



Universidad César Vallejo

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

**Análisis de la severidad de incendios forestales mediante
imágenes satelitales en el distrito de San Jerónimo-Cusco,
periodo 2016-2021**

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

AUTORES:

Saldivar LLactahuamani, Milagros (orcid.org/0000-0002-0007-2616)

Rojas Apaza, Ronal (orcid.org/0000-0002-6544-6842)

ASESOR:

Mg. Montalvo Morales, Kenny Ruben (orcid.org/0000-0003-4403-4360)

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

2023

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios, a mi mamá y hermanos por ser el soporte de mi vida y mi inspiración para alcanzar mis metas, por su amor incondicional e infinito que me permite luchar por lo que deseo y por sus lecciones, entereza que hicieron de mí una persona de bien y luego a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice. A nuestro asesor por el apoyo incondicional para realizar esta tesis de investigación.

Milagros Saldivar LLactahuamani.

Este trabajo está dedicado a mi esposa Rocio y mis hijos Joaquin y Daniel, quienes siempre me apoyaron incondicionalmente en esta nueva aventura.

Ronal Rojas Apaza

Agradecimiento

A Dios por brindarme la fortaleza, persistencia.
A mi madre y hermanos por el apoyo en mi formación profesional, estando en todo momento.

Agradezco a nuestro asesor el MG. Montalvo Morales Kenny Rubén por apoyarnos y guiarnos para concluir las etapas del presente estudio.

A la Universidad César Vallejo que me permitió concluir con el último pasó para mi licenciatura para formarnos como Ingenieros Ambientales.

Milagros Saldivar LLactahuamani.

Agradezco a mis padres Rolando y Juana por mi formación profesional, a la Universidad Cesar Vallejo por permitirme alcanzar esta nueva meta y al Profesor Kenny Montalvo por su guiado permanente en el desarrollo de la tesis.

Ronal Rojas Apaza

Índice de contenidos

	Pág.
Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y diseño de Investigación	22
3.2. Variables y operacionalización	24
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis	24
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.5. Procedimientos	27
3.6. Método de análisis de datos	27
3.7. Aspectos éticos	32
IV. RESULTADOS	33
V. DISCUSIÓN	58
VI. CONCLUSIONES	61
VII. RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS	75

Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de severidad en incendios forestales

33

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Ubicación del distrito de San Jerónimo-Departamento de Cusco.	26
Figura 2. Satélite Sentinel 2, fuente: Copernicus Open Access Hub (2023).	29
Figura 3. Imágenes Sentinel 2, fuente: Sentinel Playground (2023).	30
Figura 4. Procesamiento y Análisis de la Información, fuente: Sentinel Playground (2023).	30
Figura 5. Obtención y clasificación del Índice NBR para el Distrito de San Jerónimo.	31
Figura 6. Flujograma del proceso de recolección y análisis de datos	31
Figura 7. Primer incendio año 2016	36
Figura 8. Segundo incendio año 2016	36
Figura 9. Primer incendio año 2017	37
Figura 10. Segundo incendio año 2017	37
Figura 11. Primer incendio año 2018	38
Figura 12. Segundo incendio año 2018	38
Figura 13. Primer incendio año 2019	39
Figura 14. Segundo incendio año 2019	39
Figura 15. Primer y único incendio del año 2020	40
Figura 16. Primer incendio año 2021	40
Figura 17. Segundo incendio año 2021	41
Figura 18. Tercer incendio año 2021	41
Figura 19. Cuarto incendio del año 2021	42
Figura 20. Primer incendio año 2016	43
Figura 21. Segundo incendio año 2016	44
Figura 22. Primer incendio del año 2017	45
Figura 23. Segundo incendio año 2017	46
Figura 24. Primer incendio año 2018	47
Figura 25. Segundo incendio año 2018	48
Figura 26. Primer incendio año 2019	49
Figura 27. Segundo incendio año 2019	50
Figura 28. Primer y único incendio del año 2020	51
Figura 29. Primer incendio del año 2021	52
Figura 30. Segundo incendio del año 2021	53

Figura 31. Tercer incendio del año 2021	54
Figura 32. Cuarto incendio del año 2021	55

Resumen

El desarrollo de la presente se realizó con la finalidad de identificar la severidad de los incendios forestales acontecidos durante los años 2016 al 2021, dentro del distrito de San Jerónimo de la región de Cusco; para tal finalidad, se tomó como ruta metodológica el enfoque cuantitativo, de tipo básico con alcance descriptivo y diseño no experimental, teniendo como población de estudio al distrito de San Jerónimo y como muestra a las áreas forestales del distrito, mismo que cuenta con una extensión total de 95,47 km²; para la recolección de datos, se empleó la ficha de observación, así como el sensor Sentinel 2, a través del cual se obtuvieron las imágenes satelitales para analizar las cicatrices de las áreas estudiadas, posteriormente los datos fueron analizados en el programa ArcGis 10.8 mediante las coordenadas UTM dentro de la zona sur 18S, hallando como resultado frente al nivel de severidad de los incendios, que el mayor nivel se presentó en el año 2021 reflejado principalmente en el cuarto incendio, debido a la frecuencia de ocurrencia de incendios en el mismo año. En conclusión, los incendios sucedidos durante los años especificados, favorecieron a que las zonas afectadas presenten nivel moderado-alto de severidad en la calcinación de sus áreas, ya que la regeneración vegetativa fue interrumpida de manera frecuente.

Palabras clave: Severidad de incendios, Índice de severidad, ocurrencia de incendios.

Abstract

The development of this was carried out with the purpose of identifying the severity of the forest fires that occurred during the years 2016 to 2021, within the district of San Jerónimo in the Cusco region; For this purpose, the quantitative approach was taken as a methodological route, of a basic type with a descriptive scope and non-experimental design, having the district of San Jerónimo as the study population and the forest areas of the district as a sample, which has an extension total of 95.47 km²; For the data collection, the observation sheet was used, as well as the Sentinel 2 sensor, through which the satellite images were obtained to analyze the scars of the studied areas, later the data were analyzed in the ArcGis 10.8 program through the UTM coordinates within the southern zone 18S, finding as a result, compared to the level of severity of the fires, that the highest level occurred in the year 2021, reflected mainly in the fourth fire, due to the frequency of occurrence of fires in the same year. . In conclusion, the fires that occurred during the specified years favored the affected areas to present a moderate-high level of severity in the calcination of their areas, since vegetative regeneration was frequently interrupted.

Keywords: Fire severity, severity index, fire occurrence.

I. INTRODUCCIÓN

El fuego está conformado por grupos de partículas ardientes del elemento combustible, tienen la funcionalidad de transmitir luz y calor los cuales se producen mediante la reacción química, por tanto, las características que posee son las llamas que emite la visibilidad de luz y el humo (Rodríguez-Trejo, et al., 2020).

Por lo tanto, de acuerdo a la teoría de Robinne (2021), indica sobre el incendio que, desde el año 2002 hasta 2016 se evidenció acerca de los incendios que cuatrocientos veinte millones de hectáreas aproximadamente se quemaron de manera anual en todo el mundo; estos hechos, aunque no existe un dato que justifique desde 70% y 90% de las quemaduras forestales es ocasionado por la humanidad, dichos datos son preocupantes ya que se repite o avanza en la misma dimensión cada año que va pasando.

Del mismo modo, de acuerdo a la Agencia Especial Europea (2021), demostró que las quemaduras están afectando anualmente en un promedio de 4 millones de km², puesto que la responsabilidad es por parte de la humanidad quienes emiten ciertos gases contaminantes a la atmósfera. Por su parte Barría, (2019), manifestó que el incendio trae consecuencias irreparables en la fauna, además, el fuego no se considera como un factor de amenaza natural si no que es creada y ocasionada por el hombre.

En Ecuador, de acuerdo a la Corporación Andina de Fomento (2020), se evidenció los siguientes datos: del total de los incendios ocasionados desde 2010 hasta el año 2018, las quemaduras forestales naturales fueron cada vez más incrementando y de manera repetitiva con un porcentual de 38% que otros incendios; en la misma dimensión, del año 2012 hasta el 2019 la quemadura de la fauna natural fue en un 80% en la región sierra, mientras el 18% se registró en la costa y finalmente en la selva se generó menos de 2%; por lo tanto, se calculó que más de 164 000 hectáreas entre plantaciones y bosques naturales fueron afectados y todo ello en un 99% fue causa del factor humano.

Así mismo, en el Perú de acuerdo Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2022), se afirma que durante el año 2021 hasta el mes de setiembre se reportó que el 98% de los incendios es causada por el hombre; así mismo, en lo que va el año 2022 se han causado un total de 14,199 casos del cual 537,857 hectáreas

corresponden al cultivo y bosques naturales; por otra parte, en el año 2021 se registraron 7,104 casos y se afectó a 191,000 hectáreas, dichos datos son cifras preocupantes para la sociedad y medio ambiente.

Mientras que, para este último año entre los meses de enero hasta abril se muestra el aumento de la humedad en un 14% de los últimos 15 años, ello implica el crecimiento de la vegetación para generar un mayor combustible forestal andina los cuales son expuestas al incendio, por lo tanto, de abril hasta julio del presente año la sequía que se observa concuerda con datos del año 2005, en dicho periodo quemadas forestales ocurrieron en un 400%, estos resultados son preocupantes ya que la población no está concientizada ni preparada para afrontar este tipo de accidentes, por ende, se advierte a la ciudadanía andina y sus alrededores a no realizar este tipo de actividades las cuales bastante perjudicial para la salud de todo ser viviente (Ministerio de Ambiente 2022).

Del mismo modo, Cusco no es ajeno a estos desastres, ya que para el mes de octubre del presente año el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (2022), ha reportado diez incendios de flora y fauna a nivel regional ocasionando irreparables daños al medio natural entre vegetales y animales silvestres. Por lo tanto, estos datos son alarmantes para el medio ambiente ya que la población no se concientiza por sí mismo, estos actos son problemas irreparables, puesto que la reproducción de flora y fauna ya no será la misma.

El distrito de San Jerónimo, cuenta con una cobertura vegetal de alrededor de 4726.17 hectáreas, contando con 3043.56 hectáreas utilizadas para la actividad humana, mientras que 1639.59 y 43.02 hectáreas contienen pajonales y matorrales alto andinos, áreas que poseen sistemas naturales susceptibles al fuego, por lo que comprenden las zonas de alta amenaza por actividad sociocultural y económica de la zona (Municipalidad Distrital de San Jerónimo-Cusco, 2017), la presencia de incendios forestales en el distrito, se deben principalmente provocados por la actividad humana, gracias a que las áreas que comprenden al distrito son utilizados para realizar la agricultura, por lo que los pobladores ven la necesidad de realizar la quema de rastrojos después de las cosechas generando contaminación del aire y en la mayoría de casos perdiendo el manejo y control del fuego provocando incendios de gran envergadura, como segundo factor determinante en la presencia de incendios, se encuentran el factor natural, toda vez que durante el verano los

suelos presentan alteraciones hídricas, por lo tanto, se presentan alteraciones y modificaciones en el suelo, generando gases tóxicos altamente volátiles, además de generarse material orgánico particulado, es bajo esta problemática que es necesario realizar estudios que se enfoquen en el análisis de severidad en los focos de calor dentro del distrito, considerando los estudios topográficos de la zona así como las condiciones meteorológicas, para con ello dar identificación de las zonas de alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de incendios y de manera conjunta la severidad que estos.

En tal sentido, se planteó como **objetivo general** del estudio: identificar la severidad de los incendios forestales ocurridos en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021, mientras que entre los objetivos específicos se encuentra el primer **objetivo Específico**: determinar el área afectada por la ocurrencia de incendios forestales el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021; **segundo objetivo Específico**: determinar los indicadores de riesgo de ocurrencia de incendios forestales y su severidad en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021, finalmente el tercer **objetivo Específico**: analizar la predicción de ocurrencia de incendios forestales en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021.

II. MARCO TEÓRICO

En los siguientes párrafos se presentan los antecedentes con el objetivo de que haga una comparación con los resultados obtenidos del presente estudio.

Se considera como antecedentes internacionales los siguientes estudios de los autores: En Ecuador, Panimboza (2021), en su investigación sobre “Análisis de severidad de incendios forestales como contribución a la gestión de riesgos. Casos de estudio: Cantón Quilanga 2019, Volcán Casitagua 2020”, para su desarrollo se consideró como objetivo analizar la severidad de los incendios forestales. La metodología considerada en la investigación corresponde al enfoque mixto, de nivel descriptivo-relacional y diseño no experimental, para agrupar información se usó un satélite para captación de imágenes por vía web y Software QGIS. Los resultados se muestran de acuerdo a la clasificación de NBR, donde la severidad de Quilanga representa el 49,02% conformada por 3059.851 hectáreas afectadas, cuyo nivel de afectación fue alto; así mismo, la severidad de Casitagua comprende el 74.63% la misma se ubica en un nivel alto con un área afectada de 225.460 ha. Con estos datos se concluye que, los incendios causados en el área estudiada provocaron la degradación relativamente alta en el ámbito de vegetación con 49% y 74% consecuentemente, con ello se afirma en cumplimiento del objetivo.

Del mismo modo, Ibnousaih (2021), presentó su estudio sobre: “Análisis de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel en las Palmas de Gran Canaria en agosto de 2019”, para este desarrollo de investigación se planteó como propósito analizar los impactos de los incendios forestales mediante fotografías de SENTINEL 2A usado Google Earth Engine. La metodología empleada corresponde a alcance descriptivo con enfoque cualitativo, para obtener información se realizó el trabajo de campo y así registrar el examen de suelo, la revisión de páginas web y las fotografías en la zona mencionada, el cual comprendió un total de 9636.40 ha afectados mediante GEE. En los resultados se evidencian un área de 85.3 km² incendiados en su totalidad, del cual el 25.42 km² posee baja severidad, del mismo, se afectó a 9 municipios, 6 zonas reservadas de bosque de diversas variedades y al finalizar se pudo afirmar que para el 2021 hubo mejoría y recuperación del área afectada.

En la misma línea, Zappa (2020), estudio sobre, “Análisis de la severidad de incendios forestales en la reserva ecológica los Ilinizas”, tuvo el propósito de evaluar la severidad de incendios forestales de las mencionadas jurisdicciones. La metodología utilizada sostuvo el tipo aplicado con diseño no experimental, el nivel descriptivo y enfoque cualitativo; para recoger información se hizo mediante equipos de fotografía satelital en la zona afectada, revisión documental y otros equipos sistemáticos pertinentes. Al respecto se pudo concretar los resultados donde, entre los años de 2016 a 2020, el 75,12% del área quemada se encuentra en nivel de severidad moderada con tendencia baja, el 18,38% corresponde a la severidad alta con tendencia alta y finalmente el 6.50% está en un nivel alto de severidad; por lo tanto, se concluye que existieron 20 505 casos y se afectaron a 12306,03 hectáreas en dicho periodo.

Así mismo, Cabezas (2020), realizó el estudio titulado: “Análisis de la severidad del incendio forestal en el Parque Nacional Sierra la Macarena usando Landsat 8 y Sentinel-2 caso de estudio 2018”, la investigación se desarrolló con la finalidad de analizar la severidad del incendio por distintos índices y herramientas. Al respecto se usó la metodología de alcance descriptivo con enfoque mixto, el lugar para recoger la información fue el Parque Nacional Sierra de la Macarena, lugar donde se ocasionó el incendio durante el año 2018. Al respecto como resultado se identificó a 6356,72 +/- 190,87 hectáreas afectadas, por lo tanto, el desarrollo fotosintético de zona es de 15% y el 75% no hubo reacción fotosintética lo cual implica que se encuentra en el nivel alto de severidad, además el 10% de las plantas mantiene activa su desarrollo después del incendio; en conclusión, se demostró que, casi el total de la zona afectada por la quema corresponde al daño de alta severidad, el área no tiene reacción vegetal y la mayor parte es área seca.

De igual manera, Peña (2019), en su trabajo de investigación titulado: “Evaluación del impacto de los incendios forestales por medio de imágenes satelitales a través del sensor Sentinel 2, durante el período de incendios estivales 2016-2017, en la comuna de Pumanque, región del Libertador Bernardo O’higgins, Chile”, dicho estudio se hizo con la finalidad de evaluar el impacto de los incendios forestales. La metodología empleada en esta investigación fue el alcance descriptivo con enfoque cualitativo, la información fue recolectada mediante observación del área

afectada de 17.960,66 y referencias de todos los años que correspondieron al estudio, la información se muestra en función de los registros de incendios y procesamientos de imágenes tomadas tanto antes y después del incendio el cual se hizo el procesamiento mediante el dNBR, dicho sistema evidencia el grado de severidad del incendio. Al respecto se muestran los resultados del índice de severidad donde, el 22.72% comprende el área no afectada del total de la zona considerada, el 35.05% presenta quemadura leve, el 25.27% comprende leve moderado, el 14.38% conforma de moderado a severo y finalmente el 2.56% presenta quemadura severa; se concluye que, el grado de severidad de las quemaduras es afectada en función del volumen de material que se concentra en la zona y según la climatología.

Respecto a los antecedentes nacionales, se tiene como primer antecedente al estudio realizado por Mendoza y Rupa (2022), en su estudio titulado: “Pérdida de Cobertura Vegetal a Causa de los Incendios Forestales durante 2019-2021 en la Localidad de San Jerónimo, Cusco”, se estudió con el fin de determinar la pérdida de cobertura vegetal a causa de los incendios forestales. El uso metodológico empleado en el presente corresponde al tipo aplicada, enfoque matemático y el alcance descriptivo, la población y muestra fue considerada 96 km² de la zona de San Jerónimo entre plantaciones, matorrales y pajonales; para obtener información se hizo mediante técnica observación, revisión de registros del INDECI y fotografías digitales. En los resultados se muestran la totalidad de zonas forestales que fueron quemadas del año 2019 hasta 2021, se presentaron pérdidas de materia vegetal en un aproximado de 500.07 hectáreas, lo cual equivale al 6.60% de área vegetal en afectada en el 2019; así mismo, 117 hectáreas corresponden al 1.54% en el año 2020 y, finalmente un total de 1397.22 hectáreas equivalen al 18.44% del 2021, en los tres años se ocasionó un incendio total de 2014.29 hectáreas (26.58%). Se concluye que, para el año 2021, se incrementaron significativamente el caso de incendios forestales en un 18.44% más que años anteriores.

Asimismo, Cabrera y Ramos (2021), en su investigaron sobre: “Evaluación del impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de la provincia de San Pablo en el año 2019, aplicando índices de biodiversidad”, se hizo con la finalidad de evaluar el impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal. Para ello,

la metodología se consideró el alcance descriptivo con diseño no experimental de corte transversal, enfoque mixto, la muestra fue conformada por el bosque de Jalca entre áreas afectadas y no afectadas y se consideró 10 parcelas con una dimensión de 25 m², para el recojo de información se aplicó como técnica la observación y el instrumento ficha de campo. Para llegar a los resultados se registró a 32 tipos de vegetales en área natural y 20 de zonas quemadas, se juntó en 13 grupos, de los cuales la especie de alto valor en el ámbito natural fue *Dactylis Glomerata* con 68.016%, por parte de la zona afectada fue el *Verónica Arvensis* con 36,365%, además, se muestra el daño físico del suelo en gran medida, ya que se muestran diferencias en la población de plantas en el área estudiada.

Por su parte, Benavides (2021), desarrolló estudio que lleva como título: “Análisis de la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, a través del sensor Sentinel - 2 - Periodo 2019 - 2021, Cajamarca”, el estudio se planteó como propósito examinar a través de imágenes Sentinel-2 la severidad del incendio forestal. El uso metodológico empleado fue de nivel descriptivo con tipo aplicado y enfoque cuantitativo, la población considerada fue la zona afectada de la mencionada jurisdicción, la agrupación de información se hizo con la técnica observación directa y revisión bibliográfica, mientras el instrumento se hizo el informe de ensayo. Los resultados muestran la disminución de la zona afectada con severidad alta entre 0 a 0.36 hectáreas, el 0.36 a 232.56 hectáreas corresponde a la disminución de severidad media y los otros rangos de afectación también están en mejora de recuperación de vegetación, excepto la regeneración del nivel alto y muy alto, solo se muestra el incremento de extinción de incendios entre 559 y 841 hectáreas. En conclusión, se pudo demostrar el nivel de regeneración vegetal en función del grado de severidad de cada zona afectada.

De igual forma, Bazán y Esparza, (2021), investigaron sobre: “Áreas degradadas a causa de la deforestación por quema (2000-2020) en la Granja Porcón-Cajamarca”, para proceder a desarrollar se consideró como objetivo evaluar las áreas degradadas a causa de la deforestación por quema. La metodología considerada corresponde al nivel descriptivo de tipo aplicado, el diseño fue no experimental transversal, la población comprendió a 480 personas de la zona y 7460 hectáreas de la zona de Granja Pocón, para determinar la selección de participantes el

muestreo fue probabilístico y de ello la muestra fue conformada por 87 habitantes del área seleccionada, para recoger información se realizó la revisión de material bibliográfico, entrevistas y fichas de evaluación. En cuanto al resultado se pudo demostrar que el 38% de los habitantes se dedican a la agricultura y utilizan fuego en sus trabajos, mientras el 43% realizan actos rituales con propósitos de percibir lluvias; a causa de estas actividades ocurrió 2 incendios en los años de 2006 hasta 2009 lo cuales afectaron 919.39 hectáreas, del mismo entre el año 2018 hasta 2020 se ha quemado un área de 1791.44 hectáreas, se concluye que, la mencionada área investigada se encuentra en total reforestación por las constantes quemaduras que suceden año tras año, ya que la actividad agrícola se trabaja con constancia.

Según Manríquez (2019), en su trabajo de investigación que lleva por título: “Especies forestales afectadas en incendios ocurridos en amazonas: Un análisis de la información fiscal de los casos de Chachapoyas y Luya”; el presente estudio tuvo como finalidad identificar las especies forestales que fueron afectados en los incendios; la investigación comprendió un alcance descriptivo, retrospectivo, cuantitativo y transversal; se obtuvo como muestra a 24 expedientes fiscales sobre los incendios que ocurrieron, lo cual se seleccionó mediante el muestreo no probabilístico, como instrumento se consideró una ficha de recolección de los datos. Con respecto a los resultados se reflejó que, un 45.8% afectaron a la especie forestal de pino, asimismo en un 37.5% fue afectado el eucalipto, estas dos especies se consideraron como las más afectadas, así mismo también se identificaron las provincias afectadas, en la que se encuentra la provincia de Chachapoyas con un 28%, la cual corresponde de 5 a 10 hectáreas, de igual manera un 16,7% de los incendios se dio en Luya afectando entre 1 a 3 hectáreas; llegando a reflejar un total de 342,50 hectáreas afectadas por 24 incendios, donde Chachapoyas fue el más afectado con 236,50 hectáreas y 106 hectáreas en Luya. Por ello se concluye que, la mayor proporción de los incendios en la región de amazonas se dieron en los años 2016 y 2018, identificándose mayor incendio en el tercer trimestre del año, los imputados se identificaron como personas naturales y un 16.7% de ellos fueron identificados.

Respecto a las **bases teóricas**, se consideró como la primera variable a la **Ocurrencia de los incendios forestales**, que para Cenepred (2020), comprende de la posibilidad del acontecimiento de un incendio, que puede llegar a producir grandes cambios en una zona o lugar determinado, esta puede generar dificultades en el desarrollo de un proceso, la llama de juego puede producirse por diversos factores, los cuales se pueden dar por la autoinflamación de gases desprendidos por combustibles, que a su vez generan nuevos gases, que al llegar a calentarse se suelen volver a inflamar repitiéndose esos procesos de manera sucesiva. Al respecto Castillo et al. (2018), menciona que es el suceso o causa del incendio puede darse por la combustión de materiales, en un punto específico y llega a propagarse debido a los siguientes tres elementos, los cuáles son: el combustible para arder, el aire para la contribución de oxígeno y una fuente de calor para poder elevar el combustible; así mismo cabe precisar que, cuando un incendio se desarrolla en un espacio muy ventilado o libre, los gases, el calor se llegan a difundir en la atmósfera, sin embargo, si el fuego llega a transcurrir en un lugar cerrado, hay una acumulación con respecto a los gases y humos que fueron generados.

Para Pang et al. (2022), es la intensidad o frecuencia en la cual acontecen los incendios forestales, permitiendo conocer los factores que prevalecen e intervienen, entre ellos la acción del hombre, acumulación de combustible de distintos organismos o sustancias que se encuentran en las áreas afectadas, que ante la el mínimo contacto con un foco de calor se origina un incendio, sumado la presencia de vientos que provocan la rápida propagación del fuego, afectando zonas más extensas, por su parte Zhang et al. (2023), lo relacionan con los factores socioeconómicos, la meteorología, topografía y vegetación; siendo la quema de pastizales uno de los causantes más frecuentes, que en ocasiones escapa del control humano gracias a la presencia de vientos; asimismo, otra causa frecuente es el desecho de químicos peligrosos por fábricas, que en contacto con otro elemento inflamable provoca incendios severos generando pérdida de vegetación y ecosistemas naturales. Para Nikodemus et al. (2023), es la frecuencia de los incendios, que se producen por elementos muy diversos, como la acumulación de combustibles por el cambio climático que existe, y la falta de medidas de prevención frente al acontecimiento de incendios, toda vez que la toma de decisiones de los

gobiernos no concretizan la implementación de estrategias para hacer frente a los posibles incendios y se logren prevenir de manera oportuna.

