN 9788461766482. Disponible en: [https://efirecom.ctfc.cat/docs/efirecomperiodistes\\_es.pdf](https://efirecom.ctfc.cat/docs/efirecomperiodistes_es.pdf).

REYNOSA CORREA, Norma Elena, Índices espectrales de vegetación para la detección de áreas quemadas Spectral vegetation indices for detection of burned areas. *La Calera* [en línea], 2016. vol. 16, no. 27, pp. 111-114. ISSN 1998-8850. Disponible en: [www.una.edu.ni/diep/calera](http://www.una.edu.ni/diep/calera).

ROBLES, Danny, 2015. "Asegurando el Agua y los Medios de Vida en la Montaña". *Manual de meteorología y de gestión de la información climática* [en línea]. Disponible en: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00N1N1.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00N1N1.pdf).

SINGLETON, Megan P., THODE, Andrea E., SÁNCHEZ MEADOR, Andrew J. y

INIGUEZ, Jose M., Moisture and vegetation cover limit ponderosa pine regeneration in high-severity burn patches in the southwestern US. *Fire Ecology*, 2021. vol. 17, no. 1. ISSN 19339747. DOI 10.1186/s42408-021-00095-3.

SMIRAGLIA, Daniela, FILIPPONI, Federico, MANDRONE, Stefania, TORNATO, Antonella y TARAMELLI, Andrea, Agreement index for burned area mapping: Integration of multiple spectral indices using Sentinel-2 satellite images. *Remote Sensing*, 2020. vol. 12, no. 11. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs12111862.

SU, Zhangwen, TIGABU, Muluaem, CAO, Qianqian, WANG, Guangyu, HU, Haiqing y GUO, Futao, Comparative analysis of spatial variation in forest fire drivers between boreal and subtropical ecosystems in China. *Forest Ecology and Management* [en línea], 2019. vol. 454, no. September, pp. 117669. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2019.117669. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117669>.

TARIQ, Aqil, SHU, Hong, GAGNON, Alexandre S., LI, Qingting, MUMTAZ, Faisal, HUSA, Artan, SIDDIQUE, Muhammad Amir y MUNIR, Iqra, Assessing burned areas in wildfires and prescribed fires with spectral indices and sar images in the margalla hills of Pakistan. *Forests*, 2021. vol. 12, no. 10. ISSN 19994907. DOI 10.3390/f12101371.

XINHUA, 2019. Perú pierde más de 78.000 hectáreas de bosques por incendios en dos años. *La Nación* [en línea]. Disponible en: <https://lanacion.com.ec/peru-pierde-mas-de-78-000-hectareas-de-bosques-por-incendios-en-dos-anos/>.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de Operacionalización

Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022							
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN / UNIDADES		
<b>Impacto de la cobertura vegetal</b>	Según el Boletín Oficial Del Estado de Galicia, es la apreciación del restablecimiento de forma natural o antrópica de la cobertura vegetal y la restauración del paisaje (Ley N° 7, 2012).	El impacto de la cobertura vegetal se obtendrá analizando la superficie afectada considerando las características geográficas y meteorológicas, las características fisicoquímicas del suelo, el tipo de vegetación, las especies forestales y la actividad fotosintética de la zona afectada por el incendio.	Superficie afectada	Area del incendio	Ha		
				Nivel de Severidad (dnBR)	Rebote mejorado alto	-0.5 a -0.251	
					Rebote mejorado bajo	-0.250 a -0.101	
					Sin quemar	-0.1 a 0.099	
					Gravedad baja	0.1 a 0.269	
					Gravedad moderada-baja	0.27 a 0.439	
					Gravedad media-alta	0.44 a 0.659	
			Gravedad alta	0.66 a 1.3			
			Características geográficas y meteorológicas del área afectada	Altitud	m.s.n.m.		
				Temperatura	°C		
				Precipitación	mm/día		
				Humedad	%		
			Características fisicoquímicas del suelo	pH	-		
				Materia orgánica	%		
				Textura	Arena – Limo - Arcilla		
				Conductividad eléctrica	mhos/cm		
				Fosforo (P)	Ppm		
				Nitrógeno (N)	Ppm		
				Potasio (K)	Ppm		
			Registro de especies	% de carbono	%		
				Cantidad de especies identificadas	Ordinal		
			Tipo de especie identificada				
			Actividad fotosintética	Indice de vegetación de diferencia normalizada NDVI	Nula	< 0	
					Muy baja	0 a 0.1	
Baja	0.1 a 0.3						
Media	0.3 a 0.5						
Media -alta	0.5 a 0.6						
Alta	0.6 a 0.8						
Muy alta	> 0.8						
Indice de vegetación ajustada el suelo SAVI	Agua	< 0					
	Suelo expuesto	0.001 a 0.226					
	Vegetación poco densa	0.227 a 0.341					
	Vegetación medio densa	0.342 a 0.405					
Vegetación muy densa	> 0.406						

## Anexo 2: Matriz de Consistencia

<b>Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022</b>						
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENCIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<p><b>Problema General:</b> ¿Cuál es el porcentaje del impacto en la cobertura vegetal tras el incendio forestal aplicando los índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar el porcentaje del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Se generó un impacto grave en más 50% de la cobertura vegetal tras el incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.</p>	Impacto de la cobertura vegetal	Superficie afectada	Área de incendio	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Diseño:</b> no experimental transversal descriptivo</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Población:</b> Dos sectores: Parcco y Mamaco</p> <p><b>Muestra:</b> Cerro Huscatin</p> <p><b>Muestreo:</b> no probabilística intencional</p> <p><b>Unidad de</b></p>
<p><b>Problemas específicos:</b> ¿Cómo se da la actividad fotosintética del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> Analizar la actividad fotosintética del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.</p>	<p><b>Hipótesis específica:</b> Se obtendrá valores de 0.2 a 0.6 en índices espectrales de vegetación de la actividad fotosintética en la cobertura vegetal tras incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.</p>			Nivel de severidad	
<p>¿Cuál es el área de la superficie afectada del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco –</p>	<p>Determinar el área de la superficie afectada del impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco –</p>	<p>La superficie afectada fue de media y alta severidad en más del 50% de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito</p>		Características geográficas y meteorológicas del área afectada	<p>Altitud</p> <p>Temperatura</p> <p>Precipitación</p> <p>Pendiente</p>	

2022?	2022.	de Limatambo, Cusco – 2022.		Humedad	<b>análisis:</b> 147(Ha) Hectáreas  <b>Técnica de investigación:</b> Observación  <b>Instrumentos:</b> Fichas de recolección de datos
¿Cómo las características geográficas y meteorológicas intervienen en el impacto de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?	Analizar las características geográficas y meteorológicas que impactan a la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.	Las características geográficas y meteorológicas sí intervienen en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.	Características fisicoquímicas del suelo	PH	
				Materia orgánica	
				Textura	
				Conductividad eléctrica	
				Fosforo (P)	
				Nitrógeno (N)	
				Potasio (K)	
% de Carbono					
¿Cómo las características fisicoquímicas del suelo intervienen en el impacto de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?	Evaluar las características fisicoquímicas del suelo de la cobertura vegetal tras incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.	Las características fisicoquímicas del suelo sí intervienen de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.	Registro de especies	Cantidad de especies	
				Tipos de especies	
¿Qué tipo de especies de flora se identifican en la cobertura vegetal tras el incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022?	Identificar los tipos de especies de flora de la cobertura vegetal tras incendio forestal en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022.	El amaranto silvestre es la especie principal de la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	Actividad fotosintética	Índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI)	
				Índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI)	



<b>SAVI</b>	Agua	m <sup>2</sup>																		
		%																		
	Suelo expuesto	m <sup>2</sup>																		
		%																		
	Vegetación poco densa	m <sup>2</sup>																		
		%																		
	Vegetación medio densa	m <sup>2</sup>																		
		%																		
	Vegetación muy densa	m <sup>2</sup>																		
		%																		

**Responsable del registro**

<b>Nombre:</b>	
<b>Fecha:</b>	
<b>Firma:</b>	

*[Handwritten signature]*  
 Juan Julio Ordoñez Gálvez  
 DNI: 08447308



*[Handwritten signature]*  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450

*[Handwritten signature]*  
 Danny Lizaraburu Aguinaga  
 Ingeniero Químico  
 Reg. CIP N° 95559

*[Handwritten signature]*  
 Rita Jaqueline Cabello Torres  
 CIP 145791

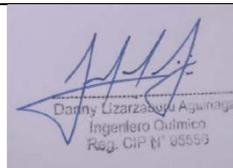
**TABLA N° 2: Ficha de recolección de datos de la superficie afectada**

	<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA SUPERFICIE AFECTADA</b>		<b>INSTRUMENTO N° 02</b>	
<b>Título</b>	Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022			
<b>Autores</b>	Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn			
<b>Asesor</b>	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro			
<b>Nivel de severidad (dNBR)</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Hectáreas (Ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>Fechas analizadas para la severidad</b>	
Alta severidad			Antes del incendio	Después del incendio
Media severidad			/ / 2021	/ / 2021
Baja severidad			<b>Fuente</b>	<b>Fuente</b>
Nula severidad				
Baja regeneración			<b>Misión</b>	<b>Misión</b>
Media regeneración				
Alta regeneración			<b>Identificación</b>	<b>Identificación</b>
Muy alta regeneración				
<b>Área total del incendio</b>				
<b>Responsable del registro</b>				
<b>Nombre:</b>				
<b>Fecha:</b>				
<b>Firma:</b>				

Atentamente,

Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308



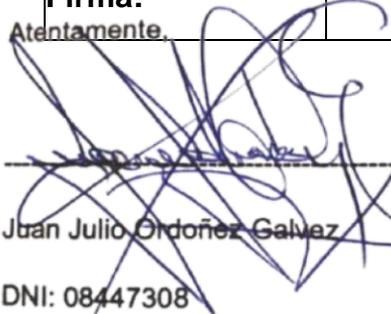
Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
CIP N° 25450