Así mismo, Torres-Rojo (2020), denomina como surgimiento o propagación de un incendio forestal, la cual puede causar diversas pérdidas y también degradaciones de las superficies forestales, esta puede producir cambios climáticos, su ocurrencia se da por el comburente y combustible que se encuentran en espacio y tiempo en un determinado estado energético suficiente para que se dé una reacción entre ambos, la energía necesaria para que se produzca la mencionada reacción es denominada como energía de activación, dicha energía es la aportada por focos de ignición, por lo tanto, determinaron como primera dimensión de la variable:

Indicadores de riesgo de ocurrencia, que según Korená et al. (2023), son elementos que permiten el reconocimiento de posibles riesgos de presencia de incendios, dentro de estos riesgos se encuentra la pérdida de vegetación, gases contaminantes que perjudican la salud de la población que habitan en el área afectada, asimismo, estos indicadores muestran las pruebas y causas de origen. Perevedentsev et al. (2022), mencionaron que los indicadores que causan los incendios de manera frecuente en áreas forestales, son la falta de lluvias, puesto que provocan que las plantas se sequen y produzcan mayor combustión, los que para Cenepred (2020), son indicadores que suelen definirse tomando en consideración el conocimiento de los riesgos de incendio considerados como potenciales y emergentes, asimismo brinda información sobre los diversos aspectos de incendio, como por ejemplo el comburente, combustible y foco de ignición los cuales forman el triángulo de fuego, asimismo de como el fuego suele progresar, de la misma manera Torres-Rojo (2020), los indicadores brindan información de los aspectos de los incendios, de los efectos que traen consigo, las lesiones que producen por medio de los humos, como son los gases tóxicos y temperaturas altas, asimismo indica sobre cómo se produce el fuego, el tiempo y espacio y de los factores que lo producen.

Dicha dimensión presenta los siguientes indicadores: **a) atributos climáticos**, para Pazmiño (2019), son las condiciones de un lugar que pueden producir incendios forestales, los cuales pueden ser los rayos en los lugares secos de pastos, hierbas, arbustos, matorrales y otras vegetaciones, el avance del fuego suele darse de

acuerdo al clima, cuando la zona es seca y con mayores ventarrones, en esta el fuego tiene una velocidad muy alta, mientras que para Nikodemus et al. (2023), son factores que provocan incendios forestales, entre ellas se encuentra las temperaturas altas, la falta de lluvias, los vientos intensos, que intervienen a que el ecosistema forestal sea cálido y seco provocando que la humedad que presentan las plantas sean mínimas, así como los combustibles que producen, por tanto, los incendios tienen mayor duración e intensidad en comparación a los años interiores, por su parte, Torres-Rojo (2020), en el aspecto climático las temperaturas también juegan un papel importante con respecto a al origen de incendios, ya que este factor determina la forma en que avanza el fuego, uno de ellos es el viento, que cuando más intensidad tiene este, más rápido es la propagación, dado que este empuja las llamas acelerando la propagación, asimismo creando focos de incendios; **b) atributos físicos**, Pazmiño (2019), los define como aquellos factores que presentan impacto en la alteración del suelo y materia orgánica, generando pérdida de nutrientes de la vegetación, que en adelante puede provocar la erosión de los suelos, sin embargo, ello depende de la topografía del lugar; además son factores antropológicos o de la naturaleza que inciden en los incendios forestales, aumentando la extensión de áreas afectadas, debido a que no se realiza el tratamiento adecuado de los residuos que dejan los elementos químicos, que al ser desechado al ambiente, se crea contaminación altamente determinante, siendo el más perjudicial los gases tóxicos (Sun et al. 2022); **c) atributos ambientales**, Adedeji et al. (2022), lo conceptualizan como los factores netamente producidos por el cambio climático y efecto invernadero, entre ellos el aumento de temperatura que afecta directamente a la flora y fauna del planeta; el contacto de los rayos solares con vidrios o botellas desechadas dentro del medio, ocasionando reflectancia con la vegetación, incrementando su temperatura y activando el combustible natural que estas emanan, generando de este modo la quema y propagación de fuego. Mientras que para Torres-Rojo (2020), es aquel factor que explica la formación y acumulación de gases que se generan a partir de la pérdida de nutrientes gracias a la alteración vegetal y de la materia orgánica, ya que presentan capacidad de propagación o extinción del fuego.

Así mismo, la segunda dimensión: **predicción de ocurrencia**, Gao et al. (2022), lo definen como una herramienta que contribuye a la extinción y prevención de

posibles incendios, con el uso de máquinas vectoriales de soporte y perceptrón multicapa, equipos que permiten detectar en tiempo real los cambios climáticos, así como la medición de severidad de daño que puede quedar en las áreas afectadas. Para Boychuk et al. (2021), es una posible situación donde intervienen distintos factores como el cambio climático y meteorológico así como el estado del ecosistema vegetal, lo que permite la predicción de los efectos más ocurrentes que se produce en un incendio, para Torres-Rojo (2020), el efecto del fuego forma una base de importancia para la predicción de los efectos como la regeneración del fuego, esto se puede mostrar a través de distintas evaluaciones para poder conocer los índices de riesgos, así mismo estas predicciones se pueden dar por el clima, el tipo de vegetación, la humedad del lugar y el viento, al respecto Castillo et al. (2018), la predicción de la ocurrencia de un incendio, es el estudio que se realiza mediante la combinación de los distintos factores, físicos, estados de vegetación, meteorológicos, consiste en poder estimar los indicadores de riesgos de la ocurrencia, mediante las medidas directa, lo que permite realizar predicciones efectivas, asimismo estas permiten la predicción de su ocurrencia y el efecto que esta podría ocasionar.

Como indicadores se llegaron a identificar los siguientes: **a) tamaño**, Senabre (2018), lo definió como el grado o nivel en el que el incendio se produjo, para poder medir la longitud de afectación, para lo cual se utilizan cámaras de luces infrarrojas, dado que con ello se llegan a obtener el nivel de incendio, cuando es adecuada la banda de infrarrojos el humo es transparente, asimismo, se entiende por tamaño a la extensión del área afectada por un incendio forestal, permitiendo cuantificar y medir la gravedad y estragos causados en la vegetación, la medición se realiza a través de cámaras de infrarrojos que detectan con exactitud la cantidad de territorio dañado (Da Penha et al. 2023).; **b) intensidad**, Andres et al. (2022), lo consideran como una característica que determina el incremento o disminución de los incendios, esto se mide de acuerdo a la regeneración de la vegetación y tiempo transcurrido en el área afectada, del mismo modo, Capador et al. (2021), lo consideró como el grado y fuerza con la que el fuego se produce y libera durante la combustión, esta se da de acuerdo al clima, cuando son tiempos secos, se produce con mayor grado; **c) duración**, Amali y Chow-Fraser (2021), lo definen como el tiempo que transcurre entre el inicio y fin del incendio, la prolongación de los

incendios se da según la temporada estacional, encontrándose que durante el otoño y verano la duración tiene mayor prolongación a diferencia de la primavera e invierno, ya que existe gran cantidad de plantas secas, que presentan mayor combustión, sumándose la presencia de vientos, sin embargo, según Torres-Rojo (2020), comprende de la duración del incendio, que se da de acuerdo al tiempo en el que inició y finalizó, es por ello que su nivel de grado puede ser medida por el NIR, donde se evalúa considerando la probabilidad de inicio del incendio y las consecuencias que esta puede producir.

Con respecto a la segunda variable: **severidad de incendios forestales** que según Valencia et al. (2018), corresponde a la degradación y pérdida de la superficie terrestre en cuanto a materia orgánica se refiere, consecuencias que pueden ser medibles a través de diferentes escalas; para la United Nations (2020), comprende las secuelas que presenta un área por la ocurrencia de un incendio, comprometiendo la estructura y funcionamiento natural del ecosistema, que según Collins et al. (2018), para determinar la gravedad o severidad, es necesario el mapeo por ser de vital importancia para los estudios de incendios; además que gracias a los índices de severidad se puede diferenciar el antes y después de manera menos complicada.

Por otro lado, Agbeshie et al. (2022), indican que los incendios de baja intensidad con depósito de cenizas en el suelo, favorecen a los suelos de nutrientes y pH, en cambio, los incendios de alta intensidad genera graves impactos negativos como el aumento de la hidrofobicidad, ocasionando disminución de infiltración de agua, aumento de densidad del suelo, perjudicando el sistema funcional del ecosistema; sin embargo, para tener un referente más amplio sobre la variable, es necesario indicar que los incendios forestales son considerados como fenómenos globales que generan la destrucción total o parcial de los diversos medios naturales, teniendo como factores impulsores la interacción humana, física y efectos ambientales (Úbeda y Francos, 2018), por otro lado, Neger et al. (2022), lo definen como la propagación desmedida del fuego causando muerte de la vegetación, evento en el cual el ser humano pierde la capacidad de controlarlo.

Por otra parte, según Collins et al. (2018), para determinar la gravedad o severidad, es necesario el mapeo, por ser de vital importancia para los estudios de incendios; además que gracias a los índices de severidad se puede diferenciar el antes y

después de manera menos complicada. Asimismo, Agbeshie et al. (2022), indicaron que los incendios de baja intensidad, con depósito de cenizas en el suelo, favorecen a los suelos de nutrientes y pH, en cambio, los incendios de alta intensidad genera graves impactos negativos como el aumento de la hidrofobicidad, ocasionando disminución de infiltración de agua, aumento de densidad del suelo, perjudicando el sistema funcional del ecosistema.

En ese sentido, Montorio et al. (2018), mencionaron que la severidad se encuentra radicada en la capacidad de respuesta que presenta el ecosistema ante los efectos del fuego que afecta de manera directa a la biomasa de la superficie terrestre, para ello, consideraron como primera dimensión a los efectos **de primer orden**, los cuales se encuentran en una vinculación estrecha hacia los impactos inmediatos a los componentes ambientales durante el proceso de combustión, también son conocidos como los efectos de otro plazo, ya que los efectos que muchos de estos causan pueden ser reversibles por el actuar subsiguiente de la vegetación y el ecosistema en su conjunto, Higuera (2020), consideran que estos son los primeros efectos ocasionados por los incendios, que son altamente visibles, durante y minutos u horas después del incendio, estos efectos varían según la severidad o gravedad del incendio, por lo tanto, para la evaluación de efectos tempranos, es necesario realizar estudios detallados del perímetro, definición de distancia y pruebas a gran escala, esto para ver los efectos ocasionados a tiempo real, en función al momento, lugar, frecuencia y gravedad, con la finalidad de encontrar coincidencias con la geomorfología, clima, suelo y tipo de combustible del ecosistema estudiado (Briones-Herrera et al., 2020).

Según Robinne (2021), los indicadores del primer orden, sirven para proporcionar datos sobre el nivel de efecto y deterioros que causan los incendios, cuyo fin es desarrollar medidas que involucren restauración y conservación del área afectada, cuantificando los daños y muerte de plantas y animales, además del aumento del suelo desnudo y la reducción de hojarasca

Como el primer indicador de la variable, se consideró a **la severidad del fuego** que, básicamente engloba la velocidad en la cual se llega a extender y en la duración de la flama medida a través de la alteración de la temperatura y pérdida de humedad del aire y suelo además de incrementar la carga del combustible

vegetal lo cual provoca la reducción de la heterogeneidad de su estructura que se refleja en la presencia de cenizas (Arellano et al. 2017), para Decker et al. (2023), se trata de una perturbación al ecosistema, de manera que después del incendio, es difícil la recuperación completa de la biodiversidad de la zona afectada, aunque depende del impacto, severidad y además del tipo de ecosistema; el segundo indicador comprende la **mortalidad de la vegetación**, entendida como la consecuencia última de los incendios forestales, ya que estos afectan a la totalidad o gran porcentaje de la estructura de las plantas, inhibiendo la regeneración de las mismas, sin embargo, cumplen un papel de suma importancia después de los incendios, ya que su presencia permite descensos en la escorrentía de la superficie, ya que actúan como interceptadores del agua disminuyendo de este modo las pérdidas de suelos (Montero-Flores et al. 2020), mientras que para Robbins et al. (2022), es un tema que genera incertidumbre, ya que compromete al medio ambiente, además menciona que, si los incendios son de intensidad baja o mixta, la mortalidad es baja, aunque esto varía en los siguientes años, ya que pueden mostrar una mortalidad significativa, muchas veces concentradas en los árboles grandes que sobrevivieron al fuego.

Como tercer indicador, se tiene a la **presencia de cenizas**, que según Agbeshie et al. (2022), las cenizas son polvos grisáceos, resultado de una combustión, su efecto varía según la gravedad de la quema, ya que si existe incendios forestales de gran magnitud afectan las propiedades químicas, biológicas y físicas de las plantas, además que reducen la materia orgánica, alta combustión y volatilización, por el contrario, si existe una quema de baja intensidad, la ceniza actúa como nutriente disponible en el suelo y el pH; Burkle, Belote y Myers (2022), la existencia del polvo gris, indica la intensidad del fuego según su espesor y color, es factor de modificación de los suelos, ya que incrementa el PH de los suelos dañados por su alta presencia de hidróxidos, carbonatos y óxidos que de cierto modo, permiten que un pequeño porcentaje de los nutrientes liberados por la combustión retornen a la superficie, no obstante, esta actividad natural se ve afectada después de las primeras precipitaciones pluviales dado que, las cenizas son disueltas, lo que genera la pérdida de PH, incrementando la disolución de metales pesados que producen intoxicación de los suelos.

Por otro lado, se tuvo como segunda dimensión a los **efectos de segundo orden**, los cuales se definen como las respuestas que presenta el ecosistema durante el postincendio netamente en términos de regeneración de la vegetación afectada y la dinámica hidro-morfológica; también son llamados de efectos de largo plazo, su medición se da en un lapso de tiempo, mientras que según Higuera (2020), son efectos que transcurren días y semanas después del incendio forestal, midiendo el daño en los componentes biofísicos de un sistema que mayormente ocurren a las semanas, meses y años después del incendio.

Para Bär et al. (2019), la medición de estos efectos son más complejos a diferencia de los efectos de primer orden, estos varían de diferentes formas según la intervención que se dé; por ejemplo, se presenta la disminución de crecimiento de árboles y pérdidas de follaje, en otros casos, las plantas que presentan lesiones en la copa, pueden mostrar producción y crecimiento mejorado, finalmente, según Valkó y Deák (2021), estos efectos pueden cambiar la disponibilidad de nutrientes o el microclima, todo esto, posterior al fuego, estos efectos pueden modificarse con medidas de gestión o restauración, como la reforestación con semillas o el pastoreo, en tanto se presentan como indicadores a la **regeneración vegetal**, que bajo la definición dada por Prestes et al. (2020), comprende la recuperación forestal; en su mayoría, para que llegue al punto de recuperación es necesario el transcurso de muchos años, teniendo en cuenta también la existencia de otros incendios en el mismo lugar, siendo que estos afectan a la regeneración a través de la alteración del banco de semillas, conllevando una regeneración muy lenta con reducción de árboles y lianas; por otro lado, también existen consecuencias de la regeneración, que son el aumento de densidad de plántulas de pocas especies, la competencia de luz y agua, todo esto puede inhibir el crecimiento del bosque o las áreas forestales; sin embargo, López (2020), mencionó que engloba a la capacidad de recuperación que presenta el ecosistema, aquellos ecosistemas mediterráneos que sufrieron altos grados de afectación, se encuentran conformados por comunidades vegetales que tienen adaptación a las altas temperaturas por lo que su mecanismo de rebrotamiento presentan un proceso de recubrimiento rápido, pero la recuperación de la flora es multivariado en función al espacio y tiempo, dependientes de la interacción de factores biológicos y abióticos así como el nivel de gravedad del incendio.

Finalmente, se presentó como segundo indicador a la **dinámica hidrogeomorfológica**, comprendida por los cambios de la superficie y su afectación en la retención del agua, ya que se presentan variaciones en la capacidad hidrológica y erosiva, así como en la porosidad de la tierra posterior a la presencia del fuego, ya que los suelos quemados sufren alteraciones físico-químicos que repercuten en su temperatura y pérdida de materia orgánica y por ende en la mortalidad de la vegetación, provocados por los cambios drásticos en la acción de filtración y propiedades del suelo e incremento del escurrimiento (Cansler et al. 2022), en tanto Rojas et al. (2020), indican que se trata de la filtración, precipitaciones, recarga de acuíferos, entre otros, cuya evaluación empieza desde la clasificación de los canales y valles de ríos, su priorización es de carácter fundamental, ya que está relacionada con la buena gestión y planificación de los recursos del suelo y agua, elementos que son afectados por diversos factores, siendo uno de ellos los incendios forestales, provocando cambios en la superficie generando la disminución de retención del agua, generando la mortalidad de la vegetación.

En referencia al análisis de la severidad a través del índice de teledetección del Índice Normalizado de Área Quemada, que para Gómez-Sánchez et al. (2017), se realiza a través de imágenes satelitales con la finalidad de evaluar los daños forestales o la regeneración de la cubierta vegetal tras un incendio, empleando cámaras infrarrojas para poder obtener las medidas del incendio, dado que, en la banda de infrarrojos adecuada, el humo es transparente normalmente, cabe precisar que la variable más importante para poder determinar el impacto de los incendios forestales es la severidad del fuego, la cual puede ser estimada por la cantidad de biomasa verde que fue consumida por el incendio.

Al respecto Vidal et al. (2017), menciona que este término se emplea usualmente para referirse sobre el nivel de perturbación o daño que fue ocasionada por el incendio en el ecosistema, esto será determinado mediante un análisis, la cual puede estar ligada a la obtención de información, asimismo a la recuperación vegetal y dinámica hidro-geomorfológica post incendio, estableciendo de manera general, que la severidad alta tiene vínculo con la recuperación a las tasas de recuperación de las vegetaciones más bajas, asimismo de la erosión más elevada, el análisis de severidad por incendios es considerada como descriptor referente al

impacto ambiental del fuego, y también es un factor determinante para poder explicar las respuestas del ecosistema.

Kitzberger y Grosfeld (2017), manifiestan que es el análisis mediante imágenes de alta resolución espacial que permite la identificación de los árboles aislados y de las islas pequeñas de vegetaciones sobrevivientes, esta favorece a la implementación concreta y explícita; los incendios son considerados como factores de disturbio que tienen impactos de distintas maneras a los ecosistemas forestales en función a la severidad y frecuencia, al producirse un incendio se generan cambios directos en el ecosistema, en este se incluye las pérdidas de las materias orgánicas, asimismo cambios físicos y químicos en la materia inorgánica. Al respecto Montealegre et al. (2017), consideran que es el análisis de Mezclas espectrales, evaluando la severidad basándose en el porcentaje de lo verde, negro y marrón presentes en las áreas que fueron quemadas, el SMA brinda la cuantificación de las fracciones de abundancia respecto a las cubiertas superficiales que se reflejan en las áreas quemadas siendo la severidad uno de sus factores críticos, el análisis proporciona información de importancia para poder realizar la aplicación de las medidas y tratamientos con la finalidad de minimizar los efectos que provocó el fuego, así mismo poder acortar el tiempo de recuperación del ecosistema afectado.

La escala que presenta el Índice Normalizado de Área quemada, se compone la intensidad: **a) Sin quemar**, para Flores-Rodríguez et al. (2021), se le denomina al área que no tuvo presencia de incendio, donde no ocurrió ningún incendio forestal, o también se le puede decir área sin quemar al lugar donde ya pasó más de 5 años desde que se produjo un incendio, por lo que ya hubo un restablecimiento de la estructura del bosque, como sus indicadores se encuentran la: **vegetación sana**, que según Flores-Rodríguez et al., (2021), es la que se encuentra en su entorno natural sin haber sufrido ningún cambio provocado por incendios; **área sin presencia de incendio**, Meza-Aguilar et al., (2017), es el área donde no hubo incendio, se encuentra sin ningún signo de quemaduras, generalmente esta área es húmeda; **área restablecida**, lugar que se encuentra más de cinco años sin la presencia de fuego (CENEPRED 2020).

b) Severidad moderada, que para Flores et al., (2021), son las áreas en las cuales se hicieron los reconocimientos visuales de las cicatrices o marcas de quemado de ramas y troncos, en la que se mide la marca del fuego, asimismo, cuando la copa del árbol puede estar afectado de manera parcial, si la cantidad de biomasa afectada está ligado a la recuperación. Al respecto, Kitzberger y Grosfeld (2017), consideraron que para poder identificar la severidad, en primer lugar, se observa la cantidad de vegetación afectada y si están ligadas a la recuperación son consideradas como moderada, para esto se utiliza la recolección de quemado normalizado NBR, dado que, esta fue diseñada para poder resaltar las áreas quemadas y estimar la severidad, como indicadores se presentan los siguientes:

Rastros de quemadura, para Meza-Aguilar et al., (2017), son las señales o rastros que quedaron después de un incendio, o algún suceso de incendio, generalmente son los restos de las mieses que permanecen sobre la tierra en forma de cenizas, las cuales se esparcen; **árboles en sobrevivencia**, para Flores et al., (2021), son considerados como los recursos que permanecen después de un incendio, cuenta con la posibilidad de rebrotar, asimismo, como cobijo a pequeños animales o insectos; **área en recuperación vegetal**, para Fonseca-González et al., (2017), son alternativas de rescatar árboles en las zonas que se encuentran en sequía, provocado por los incendios, para esto se debe intervenir con plantaciones de vegetación; **área sin afectación**, para Meza-Aguilar et al., (2017), son las magnitudes de las áreas que no fueron afectadas por los incendios forestales, estas áreas son consideradas como áreas sin afectación.

c) Severidad muy alta, para Montealegre et al., (2017), son las áreas donde se llevaron los reconocimientos visuales de las marcas o cicatrices y son consideradas como graves, el NBR es empleado para evaluar la gravedad de los incendios, dado que las áreas con valores de NBR más altos son consideradas como daños severos altos, estas áreas registran tasas bajas de recuperación vegetal, ya que por las altas temperaturas, la disponibilidad de sus semillas pueden disminuir, debido a la destrucción de los tejidos meristemáticos. Al respecto, Flores et al. (2021), consideran que son áreas que en el índice de calcinación diferenciado o dNBR muestra alta severidad, existen estudios que demuestran que cuando el valor de este índice son negativos, pueden mostrarse mayor productividad de vegetación,

dado que en estas áreas se muestra la mayor cantidad de nutrientes en el medio ambiente post-fuego.

Presentando como indicadores de medición al: **área sin vegetación**, para Fonseca-González et al., (2017), es el área que no contiene vegetación, esta puede provocar que el suelo se deteriore, si no se llega a controlar a tiempo, asimismo puede provocar que el paisaje o la zona se desertifique, es por esto la importancia de reforestar las áreas sin vegetación, ya que los árboles mediante sus raíces controlan la erosión del suelo; **árbol afectado totalmente**, para Cenepred, (2020), son los árboles afectados hasta las raíces, por esto su probabilidad de vivencia es considerada como nula, asimismo, este árbol será colonizado por animales o insectos descortezadores, dado que estos árboles ya no cuentan con la capacidad de recuperar follaje, limitando su supervivencia; **árboles en estado de sequedad**, para Meza-Aguilar et al., (2017), son considerados como árboles secos o en estado de sequedad, aquellos que fueron afectados de manera proporcional; sin embargo, estas cuentan con la posibilidad de rebrotar y crecer; **arbustos desaparecidos**, para Cenepred (2020), son los árboles o arbustos que desaparecieron por completo a causa de los incendios, aquellos árboles convertidos en cenizas que pueden producir nutrientes para otros árboles.

Por otro lado, se considera el uso del satélite Sentinel 2, el cual es un programa que tiene como objetivo es proporcionar datos de radar de la superficie terrestre evitando el impedimento de la presencia de nubes, lo que permite medir distancias y ángulos del globo terráqueo a través de imágenes multiespectrales de alta resolución; este programa se encuentra constituida por una constelación de 2 satélites multiespectrales de órbita polar, para la monitorización de la tierra. proporciona imágenes, entre otras aplicaciones, para vegetación, suelo y agua, vías de navegación interior y zonas costeras, la constelación se basa en dos satélites idénticos (Sentinel 2A y Sentinel 2B) situados en la misma órbita y separados 180° para una óptima cobertura de la tierra (Ministerio de Transportes 2022).

Mientras tanto, el programa ArcGIS es una herramienta que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, proporcionando herramientas para el mapeo y el razonamiento espacial.(ArcGIS Resources 2023) Implementa una topología a través de reglas para definir espacios

geográficos y herramientas que comparten geometría de manera integrada. (Equipo Sistemas de Información Territorial y Grupo GIS, 2018), mientras que para Ramírez-Cando et al. (2018) mencionan que sirve para crear mapas, así extraer datos para la ayuda de análisis que no se puede percibir a simple vista en un GIS.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de Investigación

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo dentro del tipo aplicado de investigación, ya que se procedió a la utilización de herramientas digitales: sensor Sentinel y programa ArcGis 10.8, que permitieron la descarga y análisis correcto de las imágenes en referencia a la zona estudiada, puesto que se realizó, puesto que se realizó el análisis de severidad de los incendios forestales acontecidos en el distrito de San Jerónimo dentro de la región Cusco, tomando en consideración la definición frente a este tipo de investigación dado por Esteban (2018), quien lo conceptualiza como el estudio cuya finalidad se enfoca en no solo descubrir nuevos conocimientos y ampliarlos sino que, a partir de estos se brinden soluciones en los diversos procesos de la actividad de los seres humanos, permitiéndoles cubrir sus necesidades.

En el estudio se hizo uso del diseño no experimental, mismo que fue definido por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) como el diseño en el cual no se manipulan de forma controlada e intencional las variables de la investigación. En tal sentido, el diseño contiene la observación de la variable: ocurrencia de incendios y la variable análisis de severidad de incendios forestales, ambos desde su estado encontrado de manera inicial.

El enfoque en el que se incurrió en la presente fue el cuantitativo, puesto que los datos recopilados fueron procesados y en adelante interpretados, ante ello, los datos cumplieron con las siguientes características consideradas por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), quienes mencionan que deben ser medibles, contables y cuantificables, dichos datos son obtenidos luego de la aplicación del estadístico seleccionado y el instrumento en la muestra determinada.

Además, el alcance considerado para la investigación fue el descriptivo, que según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), es un alcance que se encarga de puntualizar las diversas características de la población, en la que también se emplea exposiciones narrativas, numéricas o gráficas de forma detallada respecto

a la realidad estudiada, en donde también se buscan conocimientos iniciales, asimismo busca especificar las prioridades, perfiles y características importantes.