Rita Jaqueline Cabello Torres  
CIP 145791

**TABLA N° 3: Ficha de recolección de datos de las características geográficas y meteorológicas**

	<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS</b>					<b>INSTRUMENTO N° 03</b>	
<b>Título</b>	Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022						
<b>Autores</b>	Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn						
<b>Asesor</b>	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro						
<b>Características geográficas</b>	Altitud m.s.n.m.	<b>Muestra 01</b>	<b>Muestra 02</b>	<b>Muestra 02</b>	<b>Muestras 03</b>	<b>Muestra 04</b>	<b>Muestra 05</b>
<b>Fecha</b>	<b>Características meteorológicas</b>						
	<b>Temperatura °C</b>		<b>Precipitación (mm/día)</b>		<b>Humedad (%)</b>		
<b>Responsable del registro</b>							
<b>Nombre:</b>							
<b>Fecha:</b>							
<b>Firma:</b>							

Atentamente,

  
**Juan Julio Ordoñez Galvez**  
 DNI: 08447308



  
**Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450

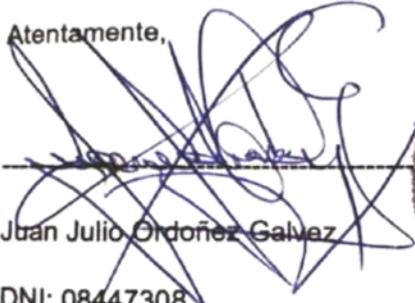


**Rita Jaqueline Cabello Torres**  
 CIP 145791

**TABLA N° 4: Ficha de recolección de datos del análisis de las características fisicoquímicas del suelo**

	<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL SUELO</b>						<b>INSTRUMENTO N° 04</b>	
<b>Título</b>	Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022							
<b>Autores</b>	Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn							
<b>Asesor</b>	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro							
<b>Características fisicoquímicas</b>								
<b>Parcela</b>	<b>pH</b>	<b>Materia orgánica (%)</b>	<b>Textura</b>	<b>Conductividad eléctrica (mhos/cm)</b>	<b>Fosforo (P) (ppm)</b>	<b>Nitrógeno (N) (ppm)</b>	<b>Potasio (K) (ppm)</b>	
Muestra 01								
Muestra 02								
Muestra 03								
Muestra 04								
Muestra 05								
Muestra 06								
	<b>Responsable del registro</b>							
<b>Nombre:</b>								
<b>Fecha:</b>								
<b>Firma:</b>								

Atentamente,




Juan Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308



Dany Lizarabari Aquinaga  
Ingeniero Químico  
Reg. CIP N° 40553



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
CIP N° 25450



Rita Jaqueline Cabello Torres

**TABLA N° 4: Ficha de recolección de datos del análisis de las características fisicoquímicas del suelo**

										<p align="center"><b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LAS ESPECIES FORESTALES</b></p>										<p><b>INSTRUMENTO N° 05</b></p>							
<b>Título</b>												Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022															
<b>Autores</b>												Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn										<b>Responsable del registro</b>					
<b>Asesor</b>												Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro										<b>fecha:</b>		<b>Hora de inicio:</b>		<b>Hora final:</b>	
<b>Brinzales</b>			<b>Latizales</b>			<b>Fustales</b>			<b>Árboles</b>			<b>Sub parcela</b>			<b>N°</b>		<b>Altitud (m.s.n.m)</b>										
N°	Nombre común	Nombre científico	Diámetro a la altura del pecho (DAP) (m)	Diámetro de la copa			Altura total (m)	Coordenadas		Observaciones																	
				Diámetro 1 (m)	Diámetro 2 (m)	Promedio (m)		Latitud	Longitud																		

Atentamente,




Juan Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308



Danny Lizarazu Aguinaga  
Ingeniero Químico  
Reg. CIP N° 85555



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
CIP N° 25450



Rita Jaqueline Cabello Torres  
CIP 145791

## Anexo 4: Validación de instrumentos

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N° 01

1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Cabello Torres, Rita Jaqueline

1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo "UCV" / Lima-Norte

1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Formato de recolección de datos de la actividad fotosintética

1.5. Autores de Instrumento: Nina Pinchi, Americo y Umeres Herrera, Jhoselyn

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIO	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores											X		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.											X		

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90
----



Rita Jaqueline Cabello Torres  
CIP 145791

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

#### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N° 02

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Lizarzaburu Aguinaga, Danny Alonso
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo "UCV" / Lima-Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Formato de recolección de datos de la superficie afectada
- 1.5. Autores de Instrumento: Nina Pinchi, Américo y Umeres Herrera, Jhoselyn

### I. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIO	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores										X			
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.										X			

### II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

#### PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%
-----



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

##### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N° 04

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo "UCV" / Lima-Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Formato de recolección de datos de las características físicoquímicas del suelo.
- 1.5. Autores de Instrumento: Nina Pinchi, Americo y Umeres Herrera, Jhoselyn

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIO	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores										X			
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.										X			

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

x

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85 %
------



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
CIP N° 25450

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

#### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N° 05

1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez

1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo "UCV" / Lima-Norte

1.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y gestión de los recursos naturales

1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Formato de recolección de datos de la actividad fotosintética

1.5. Autores de Instrumento: Nina Pinchi, Americo y Umeres Herrera, Jhoselyn

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIO	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

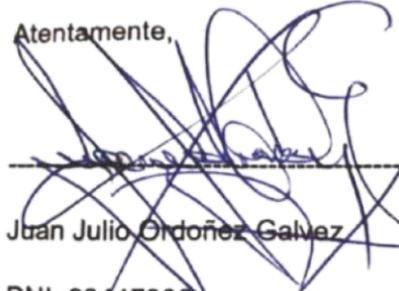
- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