Por otro lado, el estudio estuvo comprendido por el método analítico-deductivo ya que, a partir de la observación se pudo llegar a identificar el problema con las teorías existentes, puesto que ayuda a determinar características de una realidad en particular por derivación o resultado de atributos o enunciados contenidos (Bravo y Valenzuela, 2019).

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Ocurrencia de los incendios forestales

Definición conceptual

Entendida como la frecuencia, tamaño y severidad que presenta un incendio forestal, causando pérdida y degradación de la superficie forestal, trayendo consigo el cambio climático (Torres-Rojo 2020)

Definición operacional

La medición de la variable se realizará a través de la observación empleando una guía de observación que se hará al registro de incendios ocurridos en la zona de estudio.

Variable dependiente: Severidad de incendios forestales

Definición conceptual

Montorio et al. (2018), lo definen como los efectos causados por el fuego sobre el ambiente causando un cambio ecológico, por lo que se conoce como un factor crítico en la dinámica de las áreas afectadas.

Definición operacional

El Análisis de la severidad de incendios forestales se realizará a través de la toma de imágenes satelitales de las zonas estudiadas mediante el programa Sentinel-2, mediante el cual se determinará el grado de quemadura aplicando el índice Normalizado de Área Quemada-NBR, analizado con el programa ArcGIS,

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población

Para Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), es el conjunto de los elementos que tienen las características similares o comunes bajo determinadas especificaciones, en tal sentido, en el presente estudio se llegó a considerar como población a las áreas forestales que fueron afectadas por los incendios ocurridos desde el año 2016 al 2021 en el distrito de San Jerónimo del departamento de Cusco, en tal

sentido en adelante se muestran las características fundamentales del distrito, datos extraídos del Plan de Desarrollo Concertado 2017-2024 de la Municipalidad Distrital de San Jerónimo-Cusco (2017).

Ubicación del distrito

Departamento y provincia: Cusco

Superficie total: 95.47 Km²

Altitud: 3220 m.s.n.m. (Angostura) hasta los 4300 m.s.n.m. (Huaccoto)

Latitud: -13.486533 y -13.630795 sur

Longitud: -71.917940 y -71. 814700 oeste

Temperatura: Temperatura máxima promedio es de +21.0 °C, entre los meses de octubre y noviembre, y la temperatura mínima promedio es de -0.8°C, en el mes de agosto; la temperatura media anual es de +12.0°C.

Humedad:

- **Humedad absoluta mínima:** (junio) 8.9 milibares.
- **Humedad absoluta máxima:** (diciembre) 11.7 milibares.
- **Humedad absoluta promedio anual:** 10.4 milibares.

Precipitación:

- Sub cuenca: 719 mm
- Partes altas: 800 mm

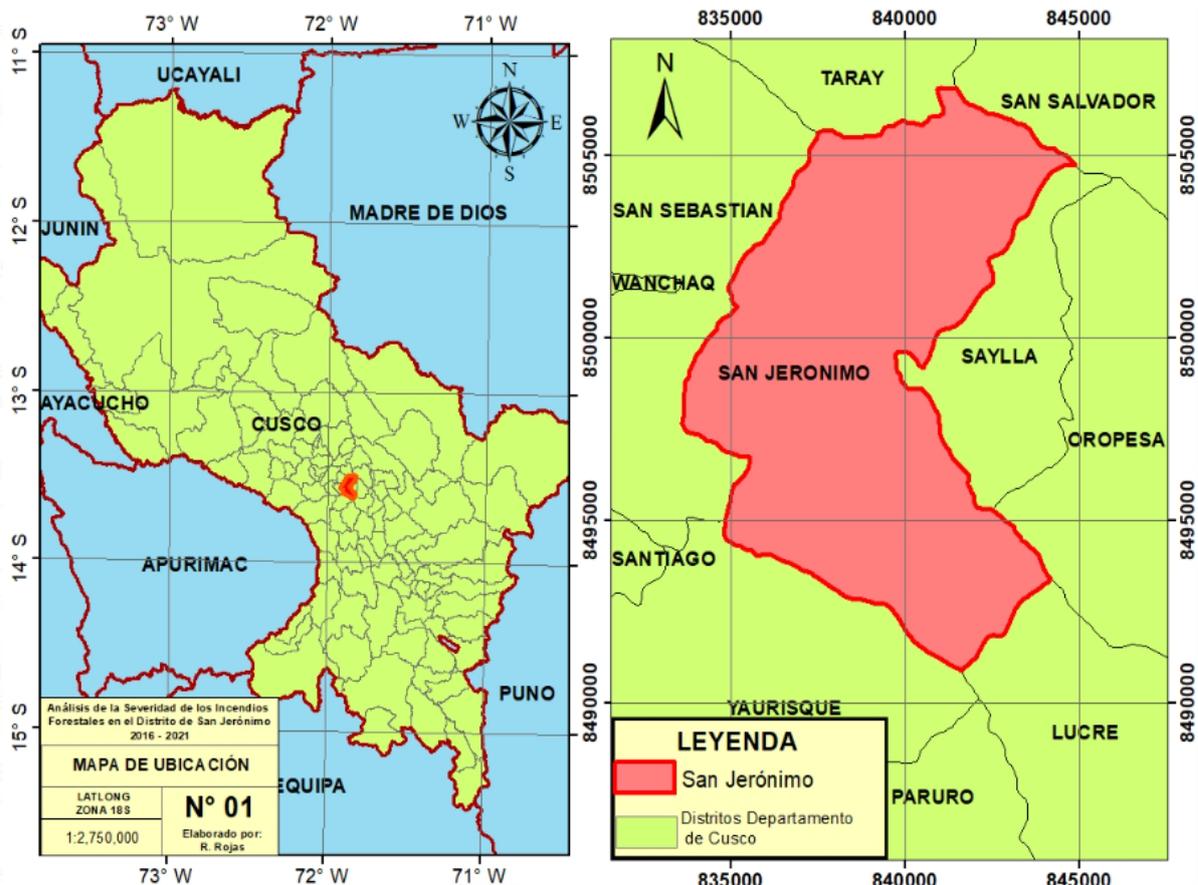


Figura 1. Ubicación del distrito de San Jerónimo-Departamento de Cusco.

Muestra

Según Ortega (2018), es el subgrupo que representa a la población, a la cual se le va a administrar el instrumento de recolección de los datos, para que de esa manera la información que se obtenga pueda ser generalizada en su totalidad a la población; en la presente se consideró como muestra a 60000 hectáreas del área forestal afectadas entre los años 2016 al 2021 en las zonas dentro del distrito.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica

Es un procedimiento sistemático que tiene el propósito de garantizar la operación del proceso de la investigación, dado que mediante este se obtiene la información de gran importancia para el investigador (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). En tal sentido, en la presente se llegó a emplear la observación indirecta para la recolección de datos ante el diagnóstico de las áreas que presentaron cicatrices en función a la ocurrencia de los incendios y los posibles motivos del suceso, así como su posterior análisis de severidad de la afectación.

Instrumentos

Es el recurso utilizado por parte del investigador con la finalidad de abordar fenómenos y problemas para extraer la información de la realidad respecto a la variable estudiada (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). En ese entender, en la investigación para la variable ocurrencia de incendios se tomó como instrumento una guía de observación, mientras que para medir la severidad del incendio se realizó un ensayo para lo cual se consideró el uso del sensor Sentinel-2, mediante el cual se obtuvo las imágenes satelitales de las zonas analizadas, para ello se realizó un proceso de mapeo de la severidad de incendios acompañado de la ficha de observación, ya que ello permitió para desarrollar el análisis con minuciosidad frente al fenómeno estudiado.

3.5. Procedimientos

Para el estudio, se procedió a revisar información con rigor científico, tomando en cuenta las normas que fueron establecidas por la Universidad César Vallejo, pasando a la identificación de la problemática por cada variable, donde se pasó a revisar todas las teorías actualizadas existentes respecto al estudio, de manera posterior se establecieron las dimensiones correspondientes y sus respectivos indicadores, prosiguiendo con la determinación de la metodología, tomando en consideración la técnica que permitió a la obtención de datos, debido a ello se realizó el análisis de severidad y posteriormente la interpretación de los resultados y su debida discusión, así como las respectivas conclusiones para finalmente recaer en las recomendaciones que son dirigidas a las autoridades e instituciones competentes al cuidado del medio ambiente así como a la población en general.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis es considerado como procedimientos establecidos para el manejo de información, en esta se toma en consideración los distintos modelos de análisis, lo cual depende del foco de interés y el diseño seleccionado (Ortega, 2018). En ese sentido, en la presente investigación el método de análisis fue desarrollado en dos etapas:

Primera etapa: Obtención de datos

Para la determinación de zonas afectadas por los incendios forestales, se obtuvieron imágenes satelitales del sensor Sentinel-2 a partir de la plataforma Earth explorer, pertenecientes al programa Copernicus de la Comisión Europea, que tienen acceso libre, cabe mencionar que la exploración preliminar corresponde al Sentinel Playground.

Para la toma de imágenes, se ingresó a la plataforma Copernicus Open Access Hub, donde se cargó el polígono de límite del distrito de San Jerónimo, para descargar imágenes satelitales del polígono señalado de los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021; permitiendo la selección de imágenes satelitales del sensor Sentinel – 2 con resolución de 10, 20 y 60 metros, las cuales fueron seleccionadas con un porcentaje de nubosidad \leq al 20 %.

Segunda etapa: Procesamiento de imágenes satelitales

Una vez tomadas las imágenes, estas fueron trasladadas al software ArcGIS 10.8, siendo proyectadas a través del sistema de coordenadas UTM zona 18 sur, para posteriormente realizar la composición de bandas que permitieron realizar las interpretaciones proyectadas en los objetivos. Es preciso mencionar que, para detectar las cicatrices de quemadura en las áreas estudiadas, fueron polinizados en el formato vector, conllevando de este modo a la combinación correspondiente para el adecuado discernimiento.

Posteriormente, se obtuvieron los Índices Normalizados de Áreas Quemadas, de acuerdo a los siguientes criterios de combinación:

- El índice NBR combina las bandas del infrarrojo cercano y onda corta, para identificar extensiones afectadas por incendios forestales, para ello se utilizó la calculadora ráster del software ArcGIS 10.8, donde se empleó la siguiente fórmula:

$$NBR = (Banda 8 - Banda 12) / (Banda 8 + Banda 12)$$

La fórmula descrita fue operacionalizada en el software ArcGIS, haciendo uso de la herramienta “álgebra de mapas”, para luego clasificar los resultados de la siguiente manera:

(<-0.25) alta severidad, (-0.25 a -0.1) baja severidad, (-0.1 a 0.1) zona estable sin quemar, (0.1 a 0.27), baja regeneración, (0.27 a 0.44), media regeneración, (0.44 a 0.66), alta generación (> 0.66) muy alta regeneración



Figura 2. Satélite Sentinel 2, fuente: Copernicus Open Access Hub (2023).



Figura 3. Imágenes Sentinel 2, fuente: *Sentinel Playground* (2023).

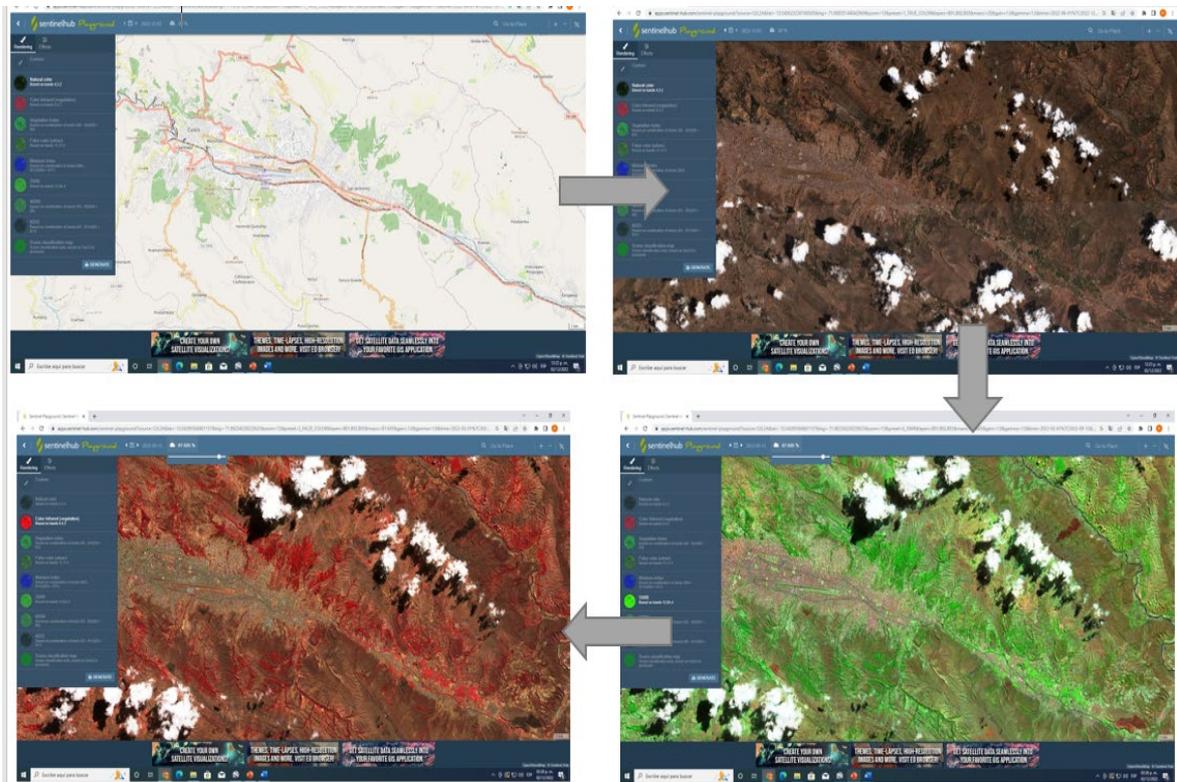


Figura 4. Procesamiento y Análisis de la Información, fuente: *Sentinel Playground* (2023).

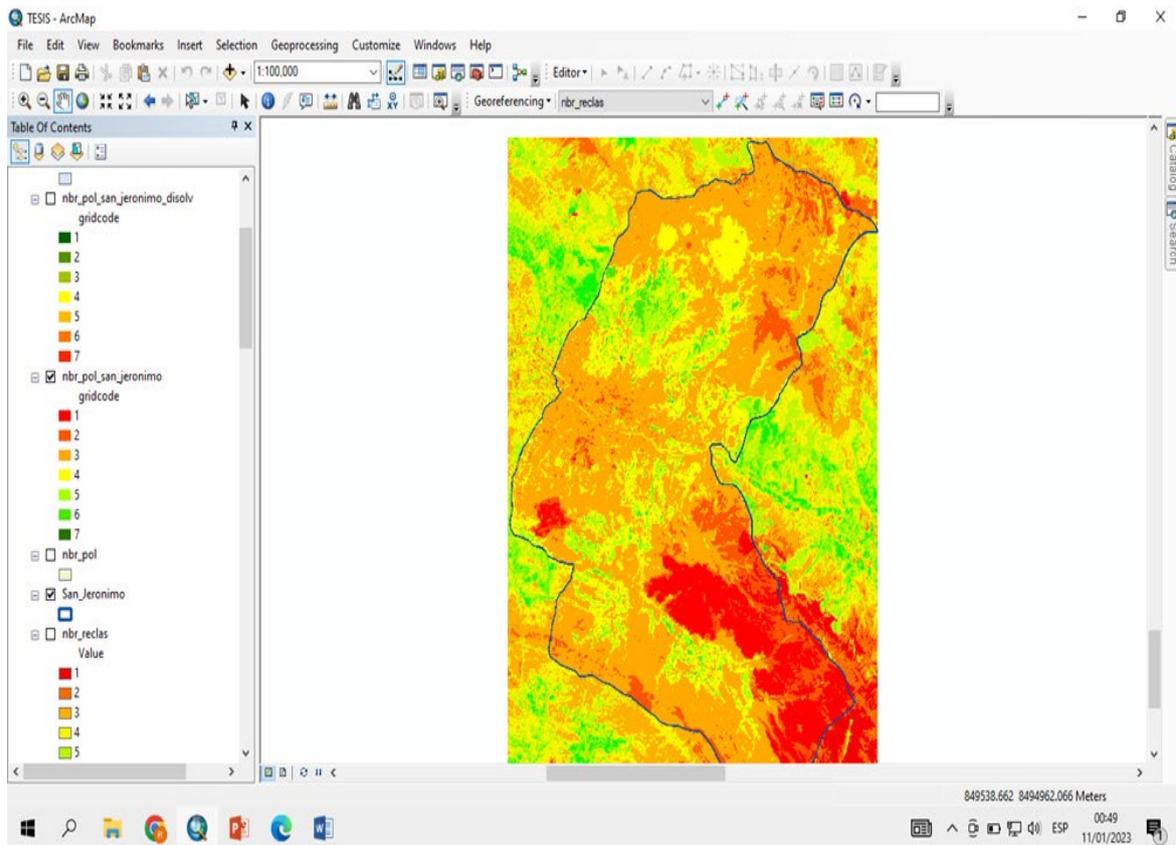


Figura 5. Obtención y clasificación del Índice NBR para el Distrito de San Jerónimo.

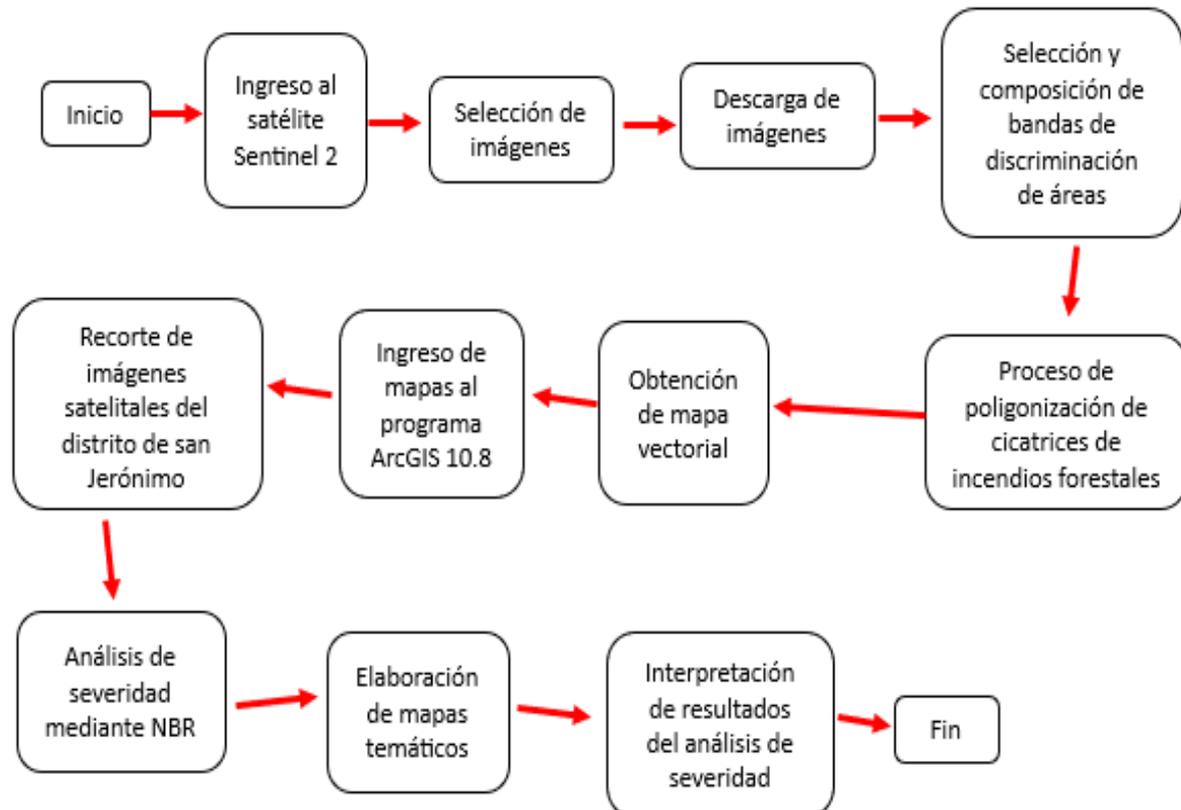


Figura 6. Flujograma del proceso de recolección y análisis de datos

3.7. Aspectos éticos

La investigación se encuentra desarrollada bajo el cumplimiento adecuado e íntegro de la normativa, pautas y directivas que la Universidad César Vallejo establece; las informaciones obtenidas de las definiciones por los distintos autores serán respetados adecuadamente mediante las citas de acuerdo a las normas, asimismo, el trabajo se llegó a realizar con profesionalismo, donde la información recolectada fue verídica sin sufrir ninguna manipulación o alteración a favor o en contra.

IV. RESULTADOS

En el presente apartado, se demuestran los resultados hallados a partir del análisis de severidad en los incendios registrados durante el periodo 2016-2021.

Resultados ante el objetivo general

El objetivo general de la presente investigación se enfocó en identificar la severidad de los incendios acontecidos en el periodo 2016 al 2021 dentro de la región Cusco, específicamente en el distrito de San Jerónimo, por tanto, para el análisis de severidad, se consideró la escala de 07 niveles de severidad planteados a partir del índice NBR, los que se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 1. Niveles de severidad en incendios forestales

Severity Level	dNBR Range (scaled by 103)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High severity	+660 to +1300	+0.660 to +0.1300

Fuente: Naciones Unidas (2019)

Es preciso indicar que, para la determinación del nivel de severidad, se realizó la aplicación de la siguiente fórmula:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Donde:

NBR= Índice Normalizado de área quemada

NIR=Onda de infrarrojo cercano

SWIR= Infrarrojo de onda corta

Sin embargo, para la determinación final, se realizó el cálculo del dNBR que representa al diferencial entre el estado del área antes y después del incendio, precisando que el valor que presente mayor nivel, es entendido como un nivel más alto de afectación a diferencia de los valores muy bajos o negativos que representan las mejorías de las áreas afectadas que presentan recuperación y nuevo crecimiento de vegetación, en tal sentido la fórmula empleada fue:

$$dNBR \text{ or } \Delta NBR = \text{PrefireNBR} - \text{PostfireNBR}$$

Identificación de severidad de incendios forestales en el Distrito de San Jerónimo

Durante el periodo comprendido por los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, se registraron 13 incendios; habiendo ocurrido 02 incendios en los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de manera respectiva, mientras que para el año 2020 se registró un incendio; finalmente, para el año 2021 se registraron 04 incendios.

En tal sentido, de los dos incendios acontecidos durante el año 2016, se evidenció que el primer incendio dejó presencia de cicatrices de primer orden, ya que la vegetación afectada presentó quemaduras de nivel bajo, toda vez que el rango de quemadura se ubicó dentro de +0.100 to +0.269, mientras que el segundo incendio generó afectación de rango +0,270-+0,439, demostrando que a partir del segundo incendio se presentaron cicatrices de severidad en grado moderado, dando como consecuencia una regeneración vegetal paulatina.

Respecto al año 2017, también se registraron dos incendios, el primer incendio presentó nivel bajo de severidad, ubicado dentro del rango +0.100 to +0.269, puesto que se registró señales de alta reavivación vegetal, además de áreas que no fueron afectadas por el fuego, lo que en adelante permitieron la recuperación de la biodiversidad de la zona; consecuentemente, la severidad detectada frente al segundo incendio correspondió al nivel moderado, ubicado dentro del rango de calcinación +0.270 to +0.439, que trajo como consecuencia el bajo rebrote de vegetación y en algunas zonas la mortalidad total del suelo.

En referencia al año 2018, el primer incendio fue registrado durante el primer trimestre del año en mención, presentando severidad de nivel moderado-bajo, respondiendo afectación dentro del rango 0.270 a +0.439, hallándose efectos de primer orden, puesto que se evidenciaron áreas de suelo en los que la regeneración vegetal y la hidro-geomorfología se vieron afectadas de manera superficial; mientras que a partir del segundo incendio, se demostró severidad de calcinación dentro del nivel moderado-alto respondiendo al rango +0.440 to +0.659, hallándose mortalidad vegetal, respondiendo a efectos de segundo orden, ya que la regeneración y recuperación de la flora y fauna se produjeron de manera lenta.

Para el año 2019, al igual que los años anteriores, se registraron dos incendios donde el primero presentó nivel de calcinación de nivel bajo cuyo rango se ubicó dentro del +0.100 a +0.269, ya que se registró rebrote vegetativo en tiempos cortos; por otro lado, el segundo incendio presentó nivel de severidad moderado-bajo, toda vez que después del incendio se presentaron consecuencias de primer orden, siendo uno de los más llamativos la pronta recuperación del ecosistema de las áreas afectadas. Mientras que, en el año 2020, se reportó un único incendio, que presentó bajo nivel calcinación, cuyo rango de severidad se ubicó dentro del +0.100 a +0.269, demostrando que los efectos causados en la zona de estudio por el incendio ocurrido, comprendieron al primer orden de calcinación, toda vez que se evidenció la pronta recuperación vegetativa

Finalmente, en el año 2021, se reportaron 04 incendios, donde el primer incendio fue reportado dentro del primer trimestre, dejando como consecuencia severidad de bajo nivel, con un equivalente de afectación ubicado dentro del rango de +0.100 a +0.269, hallándose alta regeneración vegetativa y efectos de orden primero; el segundo incendio se reportó a partir del segundo trimestre anual, los efectos, factores y características del incendio se ubicaron dentro del primer orden, conllevando el registro de severidad moderada-baja respondiendo su ubicación dentro del rango +0.270 to +0.439; mientras que en el tercer incendio se registró nivel moderado-alto dentro del rango de severidad +0.440 to +0.659, presentando daños dentro de un área extensa, con la muerte de la vegetación y presencia de cenizas. Finalmente, el cuarto incendio presentó calcinación de nivel alto, ya que los efectos ocasionados respondieron al segundo orden, además cabe mencionar que el periodo de ocurrencia fue entre los meses de setiembre y octubre, por lo que la recuperación de las áreas frente a los anteriores incendios fue corto, por lo que la combustión presentada fue alta, ya que la presencia de la vegetación seca permitió la propagación del fuego, apoyado de la presencia de vientos que dentro de la temporada se registran en la zona.