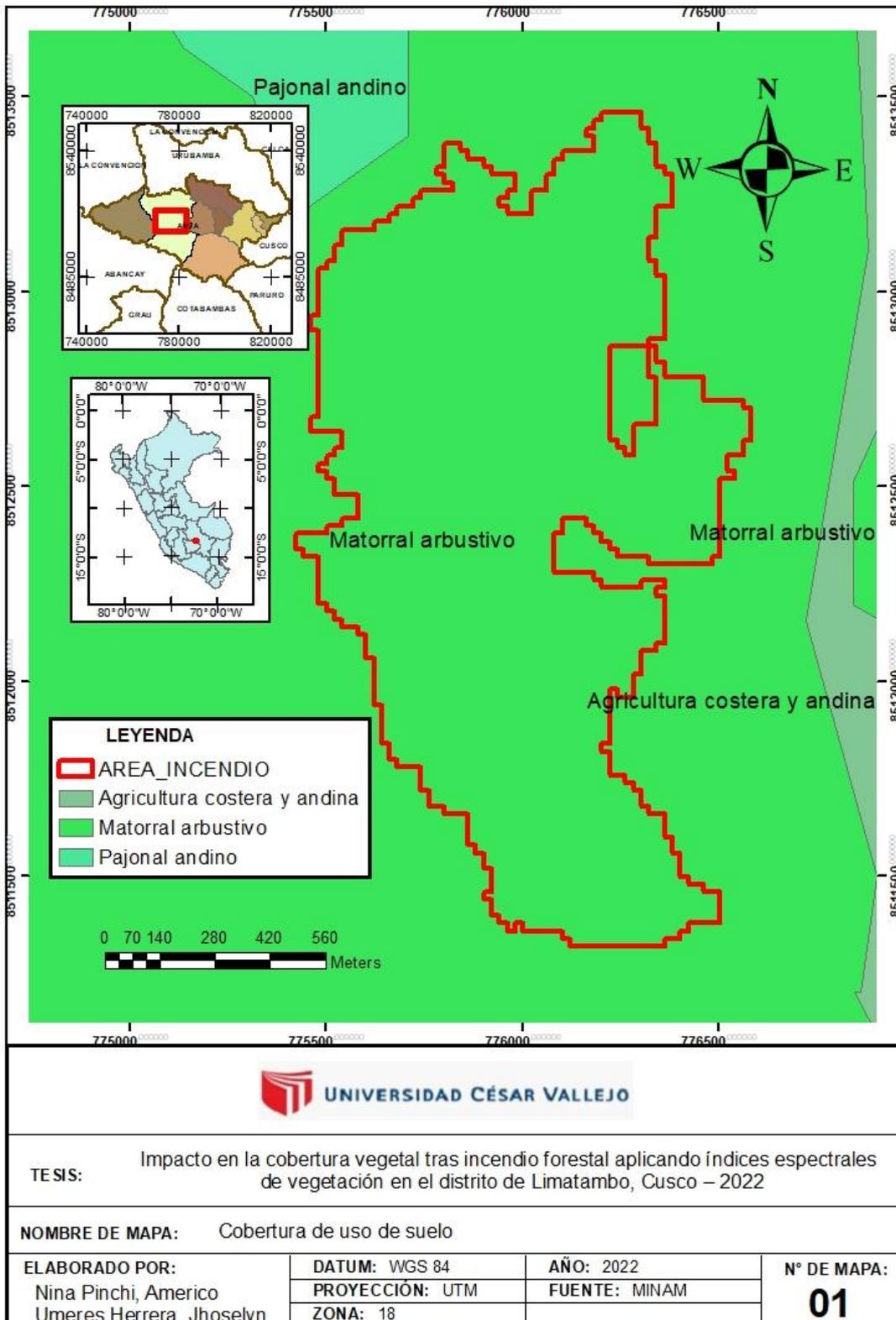
95%
-----

Atentamente,

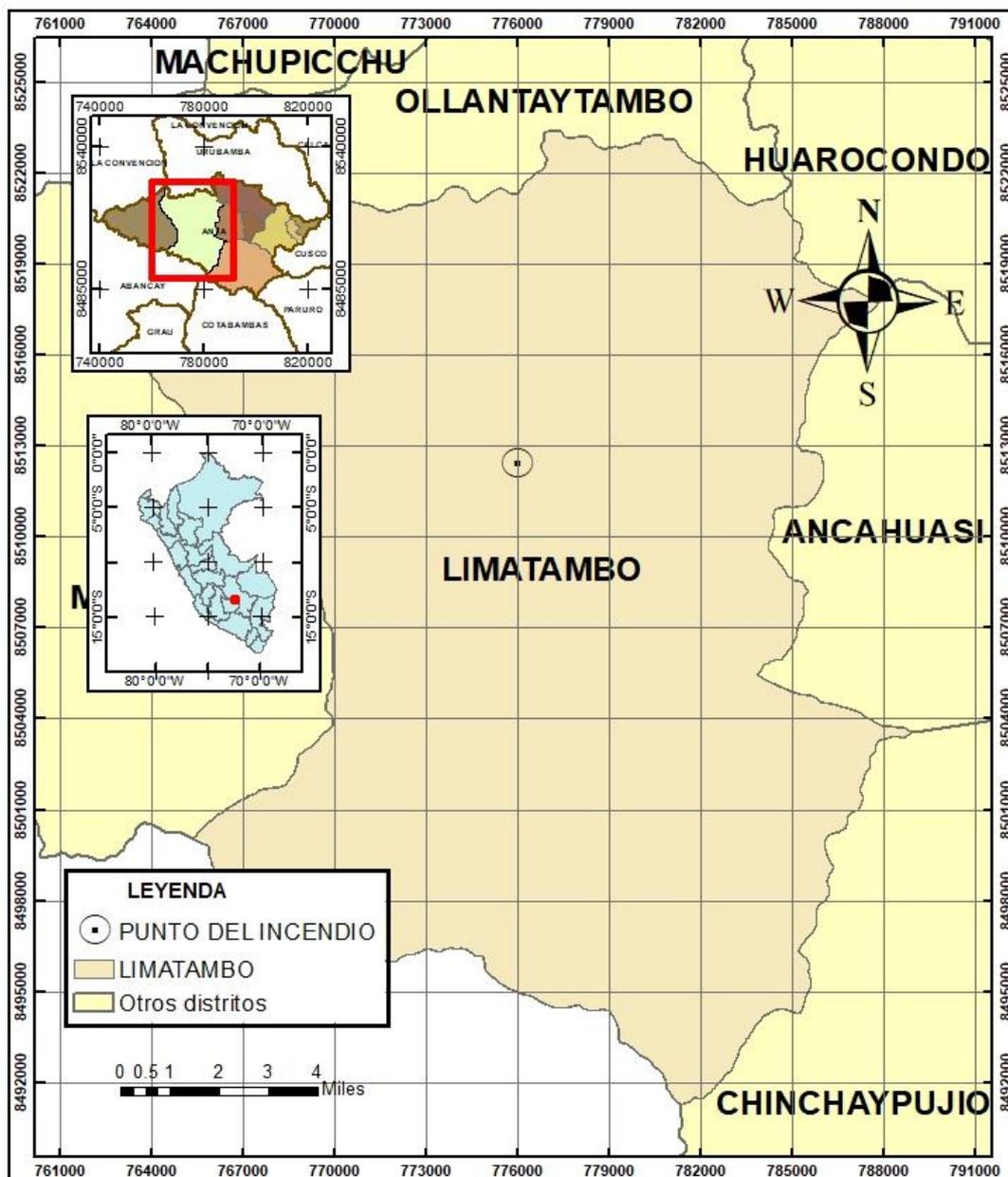
  
Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

## ANEXO 5: Mapa de clasificación de uso de suelo



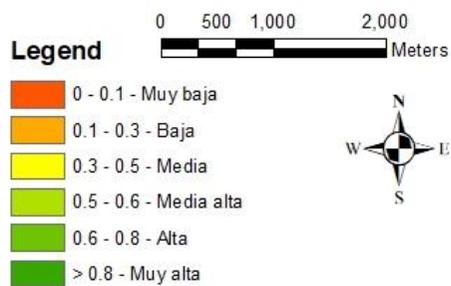
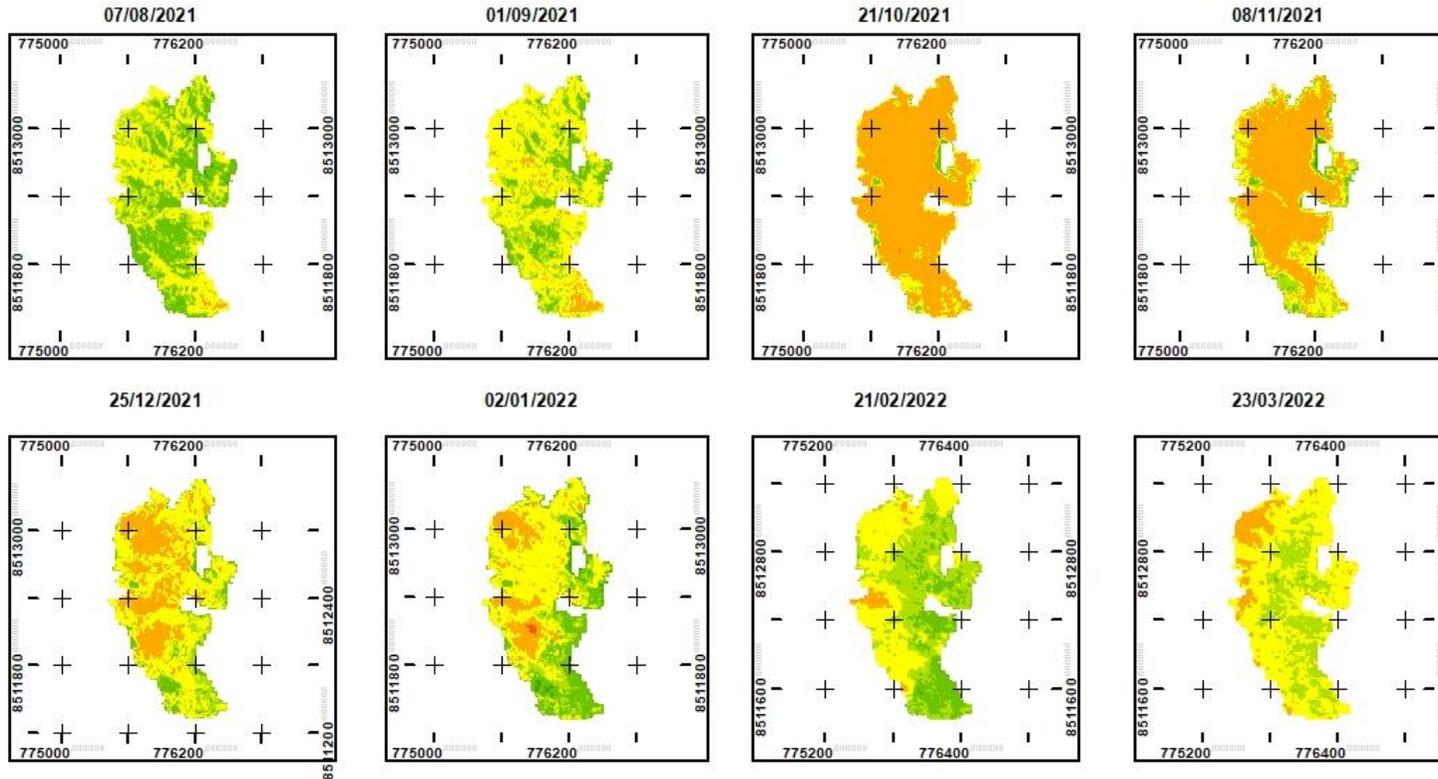
## Anexo 6: Mapa de ubicación de zona de estudio