En adelante se presentan las imágenes de cicatrices generadas por los incendios acontecidos, resultados hallados a partir del programa ArcGis 10.8, mismos que se encuentran en orden ascendente, especificándose los niveles de severidad:

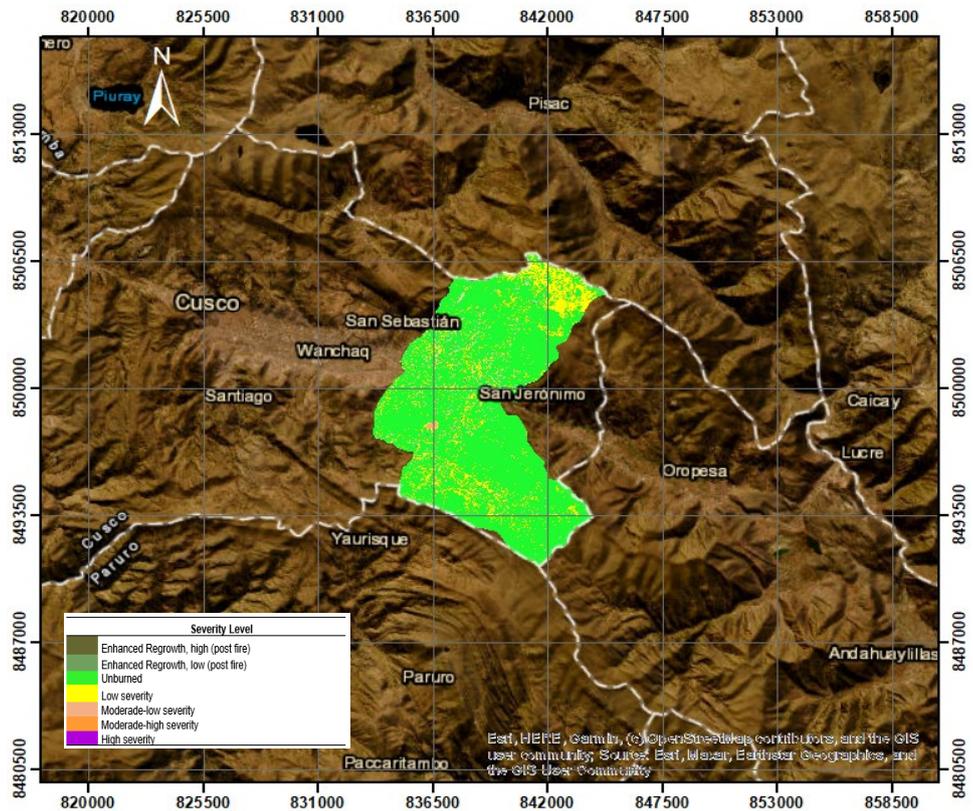


Figura 7. Primer incendio año 2016

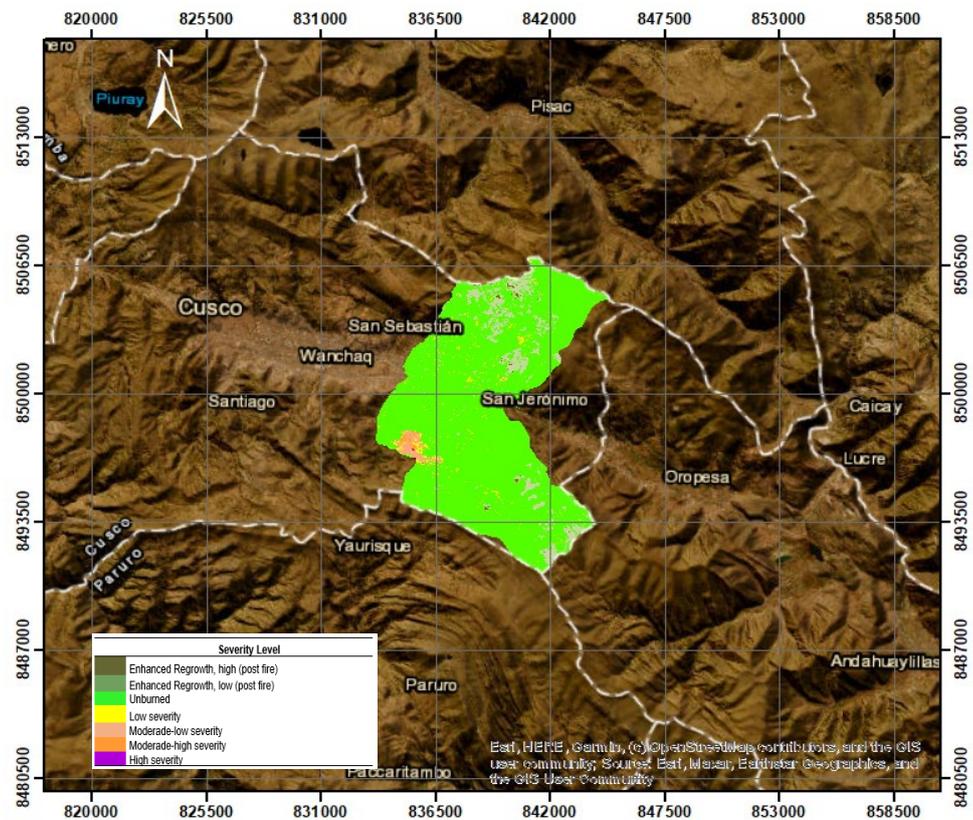


Figura 8. Segundo incendio año 2016

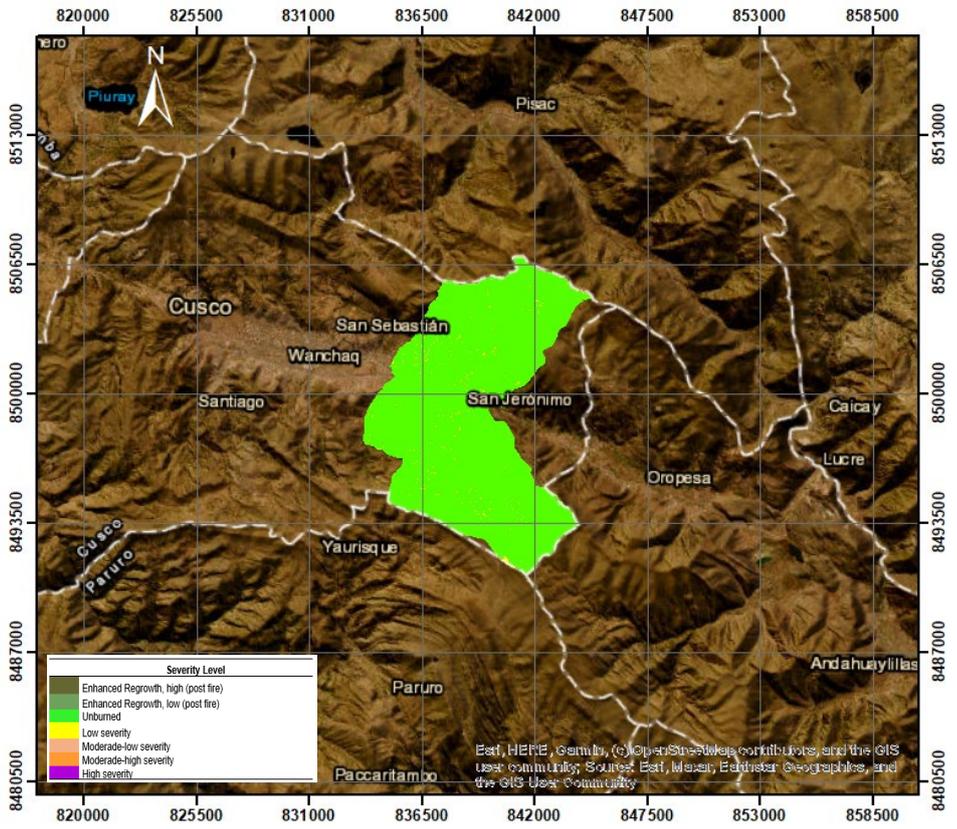


Figura 9. Primer incendio año 2017

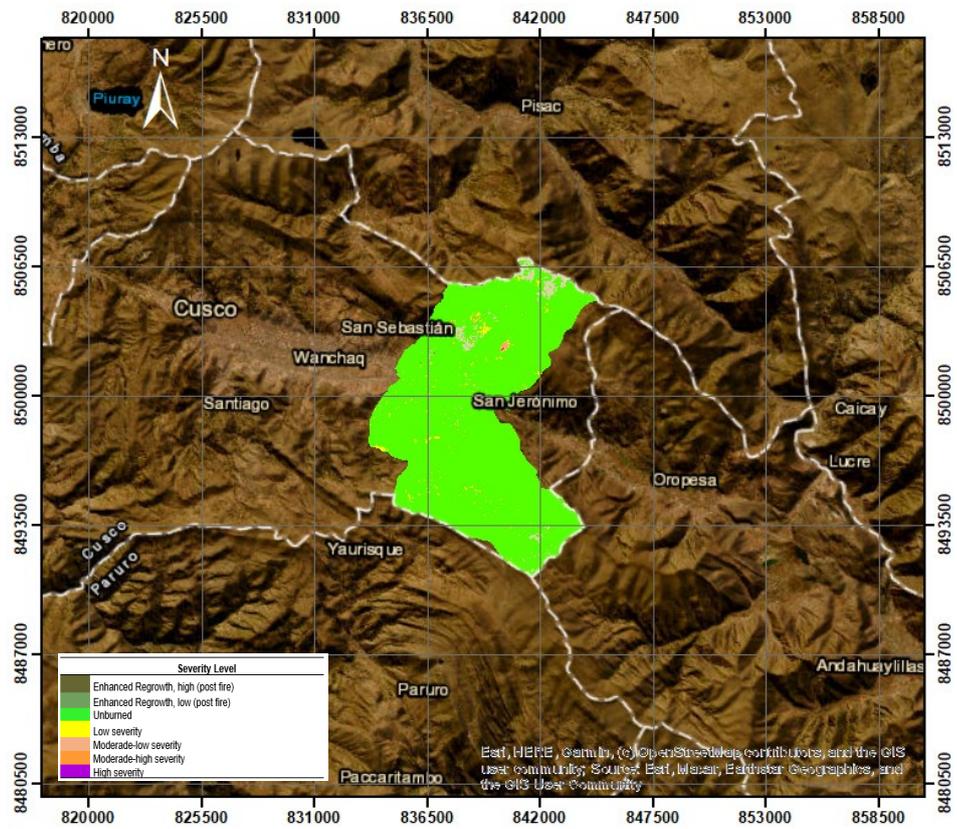


Figura 10. Segundo incendio año 2017

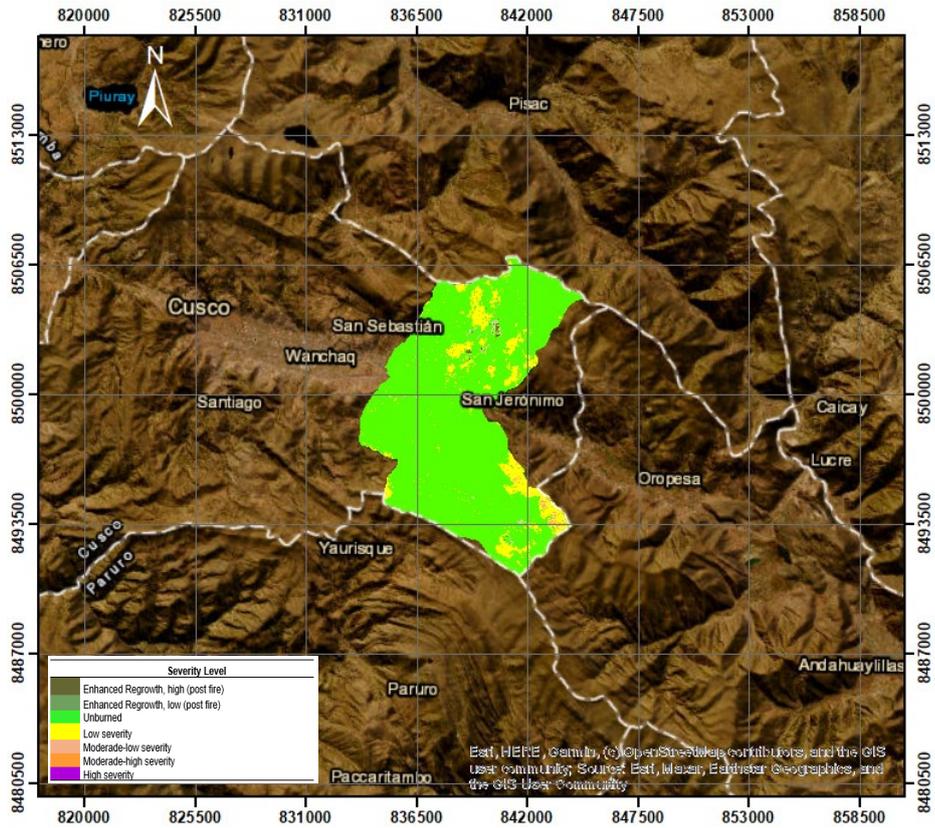


Figura 11. Primer incendio año 2018

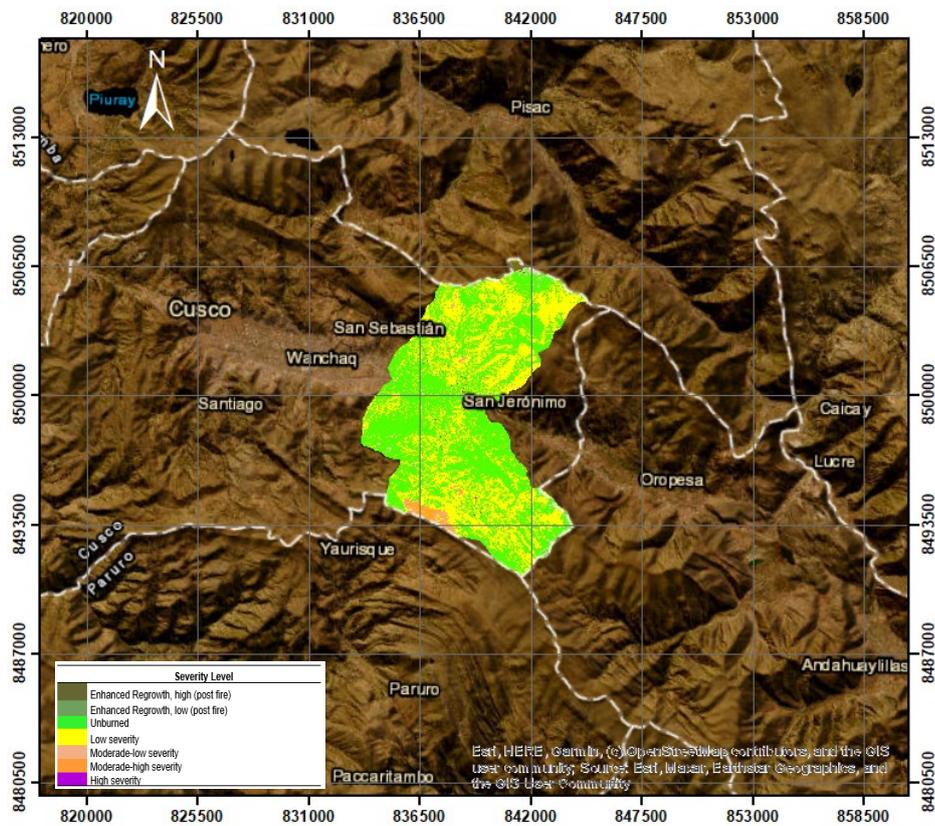


Figura 12. Segundo incendio año 2018

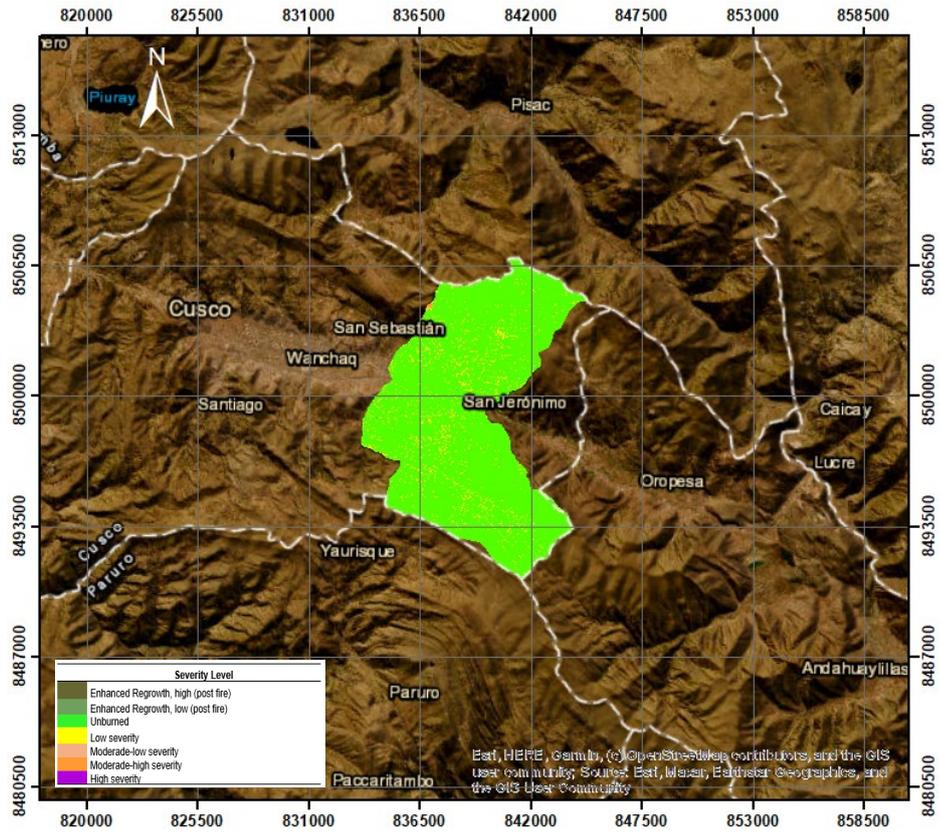


Figura 13. Primer incendio año 2019

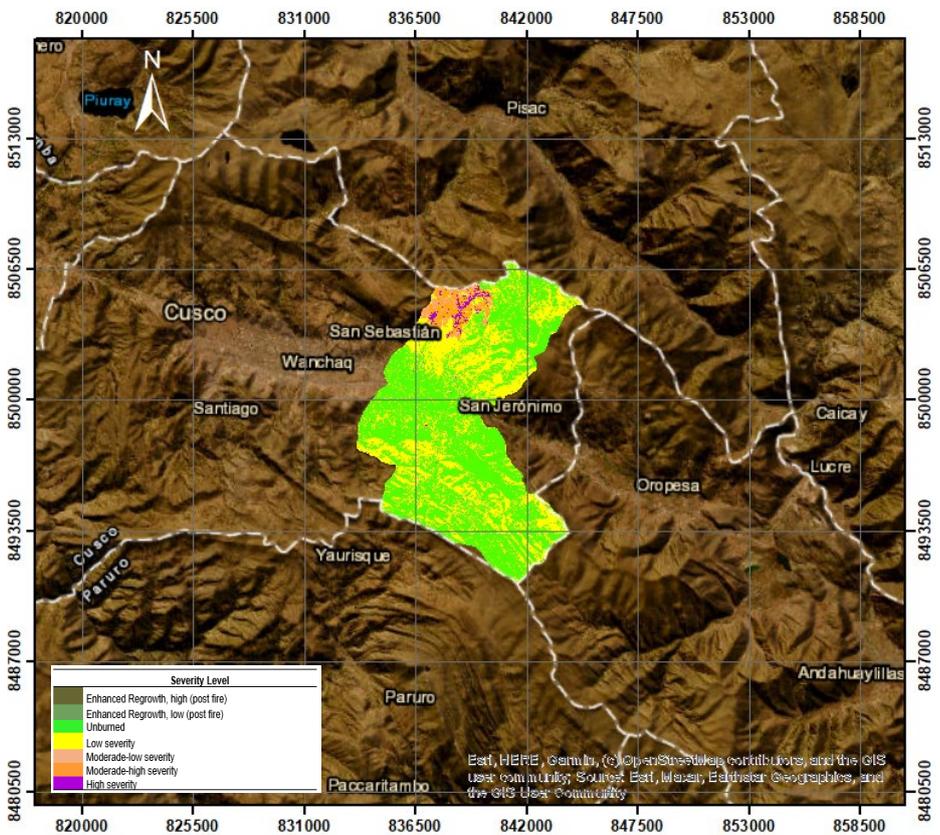


Figura 14. Segundo incendio año 2019

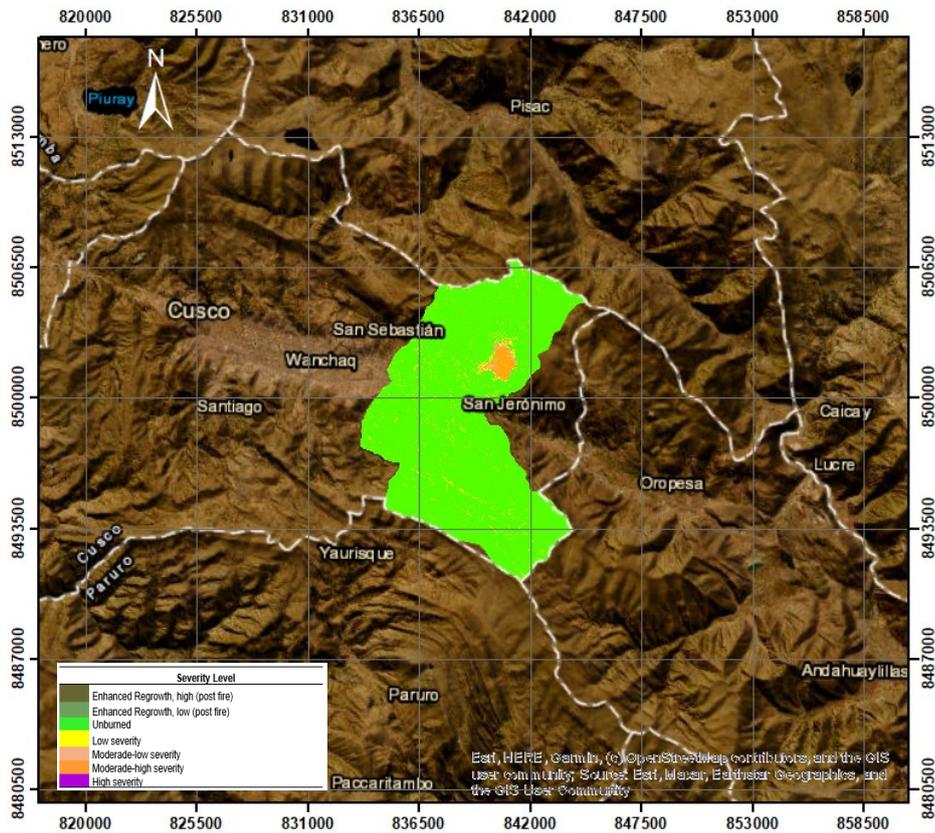


Figura 15. Primer y único incendio del año 2020

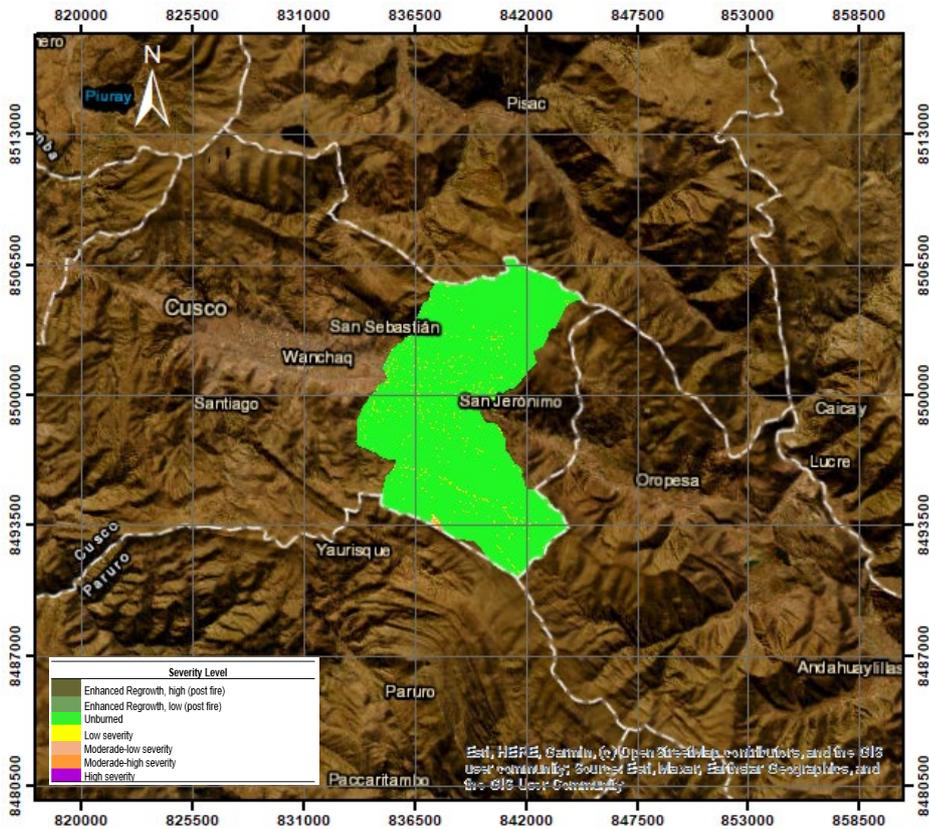


Figura 16. Primer incendio año 2021

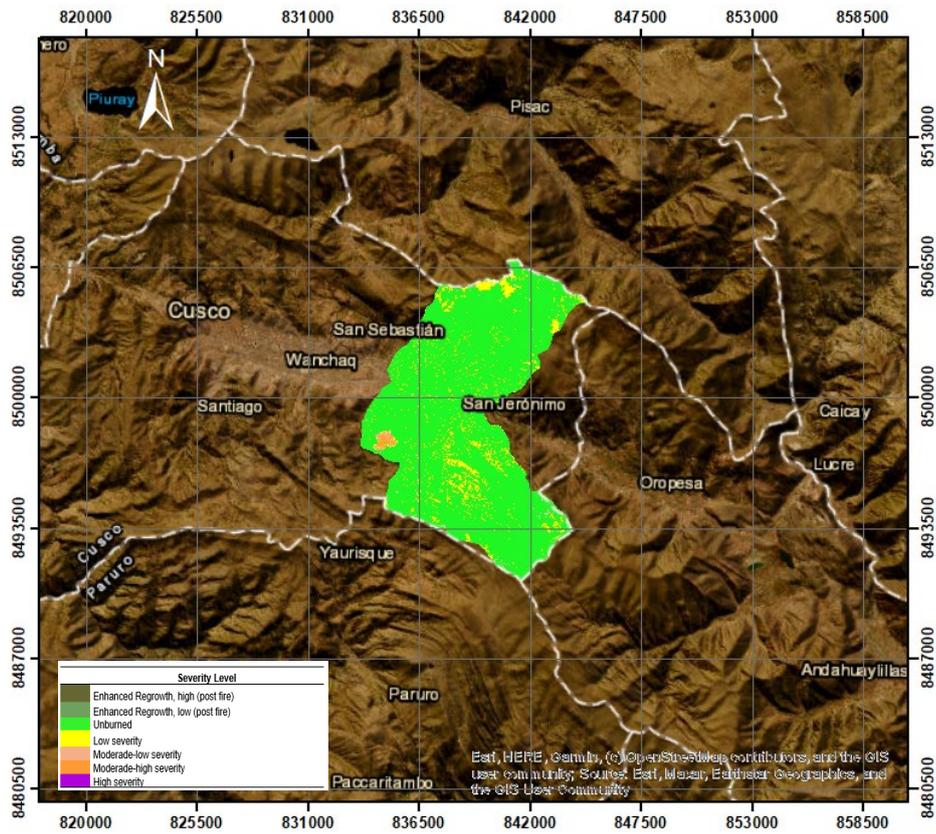


Figura 17. Segundo incendio año 2021

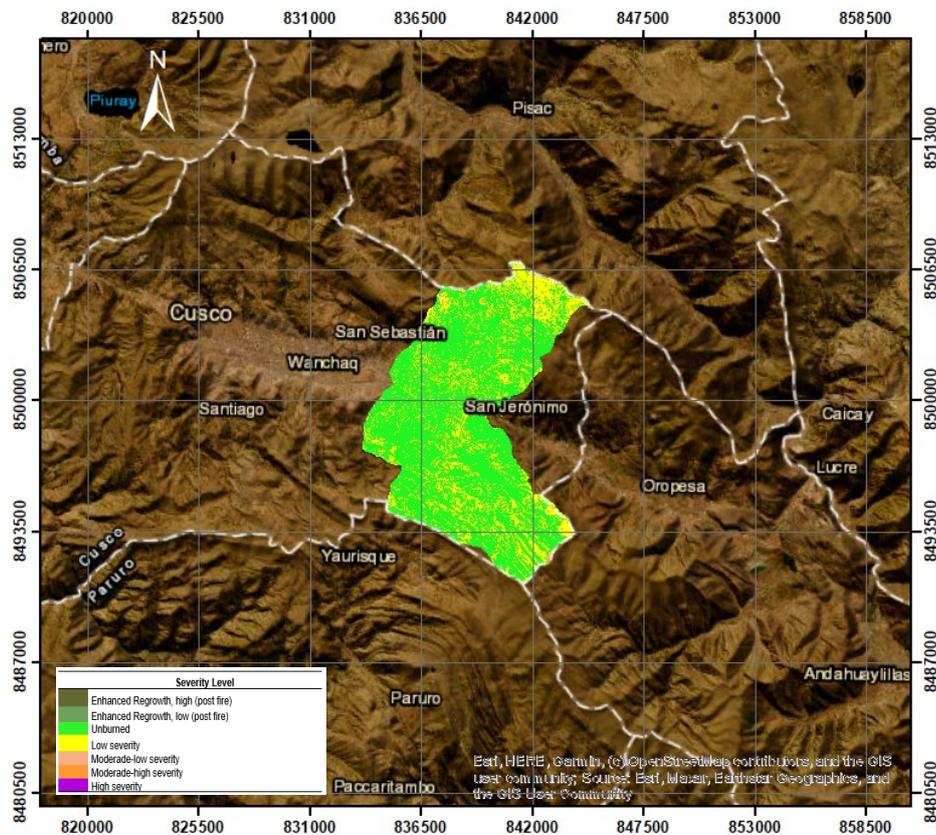


Figura 18. Tercer incendio año 2021

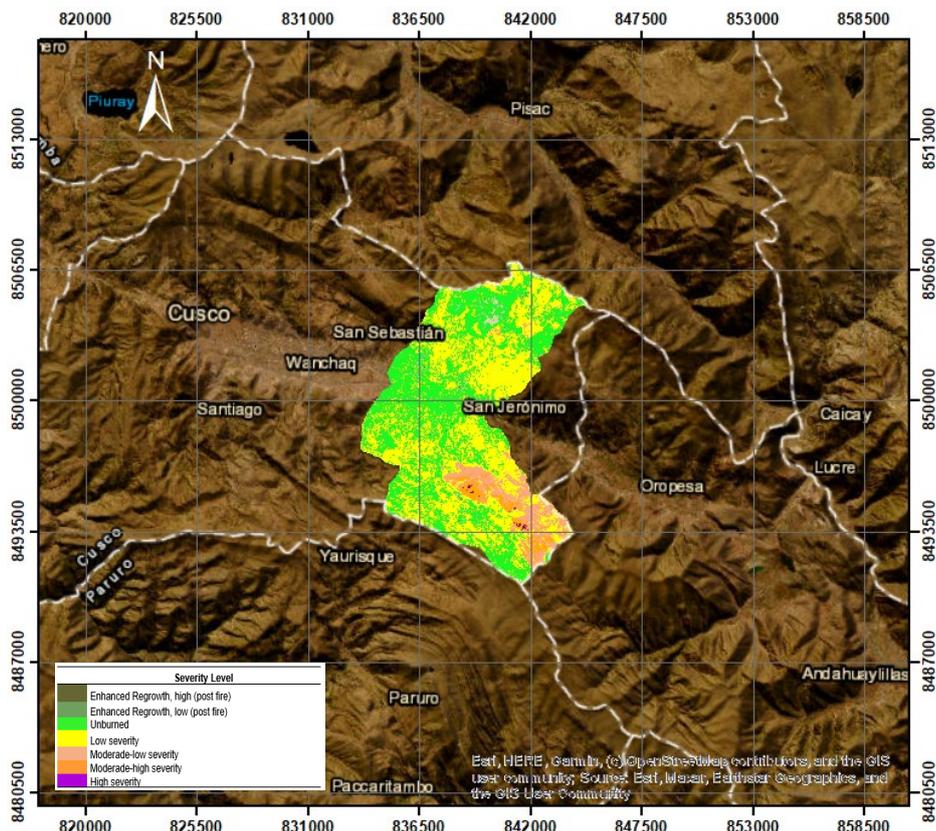


Figura 19. Cuarto incendio del año 2021

Resultados ante los objetivos específicos

Primer objetivo específico: Determinar el área afectada por la ocurrencia de incendios forestales el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021.

En respuesta al objetivo específico 1, se presentan gráficos de barras que demuestran la extensión de hectáreas afectadas en cada incendio ocurrido durante el periodo establecido para la investigación, encontrándose que el año de mayor afectación fue el 2021, puesto que la ocurrencia fue por cada trimestre, alcanzando a calcinar mayor área.

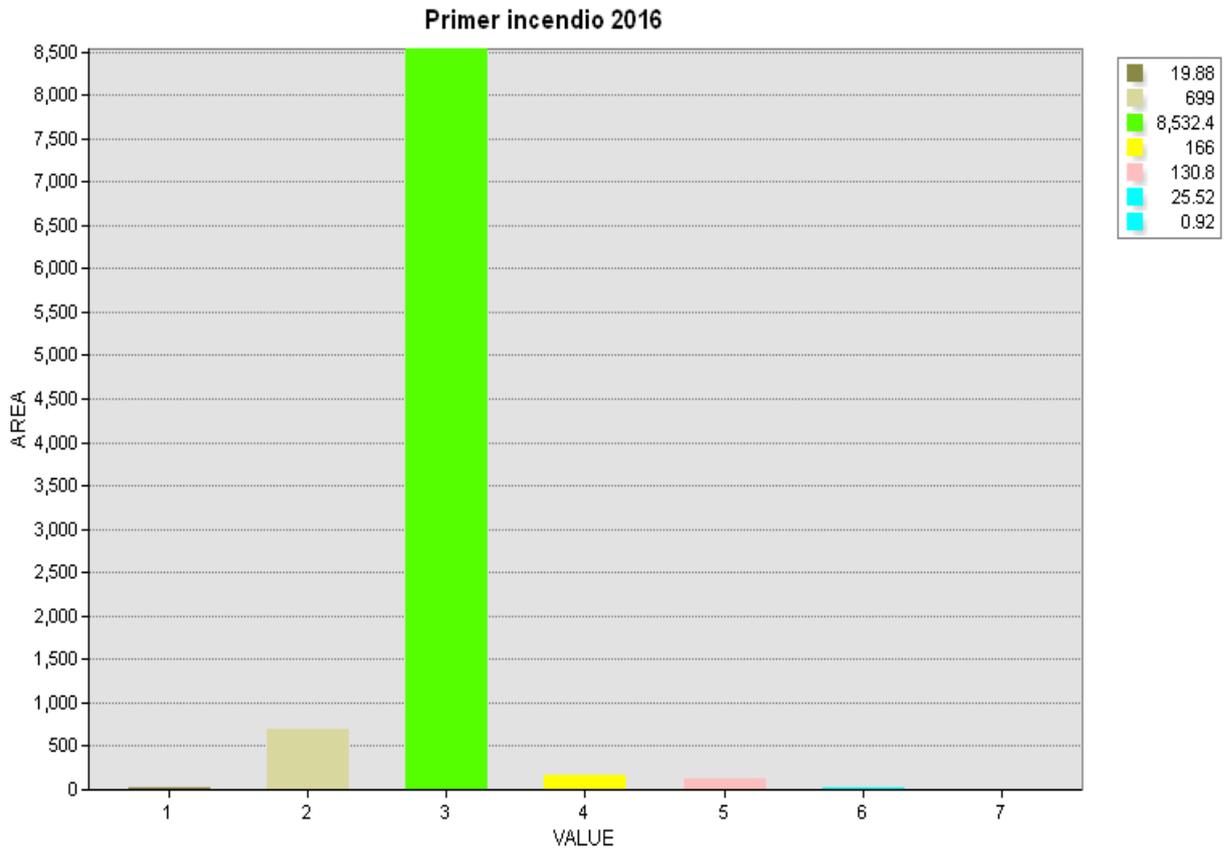


Figura 20. Primer incendio año 2016

A partir de la presente figura, se muestra que la extensión del área en el cual se registró el primer incendio durante el 2016 fue de 9,665.6 hectáreas, de las cuales 8,532.4 hectáreas fueron áreas no afectadas por el fuego, mientras que 699 hectáreas tuvieron afectación baja, ya que presentaron rebrote de vegetación, por el contrario, 166 hectáreas presentaron afectación de gravedad moderada-baja, al presentar efectos de primer orden y bajo nivel de recuperación vegetal, diferenciándose de las 130.8 hectáreas que presentaron gravedad moderada-alta, en las que se hallaron presencia de cenizas y fauna altamente calcinada, mientras que en 25.52 hectáreas se registraron gravedad alta al presentar mayor mortandad de fauna cuya recuperación se proyectó en al menos 3 años; en 19.88 hectáreas se presentó bajo nivel de rebrote vegetativo a diferencia total de los 92 km que fueron afectados de manera muy alta.