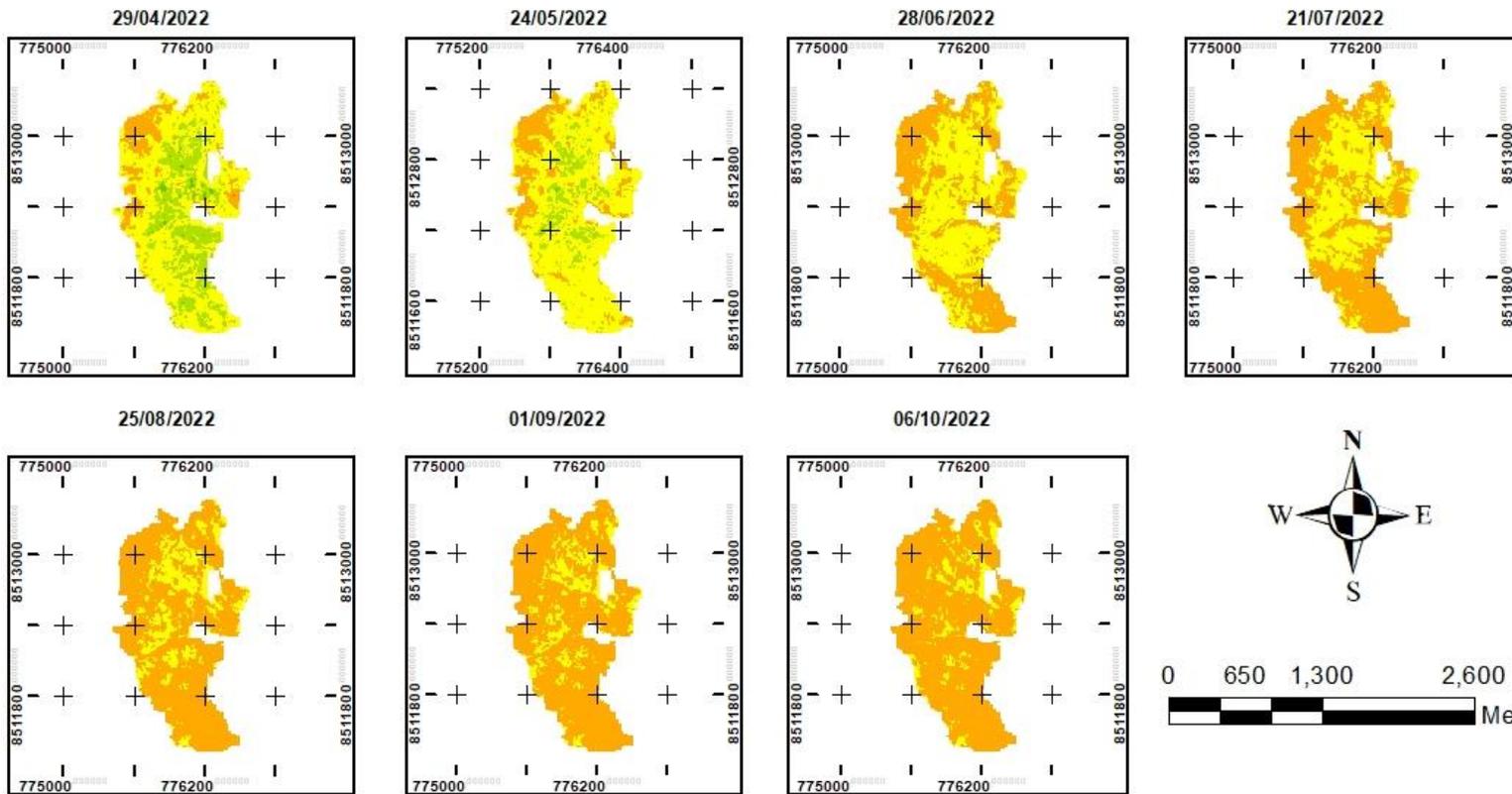
Universidad César Vallejo

<b>TESIS:</b>		Regeneración de la cobertura vegetal tras incendio forestal empleando índices espectrales de vegetación del distrito de Limatambo, Cusco – 2022		
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		Ubicación del incendio		
<b>ELABORADO POR:</b> Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>DATUM:</b> WGS 84	<b>AÑO:</b> 2022	<b>COORDENADAS</b> ESTE: 775963.5 NORTE: 8512451.2	<b>N° DE MAPA:</b> <b>02</b>
	<b>PROYECCIÓN:</b> UTM	<b>FUENTE:</b> Copernicus Open Access Hub		
	<b>ZONA:</b> 18			

## Anexo 7: Identificación fotosintética por NDVI



 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>TE SIS:</b>		Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales d e vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		COBERTURA VEGETAL APLICANDO NDVI	
<b>ELABORADO POR:</b> Nina Pinchi, Américo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>DATUM:</b>	WGS 84	<b>AÑO:</b> 2022
	<b>PROYECCIÓN:</b>	UTM	
	<b>ZONA:</b>	18	<b>FUENTE:</b> Copernicus Open Access Hub
			<b>N° DE MAPA:</b> <b>03</b>

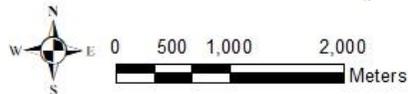
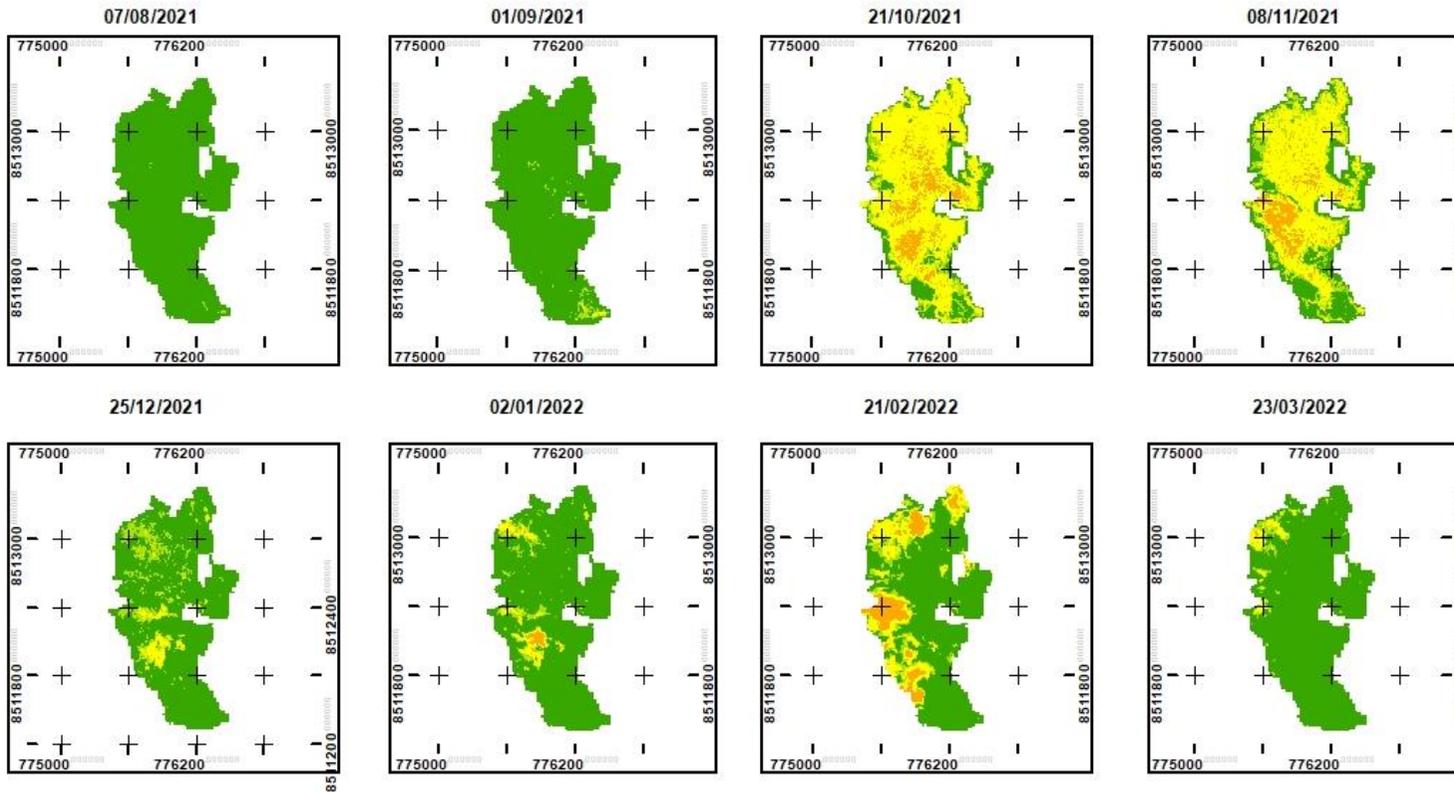


**LEYENDA**

- 0 - 0.1 - Muy baja
- 0.1 - 0.3 - Baja
- 0.3 - 0.5 - Media
- 0.5 - 0.6 - Media -alta
- 0.6 - 0.8 - Alta

<b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>TESIS:</b>		Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		Cobertura vegetal aplicando NDVI	
<b>ELABORADO POR:</b> Nina Pinchi, Américo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>DATUM:</b> WGS 84	<b>AÑO:</b> 2022	<b>N° DE MAPA:</b> <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">04</span>
	<b>PROYECCIÓN:</b> UTM	<b>FUENTE:</b>	
	<b>ZONA:</b> 18	Copernicus Open Access Hub	

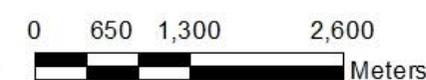
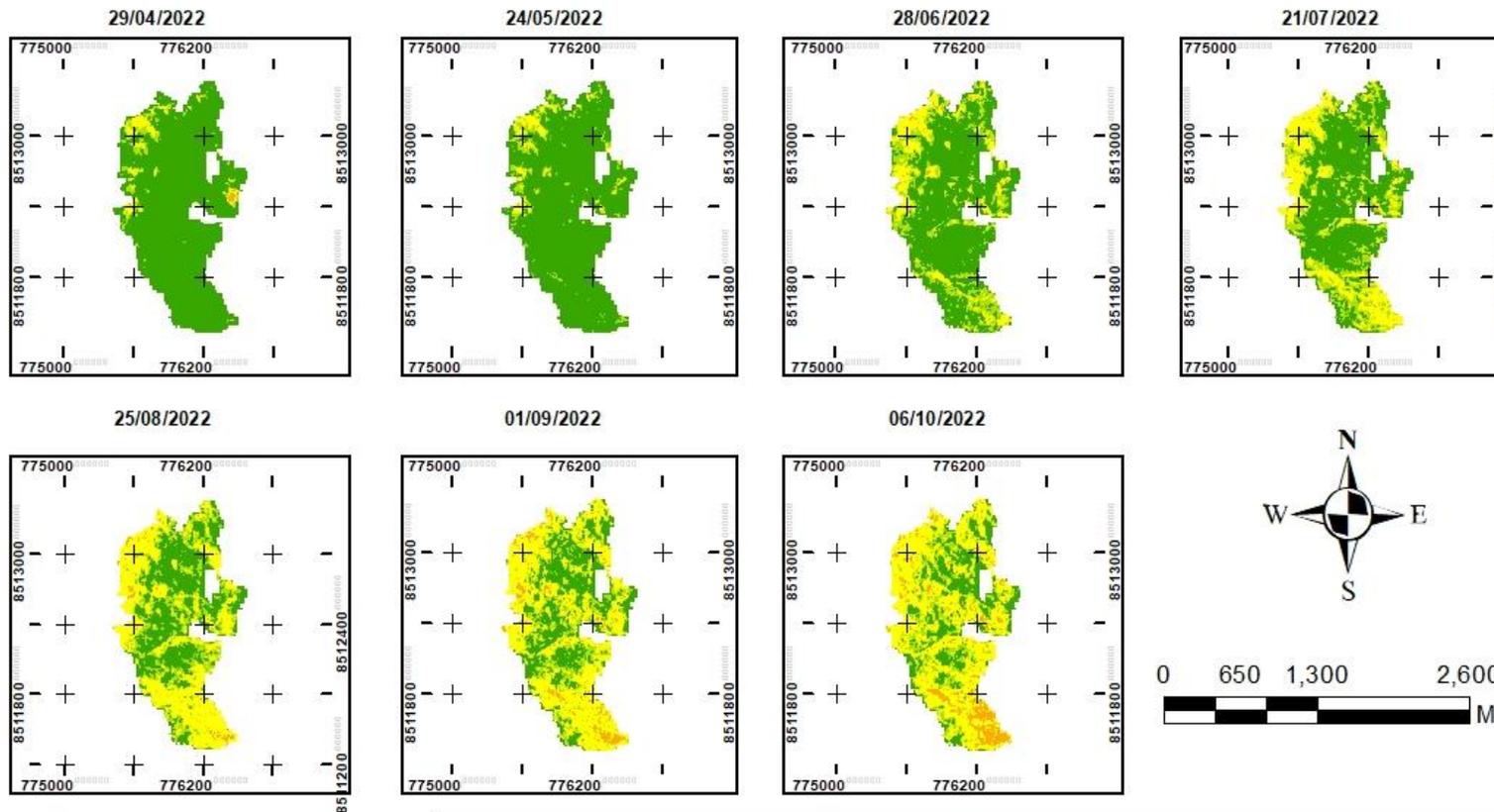
## ANEXO 8: Identificación fotosintética por SAVI



### LEYENDA

- 0.001 a 0.226 - Suelo expuesto
- 0.227 - 0.341 - Vegetación poco densa
- 0.342 - 0.405 - Vegetación medio densa
- >0.406 - Vegetación muy densa

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>TE SIS:</b>		Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		Índice espectral de vegetación SAVI	
<b>ELABORADO POR:</b> Nina Pinchi, Américo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>DATUM:</b> WGS 84 <b>PROYECCIÓN:</b> UTM <b>ZONA:</b> 18	<b>AÑO:</b> 2022 <b>FUENTE:</b> Copernicus Open Access Hub	<b>N° DE MAPA:</b>  <b>05</b>

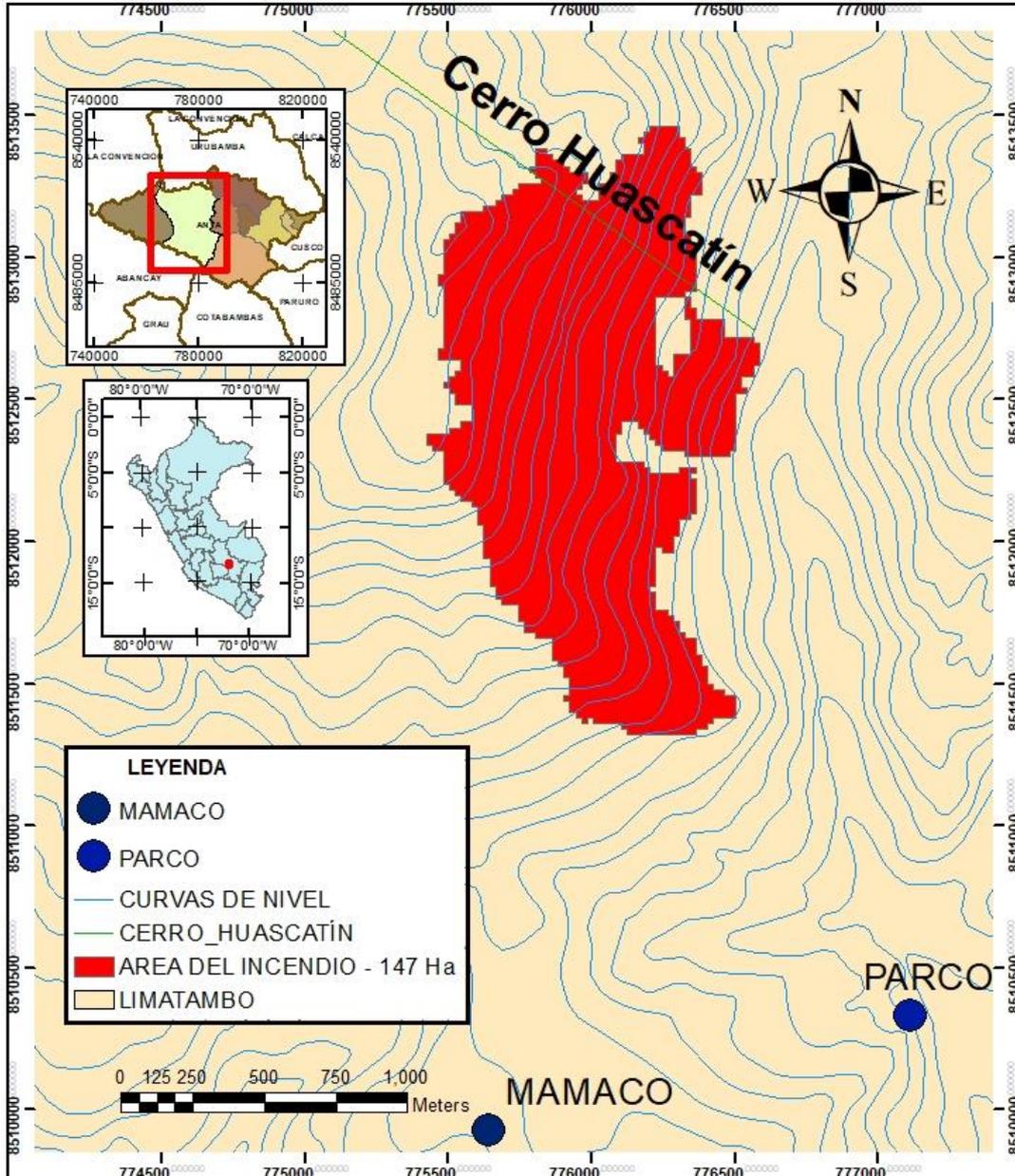


**LEYENDA**

- 0.001 - 0.226 - Suelo expuesto
- 0.227 - 0.341 - Vegetación poco densa
- 0.342 - 0.405 - Vegetación medio densa
- > 0.406 - Vegetación muy densa

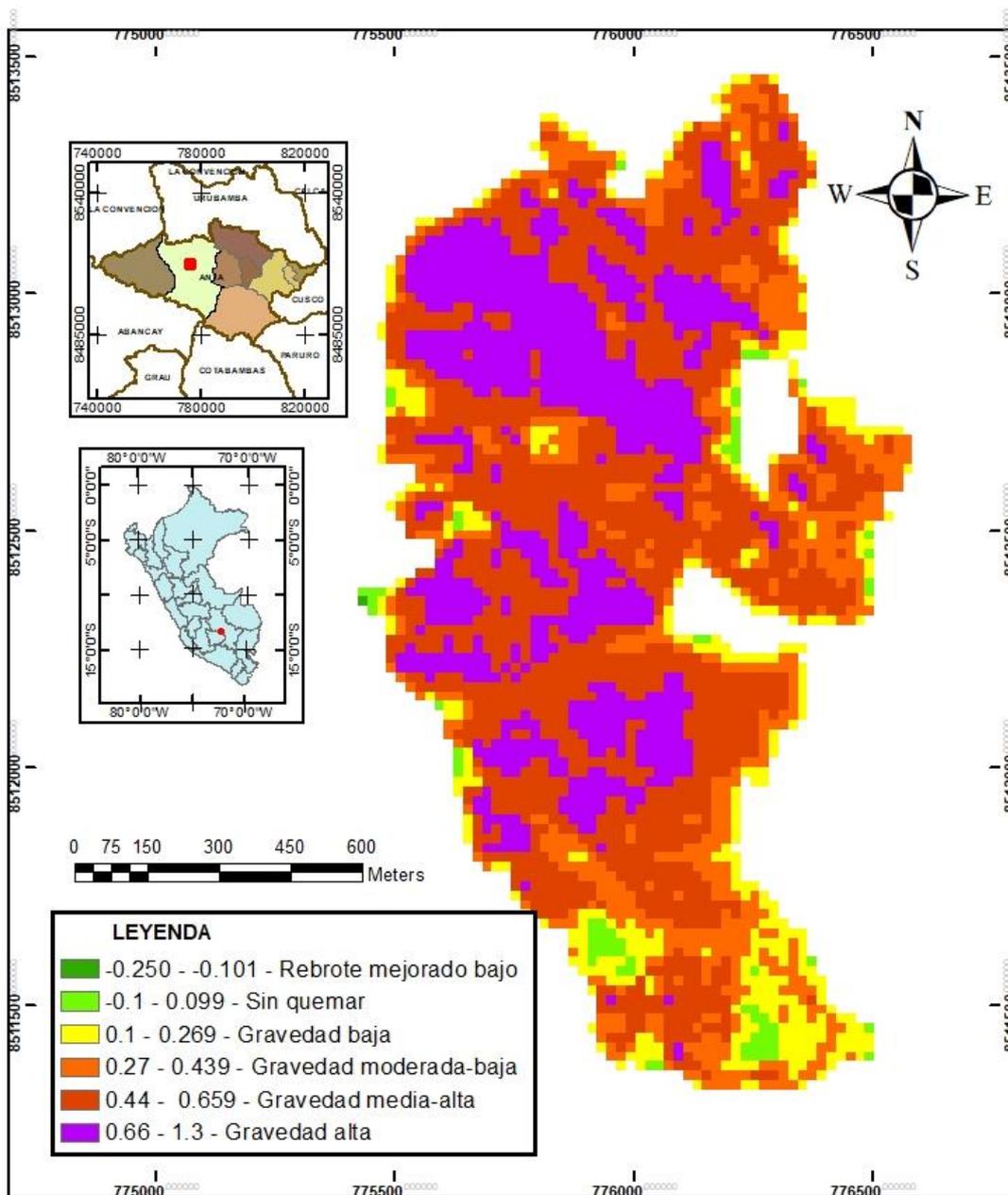
<b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>TESIS:</b>		Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		Índice espectral de vegetación SAVI	
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>DATUM:</b> WGS 84	<b>AÑO:</b> 2022	<b>N° DE MAPA:</b> <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">06</span>
Nina Pinchi, Américo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>PROYECCIÓN:</b> UTM	<b>FUENTE:</b>	
	<b>ZONA:</b> 18	Copernicus Open Access Hub	