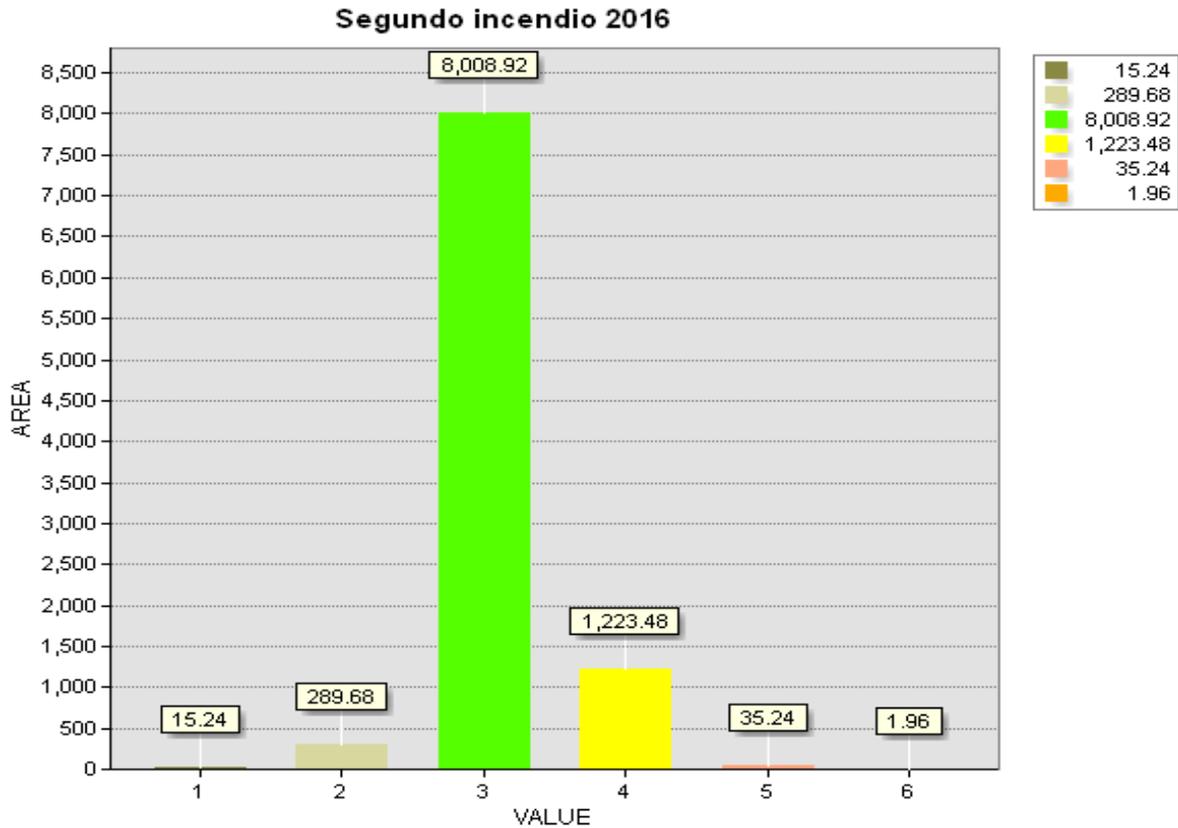


Figura 21. Segundo incendio año 2016

A partir de la figura mostrada, se logra poner en evidencia que existe una cantidad de 8,008.92 hectáreas que no presentaron efectos desfavorables a partir del incendio; sin embargo, 1,223.48 hectáreas, presentaron baja gravedad de calcinación, mientras que 269.68 ha presentaron rebrote vegetal en un nivel bajo, diferenciándose de manera notoria a las 35.24 que tuvieron afectación moderada, muy diferente de 15.24 ha que sí presentaron reavivación vegetal alta, mientras que 1.96 ha tuvieron alto grado de gravedad.

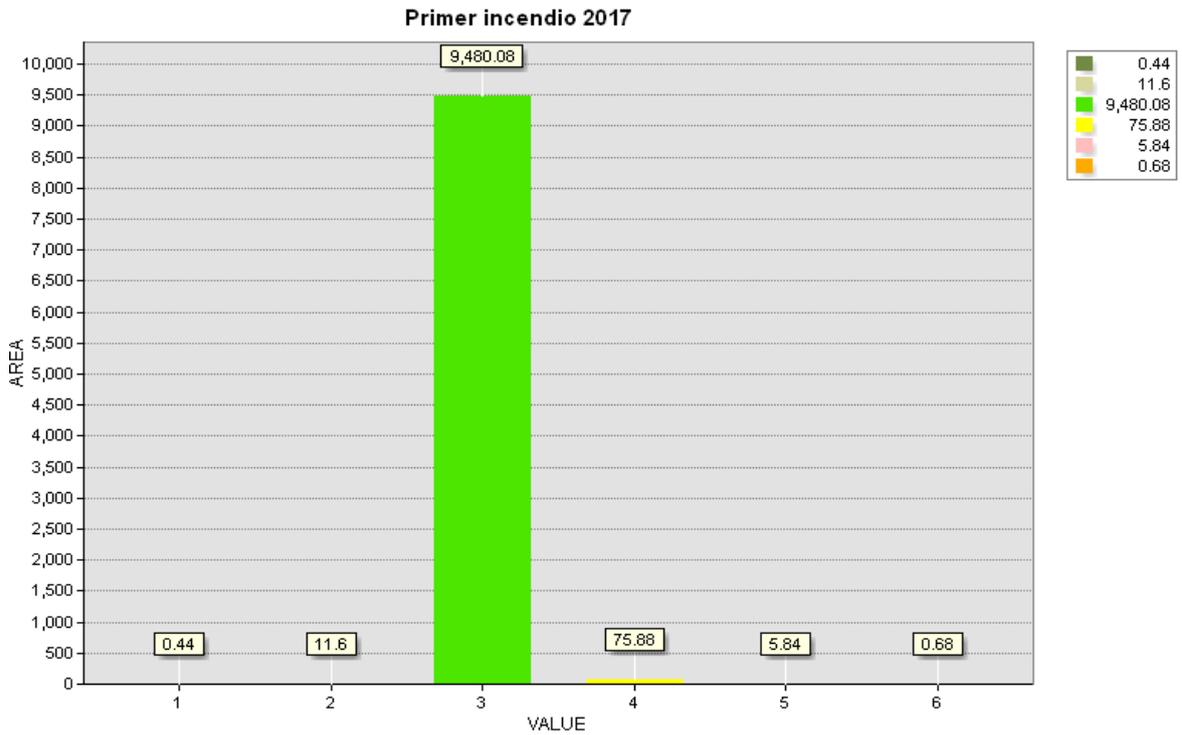


Figura 22. Primer incendio del año 2017

A partir de la figura 22, se logra observar que el incendio registrado durante el primer semestre del año 2017 tuvo efectos de primer orden, toda vez que presentó un total de 9,480.08 hectáreas que pese al incendio, presentó alta reactivación vegetal, señal de áreas de bajo nivel de calcinación que permitieron la regeneración de la biodiversidad en la zona; sin embargo, presentó severidad baja en un total de 75.88 hectáreas, mientras que en 11.6 hectáreas en la zona norte del distrito se evidenció bajo rebrote de la vegetación, demostrando que en la zona la severidad del incendio fue superior a diferencia de la mayor proporción u extensión, en la misma línea de afectación, se encontraron 5.84 hectáreas con un nivel de gravedad moderada y 0.68 con gravedad media.

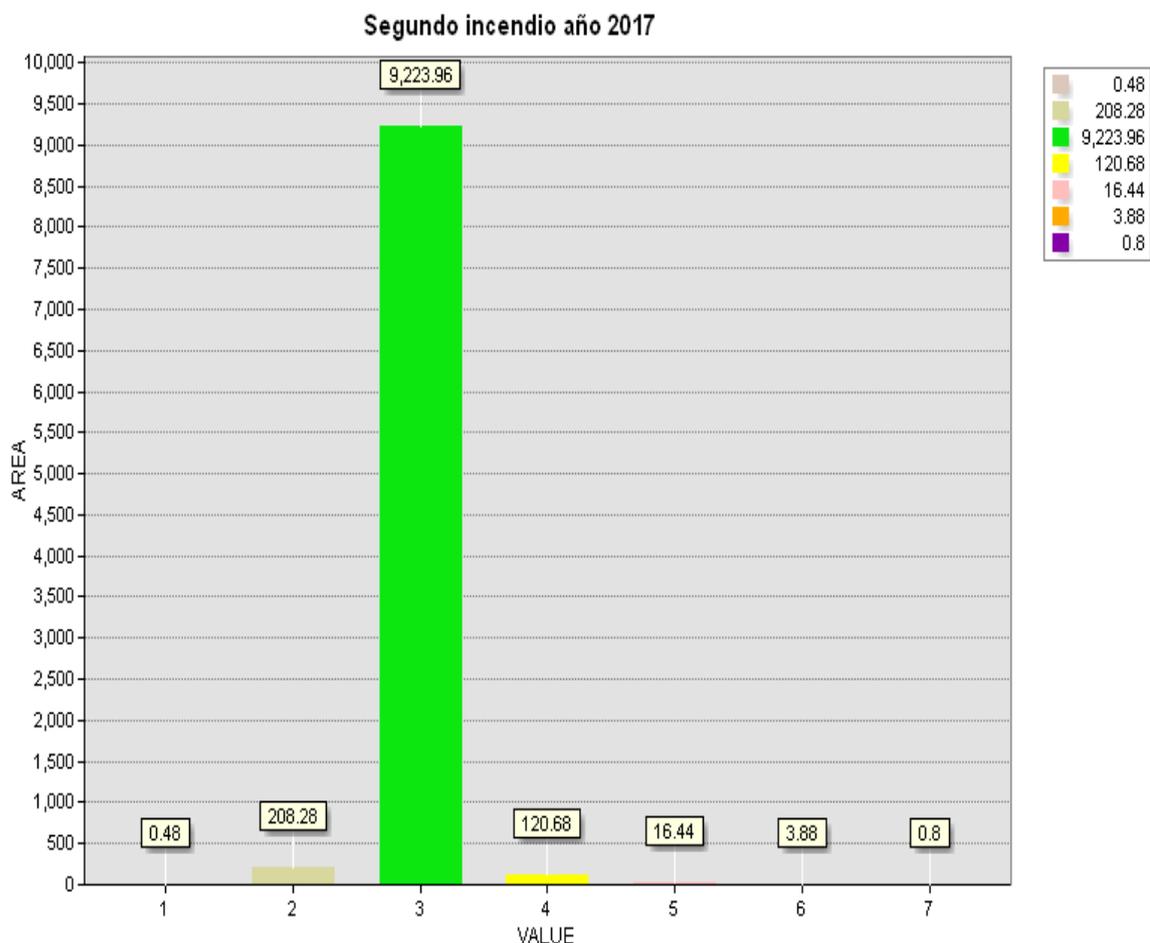


Figura 23. Segundo incendio año 2017

En la figura 23, se observa que para el segundo semestre del 2017 el incendio registrado tuvo mayor incidencia en 120.68 hectáreas del distrito, causando severidad de gravedad baja, además causó gravedad moderada en 16.44 hectáreas, mientras que en 3.88 y 0.8 hectáreas causó gravedad media y alta de manera respectiva; por otro lado, se contó con 9,223.96 de área sin quemar, en 206.20 hectáreas con bajo rebrote de vegetación y en 0.48 del área se registró alto rebrote de vegetación.

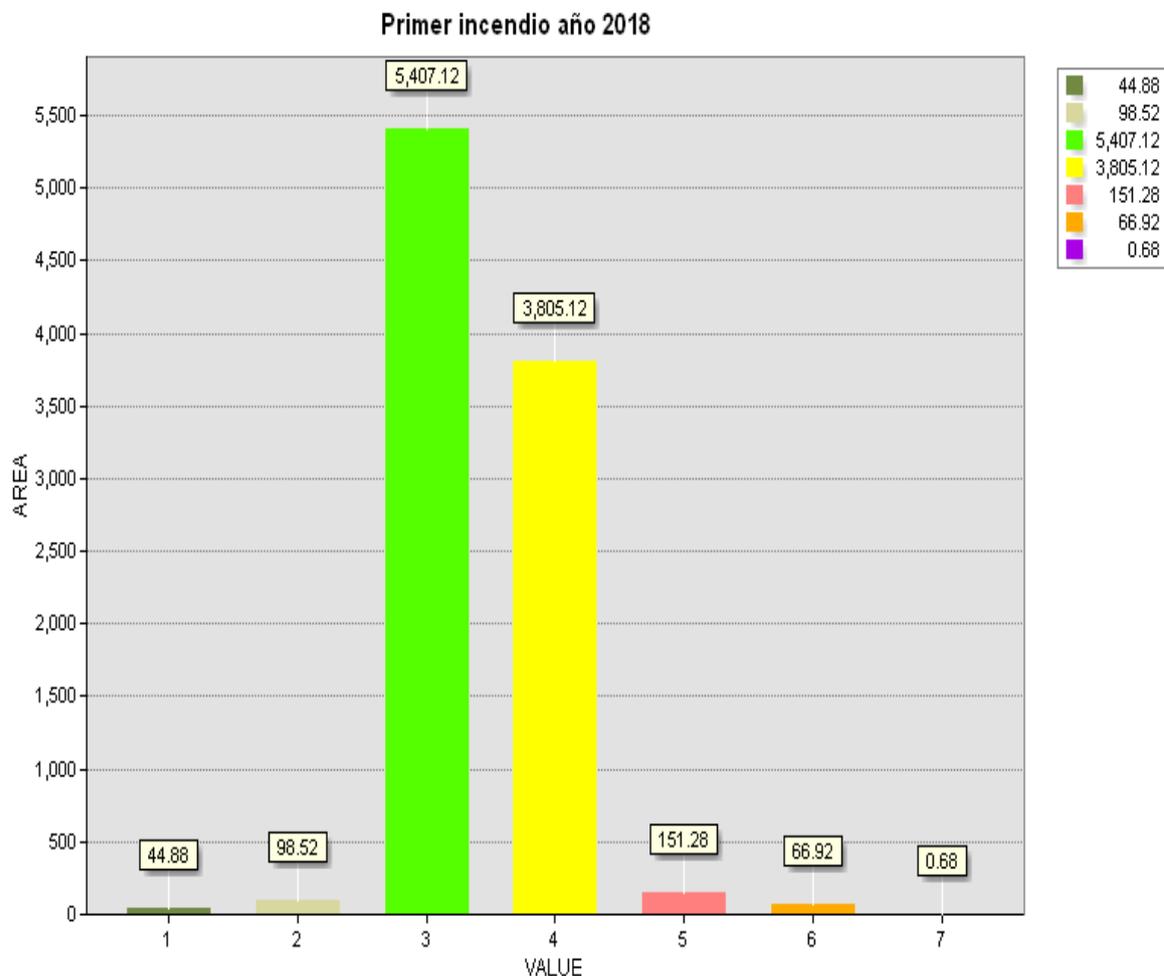


Figura 24. Primer incendio año 2018

A partir de la figura 24 se logra evidenciar que el primer semestre del año 2018 se presentó un incendio que generó gravedad baja en 3,805.12 hectáreas, gravedad moderada, media y alta en 151.28, 66.92 y 0.68 hectáreas, de manera respectiva, por otro lado, se registró a 5,407.12 hectáreas sin quemar, 98.52 con rebrote bajo de vegetación y 44.86 con rebrote alto.