## Anexo 9: Extensión del área de incendio



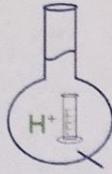
 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>TE SIS:</b>		Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		Extensión del incendio	
<b>ELABORADO POR:</b> Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>DATUM:</b> WGS 84	<b>AÑO:</b> 2022	<b>N° DE MAPA:</b> <b>07</b>
	<b>PROYECCIÓN:</b> UTM	<b>FUENTE:</b> Copernicus Open Access Hub	
	<b>ZONA:</b> 18		

## Anexo 10: Mapa del nivel de severidad dNBR



 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>TESIS:</b>		Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022	
<b>NOMBRE DE MAPA:</b>		Nivel de Severidad del Incendio (dNBR)	
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>DATUM:</b> WGS 84	<b>AÑO:</b> 2022	<b>N° DE MAPA:</b> <b>08</b>
Nina Pinchi, Americo Umeres Herrera, Jhoselyn	<b>PROYECCIÓN:</b> UTM	<b>FUENTE:</b>	
	<b>ZONA:</b> 18	Copernicus Open Access Hub	

## Anexo 11: Análisis fisicoquímicos



# MC QUIMICALAB

De: Ing: Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

### INFORME N° LQ 0623-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA : - Americo Nina Pinchi.  
- Jhoselyn Umeres Herrera.

PROYECTO : "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo"

MUESTRA : M1: ZONA: 18L (E:8513232/N: 776402/Altitud: 3241m.s.n.m.)

DISTRITO : Limatambo

PROVINCIA : Anta

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE INFORME : 09/11/2022

RESULTADOS :

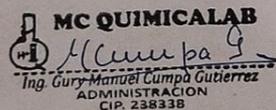
DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>1</sub>
Humedad	%	1.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.08
Nitrógeno de Nitrato	%	0.04
Nitrato NO <sub>3</sub>	%	0.17
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	3.3
Potasio intercambiable K <sub>2</sub> O	mg/100	13
Materia orgánica	%	1.8
Carbono Orgánico	%	0.80
pH		6.8
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	320
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	14.1
Arcilla	%	2.2
Limo	%	83.7
Clase textural		Limoso

#### MÉTODOS DE ANÁLISIS:

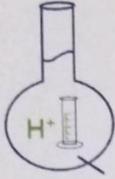
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

#### NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



# MC QUIMICALAB

De: Ing: Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

## INFORME N° LQ 0624-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA :  
- Americo Nina Pinchi.  
- Jhoselyn Umeres Herrera.

PROYECTO : "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo"  
MUESTRA : M<sub>2</sub>: ZONA: 18L (E:776245/N: 85513166/Altitud: 3295m.s.n.m.)  
DISTRITO : Limatambo  
PROVINCIA : Anta  
DEPARTAMENTO : Cusco  
FECHA DE INFORME : 09/11/2022  
RESULTADOS :

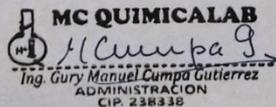
DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>2</sub>
Humedad	%	1.0
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.06
Nitrógeno de Nitrato	%	0.03
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	0.13
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.6
Potasio intercambiable K <sub>2</sub> O	mg/100	14.6
Materia orgánica	%	1.2
Carbono Orgánico	%	0.70
pH		7.2
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	220
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	46.2
Arcilla	%	1.1
Limo	%	52.7
Clase textural		Franco Limoso

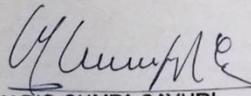
### MÉTODOS DE ANÁLISIS:

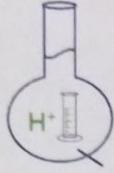
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

### NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



  
MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

## INFORME N° LQ 0625-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA :  
- Americo Nina Pinchi.  
- Jhoselyn Umeres Herrera.

PROYECTO : "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo"

MUESTRA : M<sub>3</sub>: ZONA: 18L (E:776158/N: 8512844/Altitud: 3314m.s.n.m.)  
DISTRITO : Limatambo  
PROVINCIA : Anta  
DEPARTAMENTO : Cusco  
FECHA DE INFORME : 09/11/2022  
RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>3</sub>
Humedad	%	4.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.11
Nitrógeno de Nitrato	%	0.08
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	0.35
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	3.1
Potasio intercambiable K <sub>2</sub> O	mg/100	12.8
Materia orgánica	%	1.9
Carbono Orgánico	%	1.45
pH		7.2
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	420
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	25.9
Arcilla	%	1.7
Limo	%	72.4
Clase textural		Franco Limoso

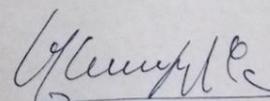
### MÉTODOS DE ANÁLISIS:

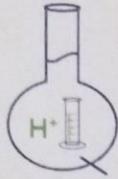
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

### NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

**MC QUIMICALAB**  
*M. Cumpa G.*  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238222

  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



# MC QUIMICALAB

De: Ing: Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

## INFORME N° LQ 0626-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA :

- Americo Nina Pinchi.
- Jhoselyn Umeres Herrera.

PROYECTO : "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo"

MUESTRA : M4: ZONA: 18L (E:776319/N: 8512763/Altitud: 3281m.s.n.m.)

DISTRITO : Limatambo

PROVINCIA : Anta

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE INFORME : 09/11/2022

RESULTADOS :

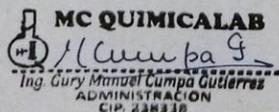
DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>4</sub>
Humedad	%	11.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.10
Nitrógeno de Nitrato	%	0.05
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	0.22
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.8
Potasio intercambiable K <sub>2</sub> O	mg/100	12.4
Materia orgánica	%	1.9
Carbono Orgánico	%	1.40
pH		7.2
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	360
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	24.7
Arcilla	%	2.5
Limo	%	72.8
Clase textural		Franco Limoso

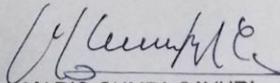
### MÉTODOS DE ANÁLISIS:

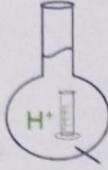
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

### NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



  
MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18186



# MC QUIMICALAB

De: Ing: Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

## INFORME N° LQ 0627-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA :  
- Americo Nina Pinchi.  
- Jhoselyn Umeres Herrera.

PROYECTO : "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo"

MUESTRA : Ms: ZONA: 18L (E:776496/N: 8512752/Altitud: 3321m.s.n.m.)  
DISTRITO : Limatambo  
PROVINCIA : Anta  
DEPARTAMENTO : Cusco  
FECHA DE INFORME : 09/11/2022  
RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>s</sub>
Humedad	%	5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.05
Nitrógeno de Nitrato	%	0.00
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	0.00
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	2.1
Potasio intercambiable K <sub>2</sub> O	mg/100	12.8
Materia orgánica	%	1.0
Carbono Orgánico	%	0.29
pH		6.9
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	420
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	38.1
Arcilla	%	2.9
Limo	%	59
Clase textural		Franco Limoso

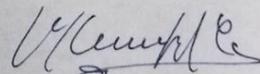
### MÉTODOS DE ANÁLISIS:

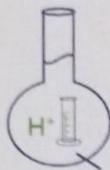
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

### NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



  
MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188



# MC QUIMICALAB

De: Ing: Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

## INFORME N° LQ 0628-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA : - Americo Nina Pinchi.  
- Jhoselyn Umeres Herrera.

PROYECTO : "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo"

MUESTRA : M<sub>6</sub>: ZONA: 18L (E:776434/N: 8512985/Altitud: 3254m s.n.m.)  
DISTRITO : Limatambo  
PROVINCIA : Anta  
DEPARTAMENTO : Cusco  
FECHA DE INFORME : 09/11/2022  
RESULTADOS :

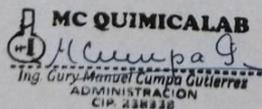
DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>6</sub>
Humedad	%	8.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.07
Nitrógeno de Nitrato	%	0.04
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	0.17
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	2.6
Potasio intercambiable K <sub>2</sub> O	mg/100	12.5
Materia orgánica	%	1.5
Carbono Orgánico	%	0.75
pH		6.9
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	380
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	21.7
Arcilla	%	2.9
Limo	%	75.4
Clase textural		Franco Limoso

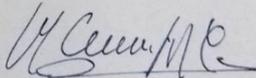
### MÉTODOS DE ANÁLISIS:

- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

### NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



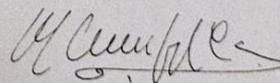
  
MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188

**GUIA PARA LA INTERPRETACIÓN DE ANALISIS DE SUELO**

pH	<5.1	Fuertemente ácido
	5.2-6.0	Moderadamente ácido
	6.1-6.5	Ligeramente ácido
	6.6-7.3	Neutro
	7.4-8.4	Moderadamente alcalino
	>8.4	Fuertemente alcalino
N Total	<0.1	Bajo
	0.1-0.2	Medio
	>0.2	alto
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100	<1	Bajo
	1-2	Medio
	2-4	alto
	>4	Excesivo
K <sub>2</sub> O mg/100	<15	Bajo
	15-25	Medio
	25-80	alto
	<80	Excesivo
C.E. µS/cm	<900	No salino
	1800-1900	Débilmente salino
	1800-3600	Moderadamente salino
	3700-7200	Fuertemente salino
	>7200	Muy fuertemente salino