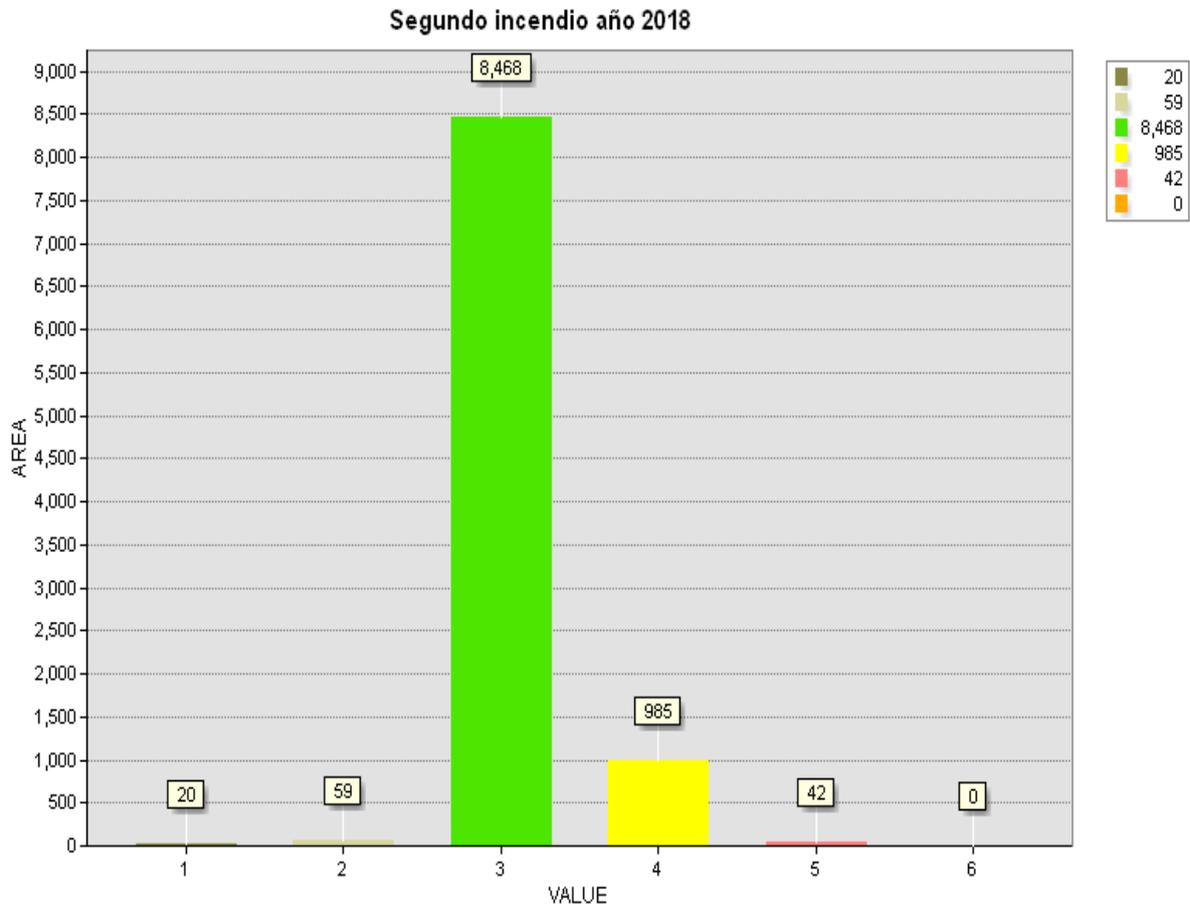


Figura 25. Segundo incendio año 2018

En la figura, se muestran los niveles de afectación del incendio ocurrido a partir del segundo semestre del año 2018, en el cual se observa que 985 hectáreas se presentó severidad baja de calcinación, 42 hectáreas de gravedad moderada, lo cual causó la dificultad de regeneración vegetal en las áreas afectadas, sin embargo, la envergadura del incendio no afectó a 8,468 de hectáreas, puesto que fueron áreas sin quemar, mientras que en 59 y 20 hectáreas se presentaron regeneración vegetal de manera alta y baja respectivamente.

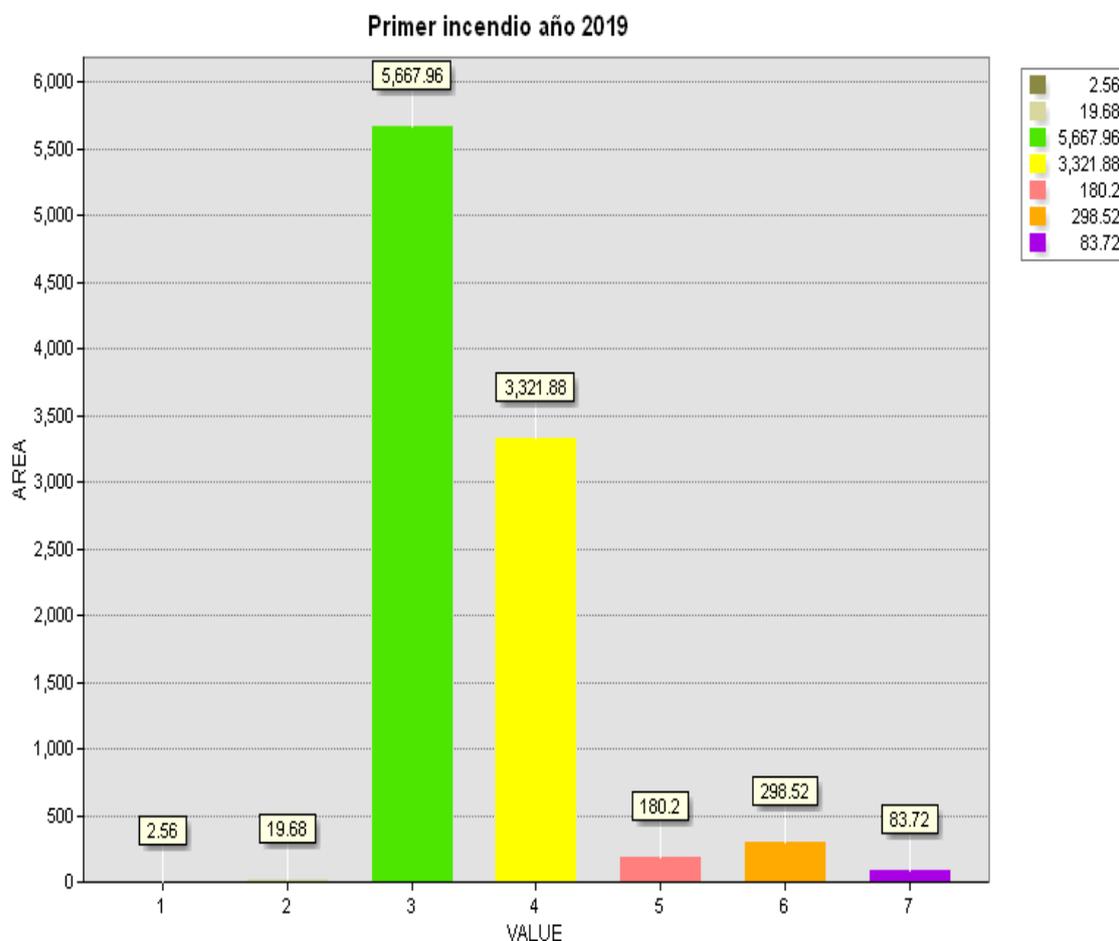


Figura 26. Primer incendio año 2019

La figura 26 presenta resultados frente al primer incendio acontecido en el año 2019, en el cual se presentó severidad baja de calcinación en 3,32.88 hectáreas del distrito de San Jerónimo, gravedad moderada en 180.2 hectáreas, gravedad media-alta en 298.52 y en 83.72 de gravedad alta; datos que ponen el estado de severidad dentro del nivel moderado, toda vez que se evidenció 5,667.96 hectáreas sin quemar, área de 19.68 hectáreas con bajo rebrote vegetativo y 2.56 de alto grado de regeneración vegetal. Los datos reflejan nivel moderado de severidad, bajo efectos de primer orden.

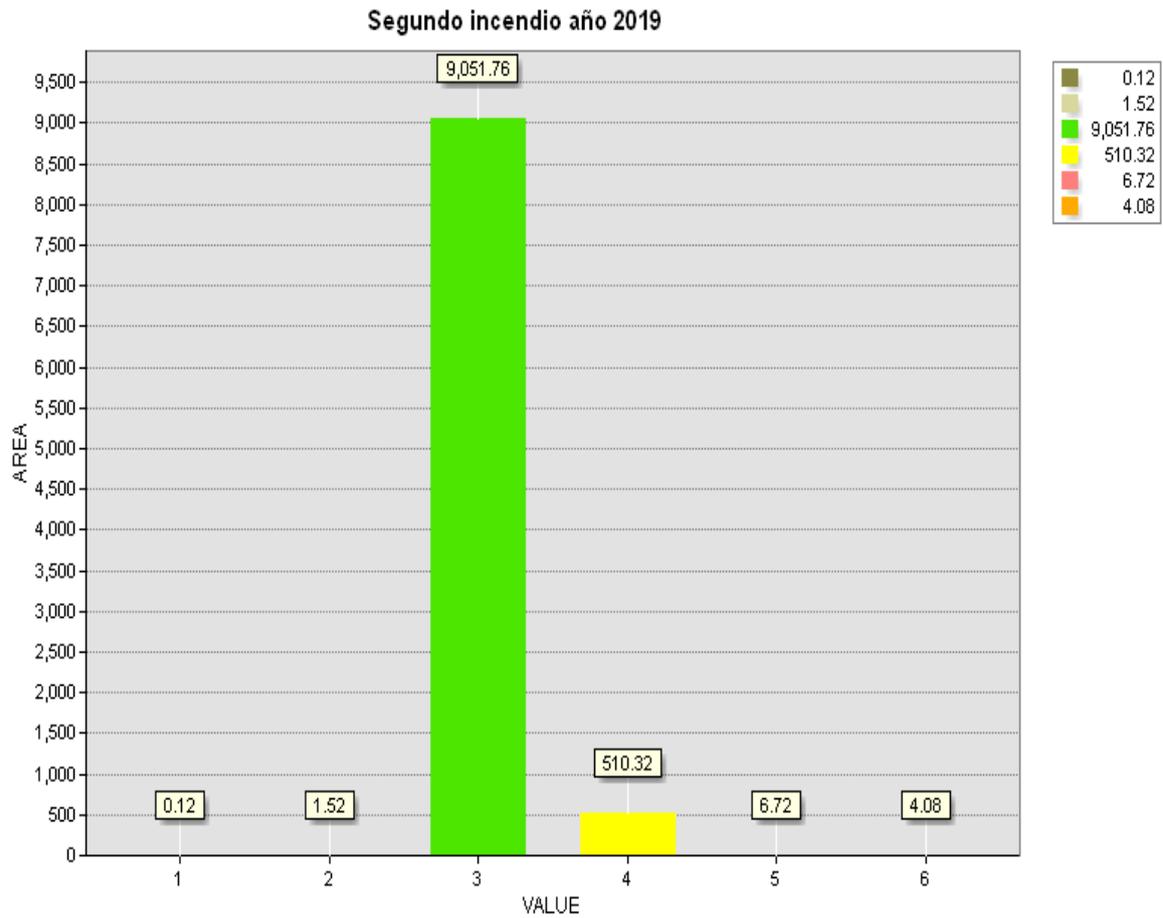


Figura 27. Segundo incendio año 2019

La figura 14, muestra los resultados ante el incendio ocurrido en el segundo periodo del 2019, en el cual 510.32 ha fueron afectadas de manera baja ya que, la severidad del fuego se presentó en nivel bajo, sin embargo, también se evidenciaron cicatrices con severidad moderada y media en 6.72 y 4.08 respectivamente. Por otro lado, se evidenció un área de 9,051.76 ha sin quemar; 1.52 ha con un comportamiento de regeneración vegetativa bajo, mientras que 0.12 con alto rebrote vegetal.

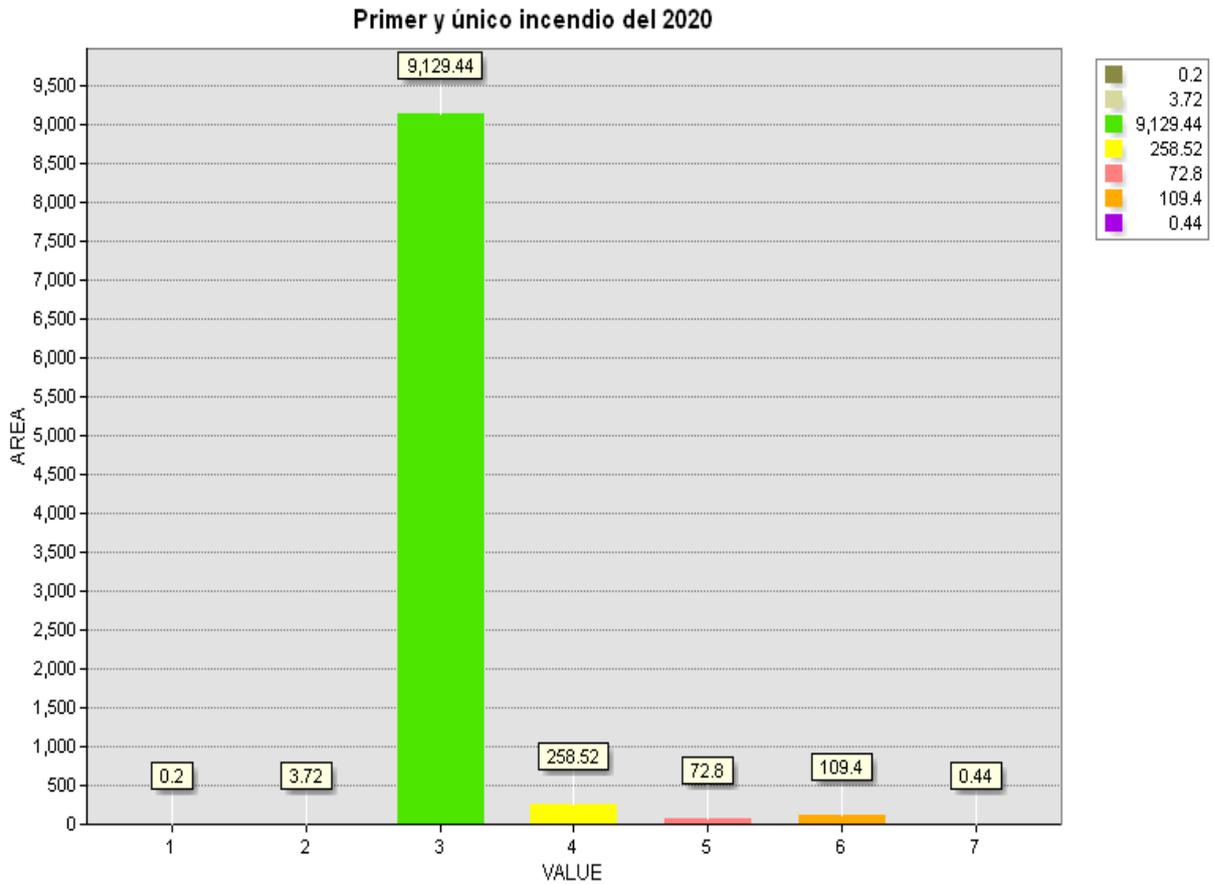


Figura 28. Primer y único incendio del año 2020

Mediante la figura 15 se muestran los resultados del análisis de severidad ante el incendio forestal acontecido en el año 2020, hallando presencia de cicatriz de gravedad baja en 258.52 hectáreas, además de 109.4 hectáreas afectadas de manera media alta, 72.8 de gravedad moderada y 0.44 con gravedad alta, así mismo, se determinó que el área sin quemar fue de 9,129.44 hectáreas, mientras que la regeneración vegetal en 3.72 y 0.2 hectáreas se presentaron de manera alta y baja respectivamente.

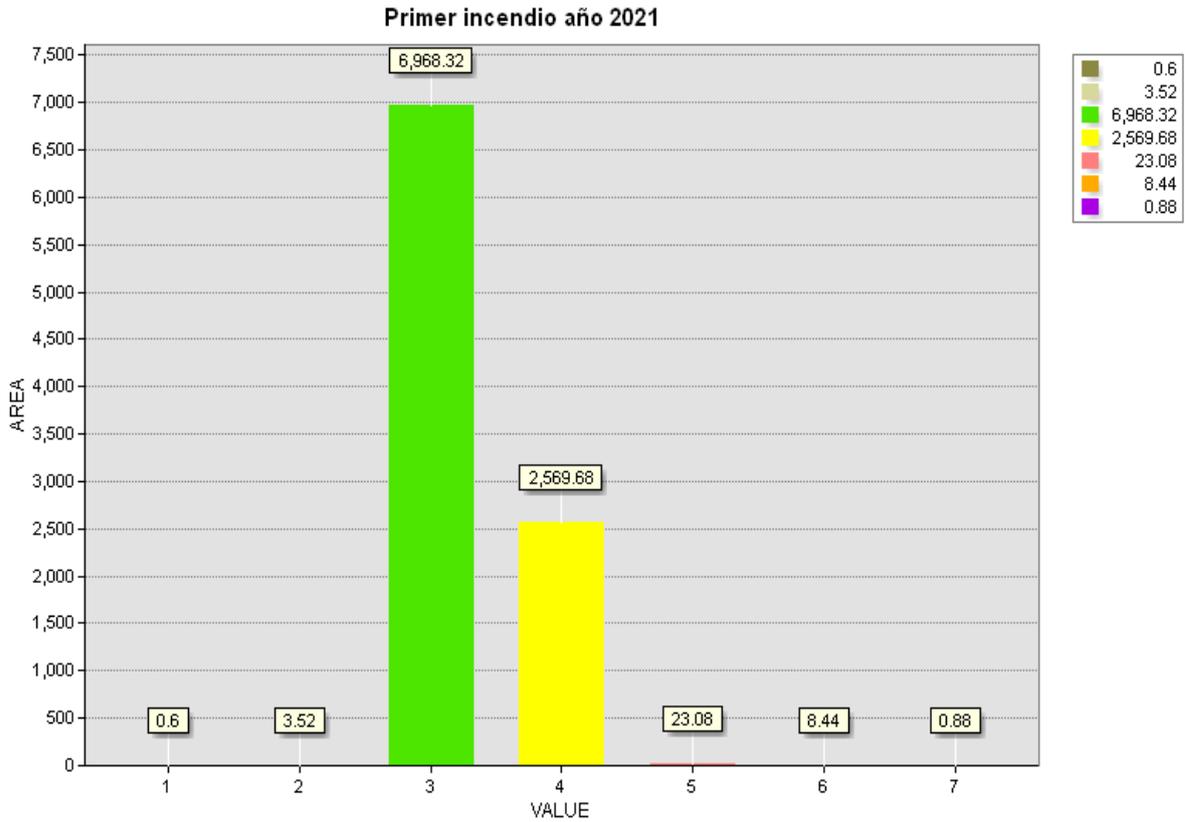


Figura 29. Primer incendio del año 2021

En la figura 29 se muestra que durante el 2021 entre los meses de junio y julio se produjo el primer incendio dentro del distrito, dejando como consecuencia un nivel de severidad bajo ante la calcinación de área forestal, afectándose de este modo a 2,569.68 ha; mientras que 23.06 ha fueron afectados de manera moderada, 8.44 en nivel medio alto y 0.88 en alto nivel de gravedad, de manera contraria, se halló que 6,968.32 ha no fueron afectadas, puesto que dentro de esta área no se registraron daños de calcinación y en 3.52, 0.6 presentaron niveles de regeneración vegetativa alta y baja, según corresponde.

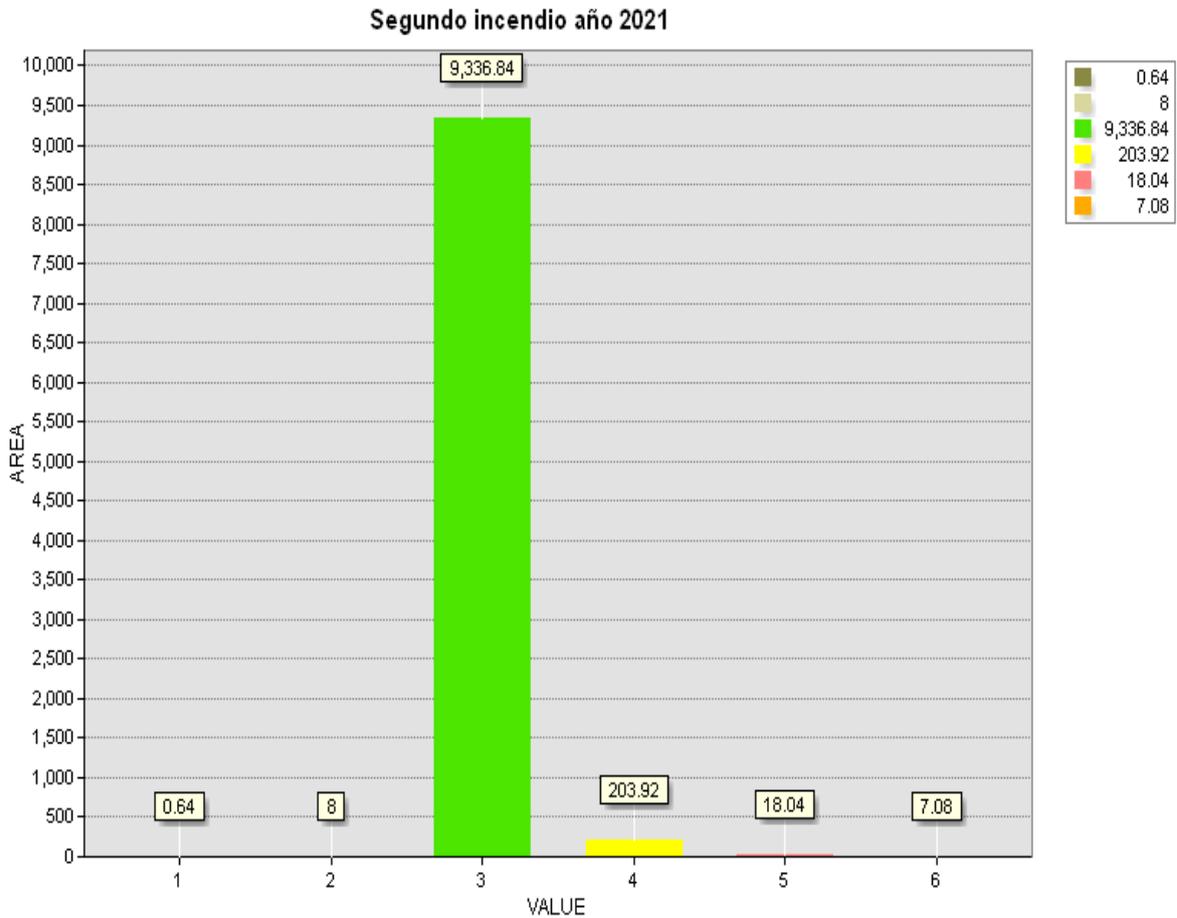


Figura 30. Segundo incendio del año 2021

En la figura anterior, se logra poner en evidencia que, ante el segundo incendio acontecido en la segunda semana del mes de julio, que como consecuencia dejó 203.92 hectáreas del área total con nivel de severidad de calcinación bajo, 18.04 hectáreas con gravedad moderada y 7.06 con severidad media-alta, mientras que las áreas que no presentaron quemaduras datan de un total de 9,336.64 hectáreas, así como 8 y 0.64 que poseían características de regeneración vegetal bajo y alto.

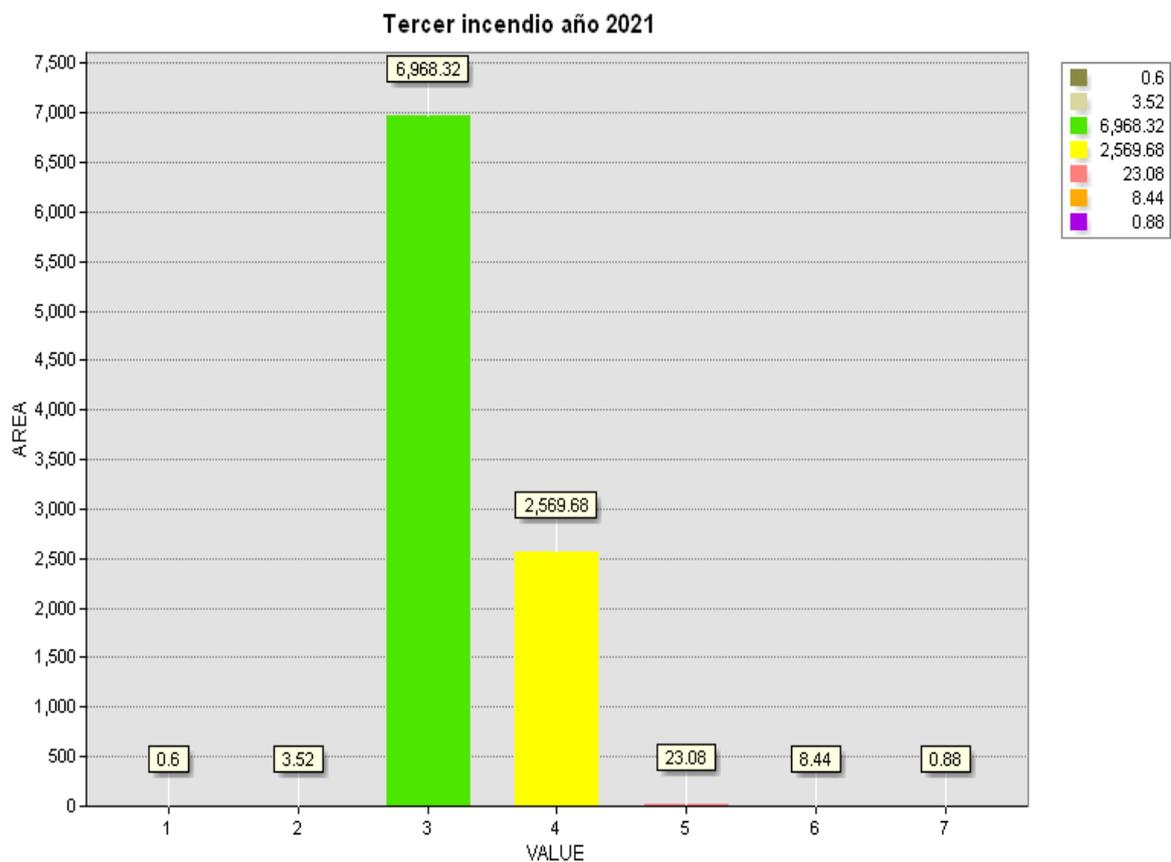


Figura 31. Tercer incendio del año 2021

A partir de la figura anterior, se demuestra que el nivel de calcinación encontrado a partir del análisis respectivo al tercer incendio acontecido por los meses de julio y agosto demostró severidad moderada, toda vez que se halló un área de 2,569.68 cuya cicatriz presentó gravedad baja, 23.08 ha de gravedad moderada y 8.44, 0.89 ha con niveles medio alta y alta, además presentó un área de 6,9683.2 ha sin afectación, mientras que 3.52 y 0.6 ha son áreas de regeneración vegetal bajo y alto.

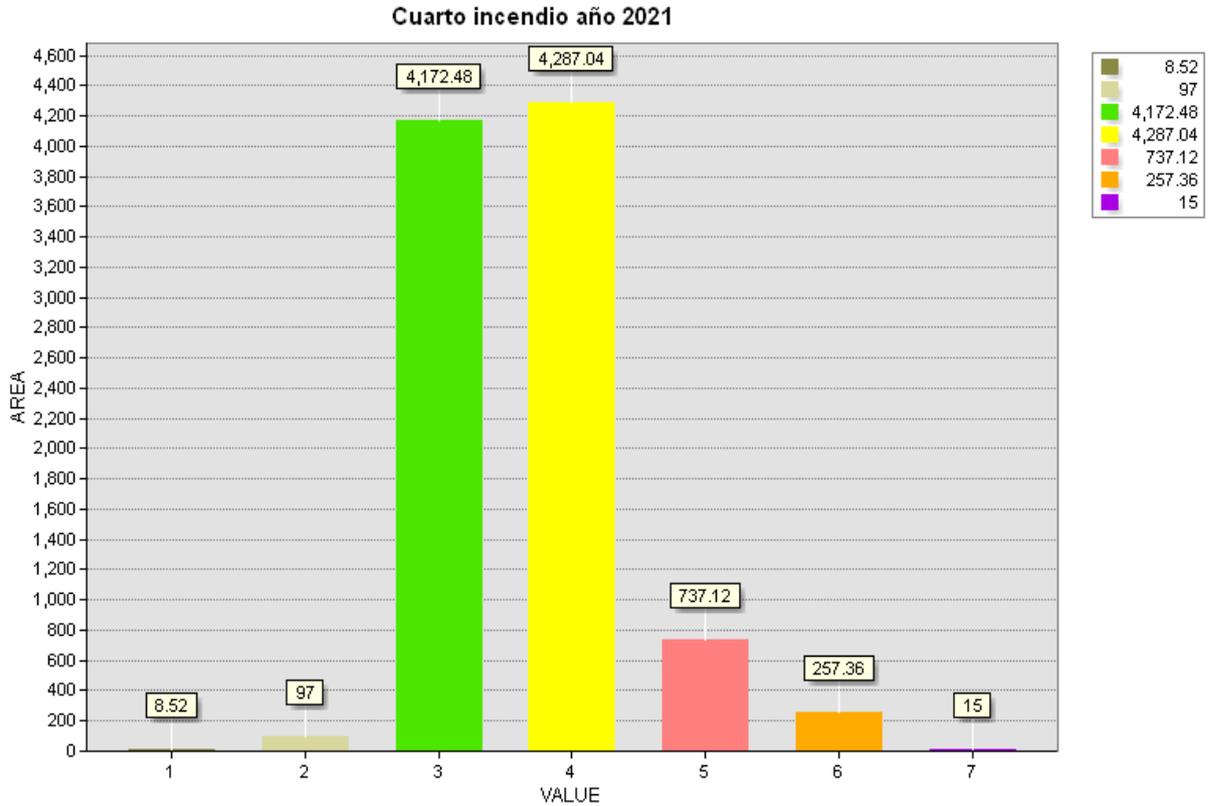


Figura 32. Cuarto incendio del año 2021

La figura 32, brinda resultados del análisis al cuarto incendio acontecido en el año 2021 con periodo de ocurrencia entre setiembre y octubre, donde se encontró que 4,287.04 ha registraron gravedad baja de calcinación, 737.12 ha de nivel moderado, 257.36 ha con severidad media-alta, 15 ha de gravedad alta, mientras que 4,172.48 ha no registraron daños de quemadura y 97 ha presentaron bajo grado de vegetación y 5.52 ha con alto grado de regeneración vegetativa.

Segundo objetivo específico: Determinar los indicadores de riesgo de ocurrencia de incendios forestales y su severidad en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021.

Las principales causas de ocurrencia, se encuentran encabezados por los factores antrópicos, seguido de los factores ambientales, entendiendo que en lugares de manejo agrícola dentro del distrito, los factores de riesgo son principalmente representados por la intervención humana, entendiendo que los residentes y pobladores de la zona practican la quema de arbustos y pastizales con la intención de limpiar sus áreas de sembrío de los desechos de cosechas anteriores, que en ocasiones simbolizan un ritual de agradecimiento para provocar las lluvias; sin embargo, estos ecosistemas andinos, al presentar vegetación que favorece la propagación inmediata del fuego, ante el mínimo descuido, terminan generando incendios de envergadura catastrófica, ocasionando la pérdida total o parcial de cobertura vegetal, además de ello, se suma la existencia factores ambientales que, gracias a la presencia de plantas como el Eucalipto y Pino, que son especies que poseen aceites de alta volatilidad, favorecen a la extensión del fuego, apoyado por la velocidad del viento en la zona, que oscila de 10 a 200 metros sobre la superficie, en tanto dentro del distrito existen zonas con mayor concentración de velocidad, otro de los indicadores de riesgo para la ocurrencia de incendios, comprende a los atributos climáticos, ya que aquellas zonas que se encuentran expuestas a la radiación solar por su posición perpendicular a los rayos solares apoyados por la latitud, generan la pérdida de humedad de la tierra cuando sequedad de la vegetación, que emanan combustibles de alta volatilidad.

Tercer objetivo específico: Analizar la predicción de ocurrencia de incendios forestales en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021.

Respecto al presente objetivo, se predice la ocurrencia de los incendios a partir del tamaño, intensidad y duración de los incendios presentados, toda vez que cuanto mayor sea la envergadura e intensidad del incendio, se corre el riesgo de una reavivación del fuego durante las primeras horas post incendio; en tanto, el distrito, presenta zonas de alta susceptibilidad que a su vez, exponen elementos de alto riesgo, entendiéndose que existen elementos naturales de exposición, según el

reporte brindado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2021).

V. DISCUSIÓN

La severidad de incendios forestales es definido como la pérdida y degradación de un territorio o espacio de materia orgánica, que son medidos de acuerdo a la intensidad y daño producido; asimismo, el incendio forestal es considerado uno de los fenómenos globales que causan destrucción al medio ambiente que naturalmente son ocasionados por efectos ambientales o acción física y humana (Úbeda y Francos, 2018). Para el objetivo general halló que la severidad de los incendios, obtenido a partir del análisis del satélite Sentinel 2 y mediante la fórmula del Índice Normalizado de área quemada-NBR que, de los 13 incendios ocurridos durante el periodo 2016-2021, los niveles de mayor calcinación se ubicaron durante el 2021, ya que por la frecuencia de ocurrencia de los incendios, la recuperación vegetativa de las áreas se vio afectada, presentando mortandad total de la vegetación y demás efectos de segundo orden, que a la fecha se estima que la recuperación del ecosistema natural de las áreas de moderada afectación comprende de al menos un periodo de 5 años. En cambio, Panimboza (2021), en su trabajo de investigación, obtuvo los resultados del cantón Quilanga, mediante un satélite donde el 49.02% de su territorio representado por 3059.851 ha presentaron una severidad alta, en cambio, en el volcán de Casitagua se registraron que el 74.63% de su territorio tiene un nivel alto de área afectada que está comprendida por 225.46 hectáreas. Por otra parte, Cabezas (2020), en su estudio realizado en el Parque Nacional Sierra la Macarena durante el 2018, se registraron que el 75% de las zonas afectadas tuvieron un alto grado de severidad, mientras que un 15% tuvo una reacción fotosintética que le está ayudando a reconstruir la zona afectada, y un 10% aún conserva su vegetación. Con los resultados que se presentaron anteriormente se puede detallar que en la investigación los primeros incendios no tuvieron causas tan graves, pero en el año 2021 los incendios fueron más graves y las áreas afectadas fueron más graves, al igual que en los antecedentes que tuvieron áreas afectadas en gran porcentaje.

Respecto al objetivo específico 1, se tuvo como resultados en la investigación durante el año 2017 se registraron 2 incendios en San Jerónimo afectando un área de 14.97 ha, en el año 2018 se registró 2 incendios afectando un área de 277.15 ha, en el año 2019 hubo dos incendios que afectaron a 495.45 ha, mientras que en el año 2020 se registró un incendio que tuvo un área afectada de 205.6 hectáreas,

a diferencia del año 2021, en el que se presentaron cuatro incendios, que afectaron a 1,397.19 ha en nivel de severidad muy alto dentro del distrito de San Jerónimo, estos resultados al ser comparados con los que Ibnousaih (2021), presentó en su trabajo sobre los incendios ocurridos en Gran Canaria durante el 2019, obtuvo que de los 85.3 km² de territorio que fueron incendiados, 25.42 km² tuvieron una severidad baja. Zappa (2020), en su investigación tuvo como área afectada durante los años 2016-2020 que 75.12% del territorio en la reserva ecológica de los Ilinizas tiene un nivel de severidad moderada a raíz del incendio, 18.38% del territorio tuvo severidad alta, lo cual afectó a 12,306.03 hectáreas en total. Por su parte, Mendoza y Rupa (2022), en su investigación realizada en la localidad de San Jerónimo durante el 2019-2021, tuvieron una área afectada por los incendios de 500.07ha en el año 2019, 117 ha en el 2020 y 1,397.22 ha en el 2021, concluyendo que durante el 2021 hubo un incremento del 18.44% a diferencia de los años anteriores.

En referencia al segundo objetivo específico, los indicadores de riesgo de ocurrencia son considerados indicadores emergentes y potenciales que permiten entender el comportamiento del medio ambiente, entendiendo que estos aportan información sobre las características e indicios que hicieron surgir el incendio o los indicios de porque se originaron los gases tóxicos, humo y las temperaturas altas, que en ocasiones son el combustible el factor principal (Cenepred, 2020). Mediante la presente, se halló que los dos principales indicadores de riesgo hallados se encuentran explicados por los atributos antropológicos y climáticos, entendiendo que el sector analizado es un área en el cual los pobladores se dedican a la agricultura, en tanto existen comportamientos que conllevan el uso del fuego para la limpia de campos de cultivo, sumado a la alta volatilidad de los aceites que producen las plantas que existen en el distrito, estos resultados, puestos en comparación con los que Peña (2019), reflejó que las áreas con mayor afectación por los incendios fueron principalmente por factores climáticos, por lo que presentaron expandieron con mayor velocidad y gravedad, desertando las zonas afectadas, ya que la vegetación quedó calcinada. En el mismo sentido, Bazán y Esparza, (2021), en su investigación realizada en la granja Porcon en Cajamarca durante los años 2000-2020, explicó que los habitantes de la zona se dedican a la siembra y cosecha, teniendo una de sus actividades principales la quema de los

residuos de las cosechas y la realización de rituales para atraer a las lluvias, situaciones que lograron ocasionar 2 incendios, afectado 1,791.44 hectáreas.

Para el objetivo específico 3, en la presente se halló que la predicción de la ocurrencia de los incendios dentro de la zona se realiza principalmente por la intensidad de los incendios, toda vez que en aquellas áreas de mayor afectación, se presenta vegetación calcinada, por lo que de generarse un incendio en la zona, este se logra controlar de manera casi inmediata al no tener combustible natural para propagarse, estos datos presentan sustento al ser apoyados por la investigación realizada por Torres-Rojo (2020), quien mencionó que la predicción de ocurrencia muestra los índices de riesgo a partir de las evaluaciones que se realizan a las regeneraciones del fuego que involucran factores como el viento, la vegetación, el clima o la humedad del lugar que lo podrían producir y ocasionar efectos desfavorables y dañinos, a partir del análisis y revisión documental frente a los incendios acontecidos en el distrito, mismos que indicaron que el considerar la duración, extensión e intensidad de los incendios, permiten predecir incendios posteriores, tomando en consideración que la zona en estudio presenta efectos favorables para el reavivamiento del fuego, gracias a los vientos, así como los factores ambientales que intervienen en la propagación del fuego, datos que son corroborados por Mendoza y Rupa (2022), quienes a través de su investigación, certificaron que al menos 1 de cada 3 incendios sirve de base sustancial para la susceptibilidad por la pérdida de vegetación, además de la cobertura vegetal de alto contenido inflamable.

VI. CONCLUSIONES

1.- Ante el objetivo general, se concluye que el año que presentó mayor severidad fue el 2021, toda vez que a comparación de los demás años fue el que mayor ocurrencia de incendios presentó, ello determinado a partir del análisis de las imágenes satelitales que muestran las cicatrices de severidad, en tanto este periodo presentó severidad moderada-alta puesto que la afectación se encuentra entre el rango de +0.440 to +0.659, en tanto, la frecuencia de incendios dentro de la zona analizada provocó que el área se encuentre en un déficit de regeneración vegetal.

2.- En función al primer objetivo específico, se demostró que los años que presentaron afectación a una cantidad mayor de hectáreas fueron en el primer trimestre del 2018 afectando de manera baja a 277.17 ha, el primer trimestre del 2019, en el cual se reportó a 495.44 ha con severidad baja, mientras que en el 2021, la cantidad de hectáreas afectada fue de 1,397.19 ha con nivel alto de severidad.

3.- Para el segundo objetivo específico, se determinó que los indicadores que representan ser de mayor riesgo de ocurrencia están encabezados por la intervención humana, ya que el distrito es una zona en la cual se realiza la agricultura y ganadería, existiendo la necesidad de limpiar las áreas de sembrío, practicando la quema de pastizales, que en la mayoría de casos provocan incendios que se agravan por los factores ambientales de la zona, toda vez que existe presencia de plantas que emiten aceites de alta volatilidad.

4.- Finalmente, ante el tercer objetivo específico, se logró determinar que la predicción de ocurrencia de incendios se lleva a cabo según el análisis y descripción del tamaño, duración e intensidad del último incendio, considerando que, si la zona quedó con incineración severa, es probable que un incendio dentro del área no exista hasta la regeneración vegetal.

VII. RECOMENDACIONES

1.- A las autoridades competentes al control y manejo de áreas naturales, así como a aquellas entidades que actúan de manera articulada, poner mayor importancia en el registro y explicación de causa y severidad de daños ocasionados por incendios, gestionando información de las entidades que intervienen en el cuidado y prevención del medio ambiente, así como facilitar el acceso hacia la información.

2.- A los encargados de ejecutar actividades de gestión del riesgo ambiental dentro de la región y distrito, generar y afianzar escenarios de interacción social que permita a la ciudadanía involucrarse en el cuidado ambiental, resguardando de ese modo la calidad de vida de la población actual y sobre todo de la población futura.

3.- A los estudiantes y sociedad en general, se les insta tener mayor compromiso ambiental, evitando acceder a lugares con zonas verdes con productos o insumos que puedan significar un factor desencadenante de un incendio, tomando en cuenta que el Distrito cuenta con la presencia de plantas que presentan combustión de manera inmediata, poniendo en riesgo la vida y salud humana, así como la vida de los animales domésticos que muchas veces significan la única fuente de ingreso para las familias habitantes de san Jerónimo.

4.- Continuar con estudios de severidad de incendios forestales integrando otros distritos con ecosistemas similares, a fin de obtener un mejor análisis del comportamiento del fuego.

REFERENCIAS

- ADEDEJI, O., OLAYINKA, O., BADEJO, A. y OSUNDE, E., 2022. Spatial distribution and environmental risk assessment of petrol stations in Abeokuta Metropolis, Ogun State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 26, no. 11, pp. 1843-1850. Disponible en: DOI 10.4314/jasem.v26i11.16. ISSN 2659-1502
- AGBESHIE, A., ABUGRE, S., ATTA-DARKWA, T. y AWUAH, R., 2022. A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, vol. 33, no. 5, pp. 1419-1441. Disponible en: DOI 10.1007/s11676-022-01475-4. ISSN 1007-662X.
- AGENCIA ESPECIAL EUROPEA, 2021. Multi-decade global fire dataset set to support trend analysis.
- AMALI, P. y CHOW-FRASER, P., 2021. Relating pre-fire canopy species, fire season, and proximity to surface waters to burn severity of boreal wildfires in Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*, vol. 496, pp. 119386. Disponible en: DOI 10.1016/j.foreco.2021.119386. ISSN 03781127.
- ANDRES, S., POWELL, J., RYMER, P. y EMERY, N., 2022. Fire severity and the post-fire soil environment affect seedling regeneration success of the threatened *Persoonia hirsuta* (Proteaceae). *Austral Ecology*, vol. 47, no. 6, pp. 1248-1259. Disponible en: DOI 10.1111/aec.13217. ISSN 1442-9985. ARCGIS RESOURCES, 2023. ¿Qué es ArcGIS? Esri.
- ARELLANO, S., VEGA, J.A., RODRÍGUEZ Y SILVA, F., FERNÁNDEZ, C., VEGA-NIEVA, D., ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G. y RUIZ-GONZÁLEZ, A.D., 2017. Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O

Rosal (Pontevedra) en 2013. Revista de Teledetección, no. 49, pp. 49. Disponible en: DOI 10.4995/raet.2017.7137. ISSN 1988-8740.

BÄR, A., MICHALETZ, S. y MAYR, S., 2019. Fire effects on tree physiology. New Phytologist, vol. 223, no. 4, pp. 1728-1741. Disponible en: DOI 10.1111/nph.15871. ISSN 0028-646X.

BARRÍA, M., 2019. Los incendios forestales como una problemática de salud pública: un ámbito para la enfermería en desastres. Investigación y Educación en Enfermería, vol. 37, no. 3. Disponible en: DOI 10.17533/udea.iee.v37n3e01. ISSN 2216-0280.

BAZÁN, A. y ESPARZA, C., 2021. Áreas degradadas a causa de la deforestación por quema (2000-2020) en la Granja Porcón-Cajamarca. S.I.: Tesis de pregrado: Univercidad Cesar Vallejo.

BENAVIDES, N., 2021. Análisis de la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, a través de imágenes Sentinel -2- Periodo 2019-2021, Cajamarca. S.I.: Tesis de pregrado: Univercidad Cesar Vallejo.

BOYCHUK, D., MCFAYDEN, C., WOOLFORD, D., WOTTON, M., STACEY, A., EVENS, J., HANES, C. y WHEATLEY, M., 2021. Considerations for categorizing and visualizing numerical information: A case study of fire occurrence prediction models in the province of Ontario, Canada. Fire, vol. 4, no. 3, pp. 50. Disponible en: DOI 10.3390/fire4030050. ISSN 2571-6255.

BRAVO, T. y VALENZUELA, S., 2019. Desarrollo de instrumentos de evaluación: cuestionarios. México: s.n.

BRIONES-HERRERA, C., VEGA-NIEVA, D., MONJARÁS-VEGA, N., BRISEÑO-REYES, J., LÓPEZ-SERRANO, P., CORRAL-RIVAS, J., ALVARADO-CELESTINO, E., ARELLANO-PÉREZ, S., ÁLVAREZ-

- GONZÁLEZ, J., RUIZ-GONZÁLEZ, A., JOLLY, W. y PARKS, S., 2020. Near real-time automated early mapping of the perimeter of large forest fires from the aggregation of Viirs and Modis active fires in Mexico. *Remote Sensing*, vol. 12, no. 12, pp. 2061. Disponible en: DOI 10.3390/rs12122061. ISSN 2072-4292.
- BURKLE, L.A., BELOTE, T. y MYERS, J., 2022. Wildfire severity alters drivers of interaction beta-diversity in plant–bee networks. *Ecography*, vol. 2022, no. 3. Disponible en: DOI 10.1111/ecog.05986. ISSN 0906-7590.
- CABEZAS, G., 2020. Análisis de la severidad del incendio forestal en el Parque Nacional Sierra la Macarena usando Landsat 8 y Sentinel-2 caso de estudio 2018. S.I.: Tesis de pregrado: Univercidad Distrital francisco José de Caldas.
- CABRERA, Y. y RAMOS, M., 2021. Evaluación del impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de la provincia de San Pablo en el año 2019 aplicando índices de biodiversidad. S.I.: Tesis de pregrado: Univercidad Antonio Guillermo Urrelo.
- CANSLER, A., KANE, V., HESSBURG, P., KANE, J., JERONIMO, S., LUTZ, J.A., POVAK, N., CHURCHILL, D. y LARSON, A., 2022. Previous wildfires and management treatments moderate subsequent fire severity. *Forest Ecology and Management*, vol. 504, pp. 119764. Disponible en: DOI 10.1016/j.foreco.2021.119764. ISSN 03781127
- CAPADOR, Y., GONZÁLEZ, G. y SUAREZ, P., 2021. Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). *Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 18, no. 1, pp. 1-17. Disponible en: DOI 10.18041/1794-4953/avances.1.6931. ISSN 2619-6581.

- CASTILLO, J., CARDENAS, M. y HERNÁNDEZ, N., 2018. Modelos de pronósticos para incendios forestales en la Provincia de Córdoba. Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, pp. 134-138.
- CENEPRED, 2020a. Escenario de riesgo por incendio urbano del cercado de lima. Cenepred, pp. 35.
- CENEPRED, 2020b. Escenario de riesgo por incendios forestales. Biblioteca SIGRID,
- CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA REGIONAL, 2022. Región Cusco registra 10 incendios forestales activos.
- COLLINS, L., GRIFFIOEN, P., NEWELL, G. y MELLOR, A., 2018. The utility of Random Forests for wildfire severity mapping. Remote Sensing of Environment, vol. 216, pp. 374-384. Disponible en: DOI 10.1016/j.rse.2018.07.005. ISSN 00344257.
- COPERNICUS OPEN ACCESS HUB, 2023. Procesamiento de imágenes satelitales. Sentinel 2.
- CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO, 2020. Ecuador fortalecerá la prevención de incendios forestales en las zonas más vulnerables.
- DA PENHA, A., DA SILVA, J., RUIZ-ARMENTEROS, A., FARIA, R. y DE OLIVEIRA, I., 2023. Analysis of spectral separability for detecting burned areas sing Landsat-8 OLI/TIRS images under different biomes in Brazil and Portugal. Forests, vol. 14, no. 4, pp. 663. Disponible en: DOI 10.3390/f14040663. ISSN 1999-4907
- DECKER, O., FOON, J.K., KÖHLER, F., MOUSSALLI, A., MURPHY, N. y GREEN, P., 2023. Fire severity is an important driver of land snail

declines after the black summer bushfires in Australia. *Biological Conservation*, vol. 279, pp. 109906. Disponible en: DOI 10.1016/j.biocon.2023.109906. ISSN 00063207.

EQUIPO SISTEMAS DE INFORMACION TERRITORIAL y GRUPO GIS, 2018. *Estándares Básicos para Manejo de Información Geográfica de la Alcaldía de Medellín*. 2018. S.l.: s.n.

FLORES-RODRÍGUEZ, A., FLORES-GARNICA, J., GONZÁLEZ-EGUIARTE, D., GALLEGOS-RODRÍGUEZ, A., ZARAZÚA-VILLASEÑOR, P. y MENA-MUNGUÍA, S., 2021. Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. *Investigaciones Geográficas*, no. 106.

Disponible en: DOI 10.14350/rig.60396. ISSN 2448-7279.