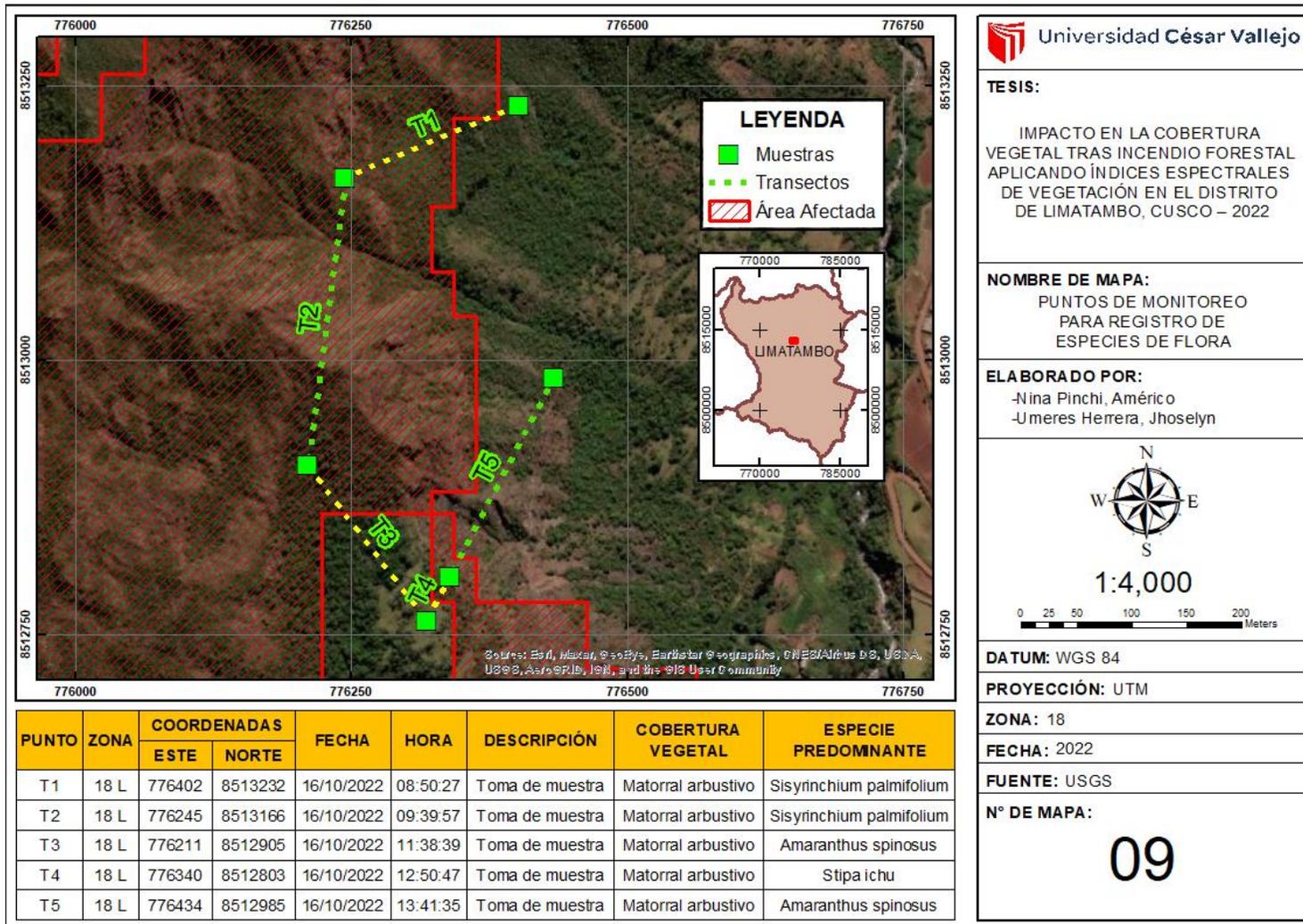
**Referencias:**

- Marx E.S, Hart J, & Stevens R. G. (1999). Soil Test Interpretation Guide. *OREGON STATE UNIVERSITY EXTENSION SERVICE*, 1-7.
- Lizcani, R., Olivera, D., Machado, L., Rolando, E., Moreno, M. F., & Fidel, M. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*. SENA; SENNOVA.



**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188

## Anexo 12: Punto de monitoreo para el registro de especies de flora



### Anexo 13: Porcentaje de especies por cada punto de muestreo

ESPECIE	T-2	T-5	Total por especies	
<i>Aeschynomene scoparia</i>	16	7	23	8%
<i>Amaranto silvestre</i>	20	15	35	11.90%
<i>Sacha paraíso</i>	1	0	1	0.34%
<i>Barbaceniopsis Vargasiana</i>	4	13	17	5.78%
<i>Espolon</i>	1	11	12	4.08%
<i>Chamaecrista glandulosa</i>	3	3	6	2.04%
<i>Pringamosa</i>	6	2	8	2.72%
<i>Deyeuxia rigida</i>	7	1	8	2.72%
<i>Chamiza</i>	5	0	5	1.70%
<i>Eriotheca ruizii</i>	2	0	2	0.68%
<i>Eucalipto</i>	0	30	30	10.20%
<i>Sapotilla</i>	5	2	7	2.38%
<i>Bola de Hilo</i>	2	5	7	2.38%
<i>Ipomoea pauciflora</i>	1	2	3	1.02%
<i>Ratania</i>	4	3	7	2.38%
<i>Romanceta</i>	6	4	10	3.40%
<i>Puru puru</i>	3	5	8	2.72%
<i>Pectis sessiliflora</i>	11	9	20	6.80%
<i>Kuyuyú</i>	4	0	4	1.36%
<i>Quirquiña</i>	5	0	5	1.70%
<i>Puya</i>	0	2	2	0.68%
<i>Sarcostemma</i>	13	4	17	5.78%
<i>Sisyrinchium palmifolium</i>	18	3	21	7.14%
<i>Ichu</i>	17	6	23	7.82%
<i>Tournefortia polystachya</i>	1	2	3	1.02%
<i>Ziziphus mistol</i>	0	10	10	3.40%
<i>Total por transectos</i>	155	139	294	
%	52.72%	47.28%		

**Anexo 14: Lista de especies registradas en campo**

N	ESPECIE	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	Matorral arbustivo	Matorral arbustivo	TOTAL
					T-2	T-5	
1		Aeschynomene scoparia	Desconocido	Fabaceae	15	7	22
2		Amaranthus spinosus	Amaranto silvestre	Amaranthaceae	20	15	35
3		Aralia soratensis	Sacha paraíso	Araliaceae	1	0	1
4		Barbaceniopsis Vargasiana	Desconocido	Velloziaceae	4	13	17
5		Cenchrus echinatus	Espolon	Poaceae	1	11	12
6		Chamaecrista glandulosa	Desconocido	Fabaceae	3	3	6
7		Cnidoscolus urens	Pringamosa	Euphorbiaceae	6	2	8
8		Deyeuxia rigida	Desconocido	Poaceae	7	1	8
9		Dodonaea viscosa	Chamiza	Sapindaceae	5	0	5
10		Eriotheca ruizii	Desconocido	Malvaceae	2	0	2
11		Eucalyptus globulus Labill	Eucalipto	Mitáceas	0	30	30
12		Euphorbia apurimacensis	Sapotilla	Euphorbiaceae	5	2	7

13		Guilleminea densa	Bola de Hilo	Amaranthaceae	2	5	7
14		Ipomoea pauciflora	Desconocido	Convolvulaceae	1	2	3
15		Krameria lappacea	Ratania	Krameriaceae	4	3	7
16		Lantana canescens	Romanceta	Verbenaceae	6	4	10
17		Passiflora Trisecta	Puru puru	Passifloraceae	3	5	8
18		Pectis sessiliflora	Desconocido	Asteraceae	11	9	20
19		Pennisetum clandestinum	Kuyuyú	Poaceae	4	0	4
20		Porophyllum ruderale	Quirquiña	Asteraceae	5	0	5
21		Puya	Puya	Bromeliaceae	0	2	2
22		Sarcostemma	Desconocido	Apocynaceae	13	4	17
23		Sisyrinchium palmifolium	Desconocido	Iridaceae	18	3	21
24		Stipa ichu	Ichu	Poaceae	17	7	24
25		Tournefortia polystachya	Desconocido	Boraginaceae	1	2	3
26		Ziziphus mistol	Desconocido	Rhamnaceae	0	10	10
<b>TOTAL</b>					<b>154</b>	<b>140</b>	<b>294</b>

### Anexo 15: Cuadro de porcentaje del impacto en la cobertura vegetal

Áreas ocupadas por cada clase de los índices espectrales de vegetación																	
Fecha Índice espectral		07 / 08 / 2021	01 / 09 / 2021	21 / 10 / 2021	08 / 11 / 2021	25 / 12 / 2021	02 / 01 / 2022	21 / 02 / 2022	23 / 03 / 2022	29 / 04 / 2022	24 / 05 / 2022	28 / 06 / 2022	21 / 07 / 2022	25 / 08 / 2022	01 / 09 / 2022	06 / 10 / 2022	
		NDVI	Nula	m <sup>2</sup>													
%																	0.005
Muy baja	m <sup>2</sup>				412			5376			543	68	137				1308087
	%				0.03			0.4			0.04	0.005	0.01				88.58
Baja	m <sup>2</sup>		12214	76358	1282913	989546	444564	230444	45624	147942	197694	268299	710892	890367	1165314	1234997	168606
	%		0.83	5.17	86.85	67.01	30.10	15.6	3.1	10.02	13.39	18.17	48.14	60.29	78.91	83.63	11.42
Media	m <sup>2</sup>		567477	879604	143666	287659	749534	681591	567200	945994	874486	1037260	761321	586395	311447	241764	
	%		38.43	59.56	9.73	19.48	50.76	46.2	38.4	64.06	59.22	70.25	51.55	39.71	21.09	16.37	
Media alta	m <sup>2</sup>		395396	324202	27290	141822	174249	225160	113626	377432	390756	168930	4412				
	%		26.77	21.95	1.85	9.60	11.80	15.2	7.7	25.56	26.46	11.44	0.30				
Alta	m <sup>2</sup>		494993	196597	22891	51323	106190	310091	750311	5394	13282	1946					
	%		33.52	13.31	1.55	3.48	7.19	21	50.8	0.37	0.90	0.13					
Muy alta	m <sup>2</sup>		6680			6411	2224	24100									
	%		0.45			0.43	0.15	1.6									
SAVI	Agua	m <sup>2</sup>															
		%															
	Suelo expuesto	m <sup>2</sup>			169608	129797	273	16696	145499	1678	4832	716	6651	4140	16604	63370	115621
		%			11.49	8.79	0.02	1.13	9.85	0.11	0.33	0.05	0.45	0.28	1.12	4.29	7.83
	Vegetación poco densa	m <sup>2</sup>		5542	896742	722464	64467	64926	233016	42071	56394	62410	221794	354307	613159	711888	787414
		%		0.38	60.72	48.92	4.37	4.40	15.78	2.85	3.82	4.23	15.02	23.99	41.52	48.21	53.32
	Vegetación medio densa	m <sup>2</sup>	2680	25852	143684	216528	163670	74909	131133	52545	67980	100776	275204	320956	316780	273954	269075
		%	0.18	1.75	9.73	14.66	11.08	5.07	8.88	3.56	4.60	6.82	18.64	21.73	21.45	18.55	18.22
	Vegetación muy densa	m <sup>2</sup>	1474082	1445367	266727	407972	1248351	1320230	967114	1380467	1347555	1312859	973113	797357	530218	427550	304652
		%	99.82	97.87	18.06	27.63	84.53	89.40	65.49	93.48	91.25	88.90	65.90	53.99	35.90	28.95	20.63

## Anexo 16: Certificados de laboratorio



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 053



Registro N° LC - 053

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PL - FQ100 - 22 - 6

Página 1 de 3

- SOLICITANTE** : GURY MANUEL CUMPA GUTIERREZ (MC QUIMICALAB)
- DIRECCIÓN DEL CLIENTE** : COVIDUC A-4, San Sebastián, Cusco
- DATOS DEL EQUIPO:**
  - INSTRUMENTO** : pHmetro
  - MARCA** : HANNA INSTRUMENTS
  - MODELO** : HI 98103 - pH Tester
  - SERIE** : H02103026
  - IDENTIFICACIÓN** : No indica (\*)
  - INTERVALO DE INDICACIÓN** : 0,0 a 14,0 unidades de pH (\*\*)
  - RESOLUCIÓN** : 0,1 unidades de pH
- LUGAR DE CALIBRACIÓN:** Laboratorio de Físicoquímica de Paz Laboratorios S.R.L.
- FECHA DE CALIBRACIÓN:** 2022-06-07
- ORDEN DE TRABAJO:** CAL-0650-2022-6
- ACLARACIONES DEL CERTIFICADO:**

Este certificado de calibración es trazable a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo al Sistema Internacional de unidades (SI).

Los resultados reportados son válidos solo para el equipo de medición en las condiciones y momento en que se realizó la calibración. El solicitante y/o usuario es responsable de definir el periodo de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva y exactitud de medición.

La difusión del presente certificado debe ser de forma completa. Los extractos o modificaciones requiere que se cuente con la autorización de PAZ LABORATORIOS S.R.L.

Certificado sin la firma digital del jefe de laboratorio carece de validez.

Arequipa, 7 de junio de 2022

Signatario autorizado:



CHECYA BUSTINCIO JESUS  
EDUARDO  
PAZ LABORATORIOS S.R.L.  
JEFE DE LABORATORIO  
l.checya@pazlaboratorios.com  
Fecha: 08/06/2022 09:32  
Firmado con www.tocapu.pe

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

## Anexo 17: Registro fotográfico de visita a campo

### Imagen N°1: Excavación y medición del suelo para el muestreo



b) Excavación de la muestra de suelo



a) Medición de la profundidad de la muestra de suelo

### Imagen N°2: Extracción de la muestra de suelo y rotulado



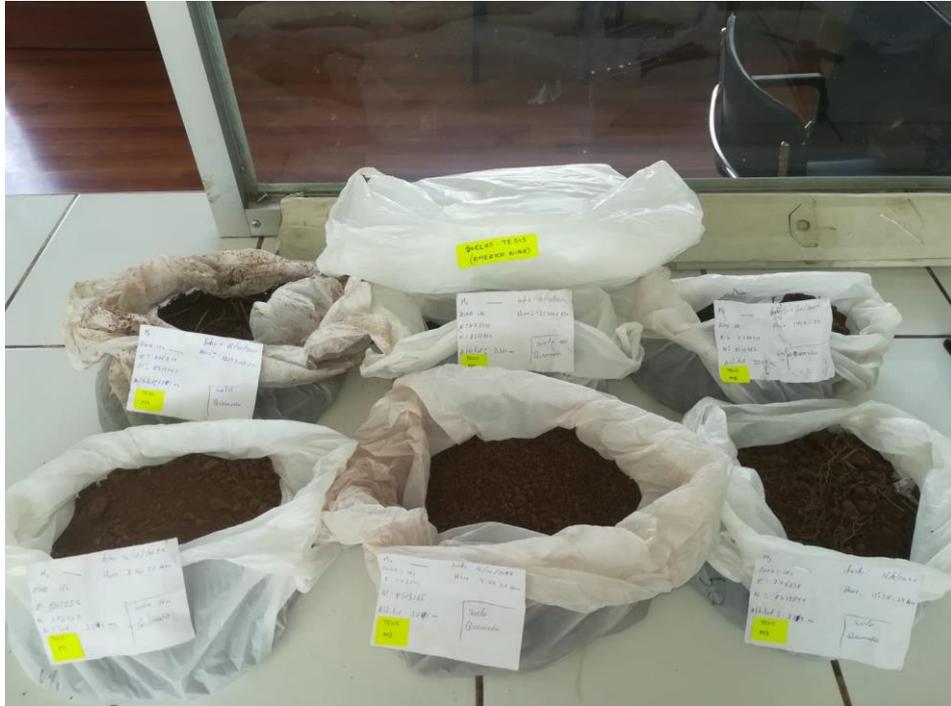
b) Extracción de la muestra de suelo



a) Rotulado de la muestra de suelo

## ANEXO 18: Registro fotográfico del análisis de suelo en el laboratorio

### Imagen N°1: Muestras de suelos expuestos a incendio y no expuestos a incendio



### Imagen N°2: Determinación de la textura

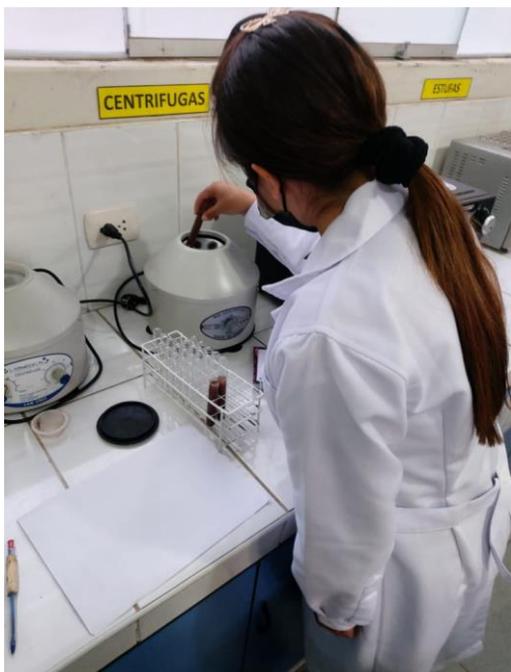


a) Tamizado de la muestra con diámetro de 2 mm para extraer la cantidad de arena



b) Lavado de las muestras para extraer la cantidad de arcilla y limo

### Imagen N°3: Determinación de la conductividad Eléctrica



- a) Mezcla de 20 g de suelo tamizado en 2 mm sin humedad con 40 ml de agua se centrifugó por 15 minutos



- b) Extracción del líquido de la centrifugación se empleó para medir la conductividad eléctrica

### Imagen N°4: Determinación del pH



- a) Toma de datos del pH por muestra

## Imagen N°5: Determinación de fosfatos



a) Muestras centrifugadas



b) Reactivo de solución acida (5 gotas), molibdato de amonio (5 gotas) y ácido ascórbico (1 pisca) se agregan a las muestras centrifugadas



c) Medición de fosfatos en el espectrofotómetro

### Imagen N°6: Determinación de materia orgánica



b) Nuestras de suelo (20 g) para calcinar



a) Calcinador, eliminación de carbón en aproximadamente 6 horas

### Imagen N°7: Determinación de nitrógeno total y nitratos



a) Reactivo ácido bórico 0.1 N a la muestra.



b) Destilación de la muestra por 3 horas aproximadamente.



- a) Reactivos para determinar nitratos: cobre catalizador, oxido de potasio, aluminio catalizador y sulfato de cobre

## Anexo N°19: Registro fotográfico de especies regeneradas

### Imagen N°1: Ubicación de puntos de muestreo por transectos



a) Medición de los transectos cada 10 metros para el conteo de especies.



b) Colocación de estacas cada 10 metros



c) Medición de puntos de muestreo



d) Toma de datos de las muestro de suelo

### Imagen N°2: Registro de especies



a) Especies para conteo



b) Toma de datos de la especie nombre y familia a la que pertenece



c) Reconocimiento de especies en regeneración post incendio



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, BENITES ALFARO ELMER GONZALES, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Impacto en la cobertura vegetal tras incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el distrito de Limatambo, Cusco – 2022", cuyos autores son NINA PINCHI AMERICO, UMERES HERRERA JHOSELYN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 08 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
BENITES ALFARO ELMER GONZALES <b>DNI:</b> 07867259 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1504-2089	Firmado electrónicamente por: ELBENITESALF el 08-12-2022 11:59:33

Código documento Trilce: TRI - 0479538