FONSECA-GONZÁLEZ, J., DE LOS SANTOS-POSADAS, M., RODRÍGUEZ-ORTEGA, A. y RODRÍGUEZ-LAGUNA, R., 2017. Effect of wildfire and bark beetle damage on *pinus patula* schl. et cham. mortality at hidalgo, México. *Agrociencia*, vol. 48, no. 1, pp. 103-113.

GAO, K., FENG, Z. y WANG, S., 2022. Using multilayer perceptron to predict forest fires in Jiangxi province, Southeast China. En: F. BORONDO (ed.), *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2022, pp. 1-12. Disponible en: DOI 10.1155/2022/6930812. ISSN 1607-887X.

GÓMEZ-SÁNCHEZ, E., DE LAS HERAS, J., LUCAS-BORJA, M. y MOYA, D., 2017. Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*, no. 49, pp. 103. Disponible en: DOI 10.4995/raet.2017.7121.

- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C., 2018. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. S.l.: s.n. ISBN 978-1-4562-6096-5.
- HIGUERA, P., 2020. First- and second-order fire effects. Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. Cham: Springer International Publishing, pp. 461-463.
- IBNOUSAIH, S., 2021. Análisis de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel en las Palmas de Gran Canaria en agosto de 2019. S.l.: Tesis de posgrado: Universidad de Jaén.
- JERÓNIMO-CUSCO, M.D. de S., 2017. Plan de Desarrollo Concertado 2017-2024. 2017. S.l.: s.n.
- KITZBERGER, T. y GROSFELD, J., 2017. Diagnóstico de la severidad de fuego y propuestas de restauración y manejo a nivel predial para áreas afectadas por el incendio de Cholila de 2015. Conicet, INIBIOMA, pp. 1-91.
- KORENÁ, M., HOLÉCY, J., KORÍSTEKOVÁ, K., BAKŠOVÁ, M., OSTRIHOŇ, M. y ŠKVARENINA, J., 2023. Ongoing climatic change increases the risk of wildfires. Case study: Carpathian spruce forests. Journal of Environmental Management, vol. 337, pp. 117620. Disponible en: DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117620. ISSN 03014797.
- LÓPEZ, A., 2020. Estudio de la severidad y regeneración de la vegetación por el incendio de 2012 en el Bosque La Primavera (México) mediante imágenes
- LANDSAT 7. Revista Cartográfica, no. 101, pp. 35-50. Disponible en: DOI 10.35424/rcarto.i101.420. ISSN 2663-3981.

- MANRÍQUEZ, H., 2019. Especies forestales afectadas en incendios ocurridos en Amazonas: Un análisis de la información fiscal de los casos de Chachapoyas y Luya. ARNALDOA,
- MENDOZA, S. y RUPA, J., 2022. Pérdida de Cobertura Vegetal a Causa de los Incendios Forestales durante 2019-2021 en la Localidad de San Jerónimo, Cusco. S.I.: Tesis de pregrado: Univercidad Cesar Vallejo.
- MEZA-AGUILAR, M., VELAZQUEZ-RAMÍREZ, L. y LARRUCEA-GARRITZ, A., 2017. Recuperación de áreas verdes urbanas. La importancia del diagnóstico fitosanitario para la intervención. Redalyc.org,
- MINISTERIO DE AMBIENTE, 2022. Indicadores de la vegetación andina amazónica para la prevención de incendios forestales (2022-001).
- MINISTERIO DE TRANSPORTES, movilidad y A.U.-E., 2022. Plan Nacional de Teledetección. 11 de agosto [en línea]. Disponible en: <https://pnt.ign.es/satelites-sentinel>.
- MONTEALEGRE, A.L., LAMELAS, M.T., TANASE, M.A. y DE LA RIVA, J., 2017. Estimación de la severidad en incendios forestales a partir de datos LiDAR-PNOA y valores de composite burn index. Revista de Teledeteccion, vol. 2017, no. 49 Special Issue, pp. 1-16. Disponible en: DOI 10.4995/raet.2017.7371. ISSN 19888740.
- MONTERO-FLORES, W., HERNANDEZ-RUZ, E., ALVES-SANTOS, G., DE SOUZA-MIRANDA y SÁNCHEZ-TORUÑO, H., 2020. Mortality and recruitment in trees of a forest subject to reduced impact logging in the oriental region of the Brazilian Amazonia. Revista Mexicana de Biodiversidad, vol. 91. Disponible en: DOI 10.22201/ib.20078706e.2020.91.3053. ISSN 2007-8706.

- MONTORIO, R., PÉREZ, F., GARCÍA, A., VLASSOVA, L. y DE LA RIVA, J., 2018. La severidad del fuego: evisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. S.l.: s.n. ISBN 978-84-617-3212-8.
- NEGER, C., MANZO DELGADO, L.D.L. y GALICIA SARMIENTO, L., 2022. Geographical research on forest fires in Mexico: a bibliometric and territorial perspective. *Investigaciones Geográficas*, no. 108. Disponible en: DOI 10.14350/rig.60488. ISSN 2448-7279.
- NICOMEDES, E., 2018. Tipos de investigación. Universidad Santo Domingo de Guzmán [en línea], Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>.
- NIKODEMUS, A., TRUBIN, A., HUERTAS, D., KAPUKA, A., HÁJEK, M., NDEINOMA, A. y CHRISMIARI, R., 2023. Unveiling the impact of climate variability on forest fire occurrence in Namibia: A modelling study. 2023. Namibia: s.n.
- ORTEGA, A., 2018. Enfoques de investigación. Universidad del Atlantico, pp. 3-5.
- PANG, Y., LI, Y., FENG, Zhongke, FENG, Zemin, ZHAO, Z., CHEN, S. y ZHANG, H., 2022. Forest fire occurrence prediction in China based on machine learning methods. *Remote Sensing*, vol. 14, no. 21, pp. 5546. Disponible en: DOI 10.3390/rs14215546. ISSN 2072-4292
- PANIMBOZA, J., 2021. Análisis de severidad de incendios forestales como contribución a la gestión de riesgos. Casos de estudio: Cantón Quilanga 2019, Volcán Casitagua 2020. S.l.: Tesis de Pregrado: Univercidad de las Fuerzas Armadas.
- PAZMIÑO, D., 2019. Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 1, no.

1, pp. 10-18. ISSN 2602-8484. Disponible en: DOI 10.29166/revfig.v1i1.1800.

PEÑA, M., 2019. Evaluación del impacto de los incendios forestales por medio de imágenes satelitales sentinel 2, durante el período de incendios estivales 2016-2017, en la comuna de Pumanque, región del Libertador Bernardo O'higgins, Chile. S.l.: Tesis de pregrado: Universidad de Chile.

PEREVEDENTSEV, Y., SHERSTYUKOV, B., GUSAROV, A., AUKHADEEV, T. y MIRSAEVA, N., 2022. Climate-induced fire hazard in forests in the volga federal district of European Russia during 1992–2020. *Climate*, vol. 10, no. 7, pp. 110. Disponible en: DOI 10.3390/cli10070110. ISSN 2225-1154.

PRESTES, N., MASSI, K., SILVA, E., NOGUEIRA, D., DE OLIVEIRA, E., FREITAG, R., MARIMON, B., MARIMON-JUNIOR, B., KELLER, M. y FELDPAUSCH, T., 2020. Fire effects on understory forest regeneration in southern Amazonia. *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 3. Disponible en: DOI 10.3389/ffgc.2020.00010. ISSN 2624-893X.

RAMÍREZ-CANDO, L., ARMIJOS, M., CRESPO, M., PINO-CASIGNIA, S. y ÁLVAREZ-MENDOZA, C., 2018. Modelamiento geoestadístico de mediciones de concentración de material particulado (PM10) para la validación de un método simplificado. *Anales Científicos*, vol. 79, no. 1, pp. 81. Disponible en: DOI 10.21704/ac.v79i1.1143. ISSN 2519-7398.

ROBBINS, Z., LOUDERMILK, L., REILLY, M., O'BRIEN, J., JONES, K., GERSTLE, C. y SCHELLER, R., 2022. Delayed fire mortality has long-term ecological effects across the Southern Appalachian landscape. *Ecosphere*, vol. 13, no. 6. Disponible en: DOI 10.1002/ecs2.4153. ISSN 2150-8925.

- ROBINNE, F., 2021. Impacts of disasters on forests, in particular forest fires. UNFFS Background paper,
- RODRÍGUEZ-TREJO, D., MARTÍNEZ-MUÑOZ, P., PULIDO-LUNA, J., MARTÍNEZ-LARA, P. y CRUZ-LÓPEZ, J., 2020. Combustibles, comportamiento del fuego y emisiones en un pastizal y una sabana artificiales en Chiapas. *Revista de Biología Tropical*, vol. 68, no. 2. Disponible en: DOI 10.15517/rbt.v68i2.33954. ISSN 2215-2075.
- ROJAS, N., BARBOZA, E., GAMARRA, O., OLIVA, M., LEIVA, D., BARRENA, M., CORROTO, F., SALAS, R. y RASCÓN, J., 2020. Morphometric prioritization, fluvial classification, and hydrogeomorphological quality in high andean livestock micro-watersheds in northern Peru. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 5, pp. 305. Disponible en: DOI 10.3390/ijgi9050305. ISSN 2220-9964.
- SAMPIERI, R. y MENDOZA, C., 2018. Metodología de la investigación: las rutas cuantativa, cualitativa y mixta. S.l.: s.n. ISBN 978-1-4562-6096-5.
- SENABRE, J., 2018. Incendios forestales y sociedad en un entorno cambiant. Rua,
- SENTINEL PLAYGROUND, 2023. Procesamiento de imágenes satelitales. satélite Sentinel 2.
- SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE, 2022. Alerta: daños por incendios forestales se han triplicado este año con respecto al 2021. .
- SUN, X., HUANG, H., ZHAO, J. y SONG, G., 2022. Experimental study of the effect of slope on the spread and burning characteristics of a continuous oil spill fire. *Fire*, vol. 5, no. 4, pp. 112. Disponible en: DOI 10.3390/fire5040112. ISSN 2571-6255.

- TORRES-ROJO, J., 2020. Index for the estimation of the occurrence of forest fires in large areas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 26, no. 3, pp. 433-449. Disponible en: DOI 10.5154/r.rchscfa.2019.11.082. ISSN 20073828.
- ÚBEDA, X. y FRANCOS, M., 2018. Incendios forestales: un fenómeno global. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. 23, no. 1, pp. 1-8.
- UNIDAS, N., 2019. Índice Normalizado de Área Quemada. 16 de julio.
- UNITED NATIONS, 2020. Fire intensity versus burn severity. . S.I.:
- VALENCIA, D., SAAVEDRA, J., BRULL, J. y SANTELICES, R., 2018. Fire severity damages caused on *Nothofagus alessandrii* forest on the Maule Region of Chile. *Gayana. Botánica*, vol. 75, no. 1, pp. 531-534. Disponible en: DOI 10.4067/S0717-66432018000100531. ISSN 0717-6643.
- VALKÓ, O. y DEÁK, B., 2021. Increasing the potential of prescribed burning for the biodiversity conservation of European grasslands. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol. 22, pp. 100268. Disponible en: DOI 10.1016/j.coesh.2021.100268. ISSN 24685844.
- VIDAL, P., DE SANTIS, A., PÉREZ, W. y HONEYMAN, P., 2017. Uso de herramientas de teledetección para el análisis de la severidad y estimación de gases de efecto invernadero (GEI) en incendios forestales de gran magnitud. Estudio de caso incendio La Rufina, VI Región del L. G. B. O'Higgins, Chile. *Revista de Teledetección*, no. 50, pp. 59. Disponible en: DOI 10.4995/raet.2017.8987.

ZAPPA, C., 2020. Análisis de la severidad de incendios forestales en la reserva ecológica los Ilinizas. S.I.: Tesis de pposgrado: Univercidad Agraria de Ecuador.

ZHANG, X., LAN, M., MING, J., ZHU, J. y LO, S., 2023. Spatiotemporal heterogeneity of forest fire occurrence based on remote sensing data: An analysis in Anhui, China. Remote Sensing, vol. 15, no. 3, pp. 598. Disponible en: DOI 10.3390/rs15030598. ISSN 2072-4292.

ANEXOS

Matriz de consistencia

Título; Análisis de la severidad de incendios forestales mediante el uso de imágenes satelitales en el San Jerónimo del departamento de Cusco, 2016-2021.					
Problemas		Objetivos		Variables e indicadores	
Problema General:		Objetivo general:		Variable 1 Independiente: Ocurrencia de incendios forestales	
¿Cuál fue el grado de severidad de los incendios forestales ocurridos en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021?	Identificar la severidad de los incendios forestales ocurridos en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021	Dimensiones		Niveles o rangos	
		Indicadores	Ítems	Escala de valores Nominal 1=Sí 0=No	
		Indicadores de riesgo de ocurrencia	1-3		
Predicción de ocurrencia	4-6	Indicadores		Niveles o rangos 1=Sí 0=No	
		<ul style="list-style-type: none"> Atributos climáticos Atributos físicos Atributos ambientales 			
		<ul style="list-style-type: none"> Tamaño Intensidad Duración 			
Problemas Específicos		Objetivos específicos		Variable 2 Dependiente: Severidad de incendios forestales	
1. ¿Cuál es el área afectada por la ocurrencia de incendios forestales el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021? 2. ¿Cuáles fueron los indicadores de riesgo de ocurrencia en la severidad de los incendios forestales acontecidos en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021? 3. ¿Se realizó la predicción de ocurrencia de incendios forestales en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021?	1. Determinar el área afectada por la ocurrencia de incendios forestales el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021. 2. Determinar los indicadores de riesgo de ocurrencia de incendios forestales y su severidad en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021. 3. Analizar la predicción de ocurrencia de incendios forestales en el distrito de San Jerónimo Cusco, 2016-2021.	Dimensiones		Niveles o rangos	
		Indicadores	Ítems	Escala de valores Ordinal 1=Sin quemar 2= Severidad baja 3= Severidad media 4= Severidad alta 5=Severidad muy alta	
		Efectos de primer orden	1		
Efectos de segundo orden	2	<ul style="list-style-type: none"> Severidad del incendio Mortalidad de vegetación Presencia de cenizas 			
		<ul style="list-style-type: none"> Regeneración vegetal Dinámica hidrogeológica 			
Diseño de investigación:		Población y Muestra:		Técnicas e instrumentos:	
Nivel: Descriptivo Tipo: Aplicado Diseño: No experimental Enfoque: cuantitativo		Población: Áreas verdes de la provincia de San Jerónimo		Técnica: Observación Instrumento: Guía de observación	
Método de análisis de datos:					

Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala	Niveles o rangos
Variable Independiente: Ocurrencia de los incendios forestales	Entendida como la frecuencia, tamaño y severidad que presenta un incendio forestal, causando pérdida y degradación de la superficie forestal, trayendo consigo el cambio climático (Torres-Rojo 2020)	La medición de la variable se realizará a través de la observación empleando una guía de observación que se hará al registro de incendios ocurridos en la zona de estudio.	Indicadores de riesgo de ocurrencia	<ul style="list-style-type: none"> • Atributos climáticos • Atributos físicos • Atributos ambientales 	1-3	Ordinal 1=Sí 0=No	1=Sí 0=No
			Predicción de ocurrencia	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño • Intensidad • Duración 	4-6		
Variable Dependiente: Severidad de incendios forestales	Montorio et al. (2018), lo definen como los efectos causados por el fuego sobre el ambiente causando un cambio ecológico por lo que se conoce como un factor crítico en la dinámica de las áreas afectadas.	El Análisis de la severidad de incendios forestales se realizará a través de la toma de imágenes satelitales de las zonas estudiadas mediante el sensor Sentinel-2, mediante el cual se determinará el grado de quemadura aplicando el índice Normalizado de Área Quemada-NBR, analizado con el programa ArcGIS,	Efectos de primer orden	<ul style="list-style-type: none"> • Severidad del fuego • Mortalidad de vegetación • Presencia de cenizas 		Ordinal 1=Sin quemar 2= Severidad baja 3= Severidad media 4= Severidad alta 5=Severidad muy alta	<p>Sin quemar De -0,100 a 0,99</p> <p>Baja De +0,100 a +0,269</p> <p>Media De +0,270 a +0,439</p> <p>Alta De +0,440 a +0,659</p> <p>Muy alta De +0,660 a +1,300</p>
			Efectos de segundo orden	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneración vegetal • Dinámica hidrogeo-morfológica 			

ANEXO 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

VARIABLE: OCURRENCIA DE INCENDIOS

Ubicación

Ubicación:	
Distrito:	
Departamento y provincia:	
Latitud:	
Altitud:	
Longitud:	

Caracterización del distrito

Áreas agrícolas	
Áreas forestales	
Áreas comunitarias	

Condiciones meteorológicas

Temperatura (°C)	
Humedad (%)	
Velocidad del viento (m/s)	
Precipitación (mm o l/m ²)	

Zonas afectadas por incendios

Cobertura vegetal destruida (área):	
Fecha y hora de ocurrencia:	
Ubicación de los incendios:	

Ficha de observación

N°	Dimensión: Indicadores de riesgo de ocurrencia	SI	NO
1	Los incendios ocurridos en el sector tienen indicios de haber sido provocados por atributos climáticos		
3	Los incendios ocurridos en el sector tienen indicios de haber sido provocados por atributos físicos		
3	Los incendios ocurridos en el sector tienen indicios de haber sido provocados por atributos ambientales		

	Dimensión: Predicción de ocurrencia		
4	Existe la posibilidad de que los incendios ocurridos se hayan reavivado por el tamaño del área afectada		
5	Existe la posibilidad de que los incendios ocurridos se hayan reavivado por la intensidad del incendio		
6	Existe la posibilidad de que los incendios ocurridos se hayan reavivado por la duración del incendio		

VARIABLE: SEVERIDAD DE INCENDIOS FORESTALES

Ámbito de aplicación : Distrito de San Jerónimo
Ubicación : Departamento de Cusco
Toma de Imágenes : Programa Sentinel 2
Bandas : 5= infrarrojo/6= SWIR
Índice de calcinación : NBR-Índice de Calcinación Normalizado
Programa de Procesamiento : ArcGIS 10.8

Imágenes Sentinel 2	Escala	Periodo de estudio
Sin quemar	Sin quemar De -0,100 a 0,99	2016-2021
Severidad baja	Baja De +0,100 a +0,269	
Severidad media	Media De +0,270 a +0,439	
Severidad alta	Alta De +0,440 a +0,659	
Severidad muy alta	Muy alta De +0,660 a +1,300	

ANEXO 3: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor: Mg Wilfredo Tello Zevallos

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Me es muy grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y, asimismo, hacer de su conocimiento que, siendo Bachilleres de la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo, requerimos validar los instrumentos con los cuales colectaremos la información necesaria para poder desarrollar la investigación para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

El título del proyecto de investigación es: ***“Análisis de la severidad de incendios forestales mediante el uso de imágenes satelitales en el distrito de San Jerónimo del departamento de Cusco, 2016-2021”*** y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales y/o docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables, dimensiones e indicadores.
- Matriz de Operacionalización.
- Matriz de consistencia.]
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.
- Cuestionario de encuesta.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



Apellidos y Nombres
Milagros Saldivar Uactahuamani
DNI: 70956611



Apellidos y Nombres
Ronal Rojas Apaza
DNI: 01343712

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y nombres: Mg Wilfredo Tello Zevallos
 I.2. Especialidad del Validador:
 I.3. Cargo e Institución donde labora:
 I.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Análisis de Severidad de Incendio Forestal
 I.5. Autor del instrumento:
 1. Br. Milagros Saldivar Llactahuamani
 2. Br. Ronal Rojas Apaza

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica				X	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación					X
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de las variables				X	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				X	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				X	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación					X
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				X	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento				X	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				X	
PROMEDIO DE VALORACIÓN					95%	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....Conforme.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Fecha: 14-02-2023

Firma de la Especialista

DNI: 45571102

Teléfono: 945886998

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y nombres: Mg Wilfredo Tello Zevallos
- I.2. Especialidad del Validador: Ingeniería Ambiental
- I.3. Cargo e Institución donde labora: Especialista ambiental /Consultoría OREGON
- I.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Análisis de Severidad de Incendio Forestal
- I.5. Autor del instrumento:

 3. Br. Milagros Saldivar Llactahuamani
 4. Br. Ronal Rojas Apaza

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica					X
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación					X
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de las variables				X	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				X	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				X	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación				X	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.					X
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento					X
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				X	
PROMEDIO DE VALORACIÓN					95%	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....Conforme.....

5. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Fecha: 14-02-2023



Firma de la Especialista

DNI: 45571102

Teléfono: 945886998



CARTA DE PRESENTACIÓN

Señorita
Ing. ~~Mat.~~ Milagros Alarcón Vargas

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Me es muy grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y, asimismo, hacer de su conocimiento que, siendo Bachilleres de la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo, requerimos validar los instrumentos con los cuales colectaremos la información necesaria para poder desarrollar la investigación para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

El título del proyecto de investigación es: *"Análisis de la severidad de incendios forestales mediante el uso de imágenes satelitales en el distrito de San Jerónimo del departamento de Cusco, 2016-2021"* y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales y/o docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables, dimensiones e indicadores.
- Matriz de Operacionalización.
- Matriz de consistencia.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.
- Cuestionario de encuesta.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,

Apellidos y Nombres
Milagros Saldivar Llactahuamani
DNI: 70956611

Apellidos y Nombres
Ronal Rojas Apaza
DNI: 01343712



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y nombres: Milagros Alarcón
 I.2. Especialidad del Validador: Ingeniería Ambiental
 I.3. Cargo e Institución donde labora:
 I.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Riesgo de ocurrencia de Incendio Forestal
 I.5. Autor del instrumento:
 1. Br. Milagros Saldivar Llactahuamani
 2. Br. Ronal Rojas Apaza

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica				X	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación				X	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de las variables				X	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				X	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				X	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación				X	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				X	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento				X	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				X	
PROMEDIO DE VALORACIÓN					80%	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

..... Conforme.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 80%

Lima, 13 de enero de 2023

Muy bueno


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Milagros Alarcón Vargas
 INGENIERA AMBIENTAL
 CIP 272259

Firma de la Especialista

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**
I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y nombres: Ing. ~~M.Sc.~~ Milagros Alarcón Vargas
 I.2. Especialidad del Validador: Ingeniería Ambiental
 I.3. Cargo e Institución donde labora: Especialista ambiental /Consultoría ~~OREGON~~
 I.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Análisis de Severidad de Incendio Forestal
 I.5. Autor del instrumento:
 3. Br. Milagros Saldivar Llactahuamani
 4. Br. Ronal Rojas Apaza

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica				X	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación				X	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de las variables				X	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				X	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				X	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación				X	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				X	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento				X	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				X	
PROMEDIO DE VALORACIÓN					80%	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

..... Conforme.....

5. **PROMEDIO DE VALORACIÓN:** Muy bueno



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Milagros Alarcón Vargas
INGENIERA AMBIENTAL
CIP 272259

Lima, 13 de enero de 2023

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señorita
Ing. Mgt. Karla Luz Mendoza López

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Me es muy grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y, asimismo, hacer de su conocimiento que, siendo Bachilleres de la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo, requerimos validar los instrumentos con los cuales colectaremos la información necesaria para poder desarrollar la investigación para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

El título del proyecto de investigación es: *"Análisis de la severidad de incendios forestales mediante el uso de imágenes satelitales en el distrito de San Jerónimo del departamento de Cusco, 2016-2021"* y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales y/o docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables, dimensiones e indicadores.
- Matriz de Operacionalización.
- Matriz de consistencia.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.
- Cuestionario de encuesta.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



Apellidos y Nombres
Milagros Saldivar Llactahuamani
DNI: 70956611



Apellidos y Nombres
Ronal Rojas Apaza
DNI: 01343712



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL
INSTRUMENTO INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y nombres: Karla Luz Mendoza López
- I.2. Especialidad del Validador: Ingeniería Ambiental
- I.3. Cargo e Institución donde labora: Universidad Cesar Vallejo
- I.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Riesgo de ocurrencia de Incendio Forestal
- I.5. Autor del instrumento:
 1. Br. Milagros Saldivar Llactahuamani
 2. Br. Ronal Rojas Apaza

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				x	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica				x	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación				x	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de las variables				x	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y cantidad				x	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				x	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación				x	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				x	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento				x	
METODOLOGIA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				x	
PROMEDIO DE VALORACIÓN					80%	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....Conforme.....
.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 80%

Fecha: 15/02/23


Firma de la Especialista
DNI: 44598700
Teléfono: 945113041



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL
INSTRUMENTO INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y nombres: Karla Luz Mendoza López
- I.2. Especialidad del Validador: Ingeniería Ambiental
- I.3. Cargo e Institución donde labora: Universidad Cesar Vallejo
- I.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Análisis de Severidad de Incendio Forestal
- I.5. Autor del instrumento:
 3. Br. Milagros Saldivar Llactahuamani
 4. Br. Ronal Rojas Apaza

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente
		0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				x	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica				x	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación				x	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de las variables				x	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				x	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				x	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación				x	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				x	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento				x	
METODOLOGIA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				x	
PROMEDIO DE VALORACIÓN					80	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

..... Conforme.....

5. **PROMEDIO DE VALORACIÓN:** 80%

Fecha:
15/02/23

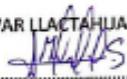

Firma de la Especialista
DNI: 44598700
Teléfono: 945113041

ANEXO 4: SOLICITUD DE REPORTE DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO A LA OFICINA DE GESTIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES

FORMULARIO

Para registro

SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA
(Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM)

I. DEPENDENCIA RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN			
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JERONIMO - CUSCO			
II. DATOS DEL SOLICITANTE			
APELLIDOS Y NOMBRES / RAZÓN SOCIAL		DOCUMENTO DE IDENTIDAD	
MILAGROS SALDIVAR LLACTAHUAMANI		D.N.I / L.M / C.E OTRO 70956611	
DOMICILIO			
AV. / CALLE – JR. / PSJ	N° / DPTO / INT	DISTRITO	URBANIZACIÓN
AV. ARGENTINA	E-17	CUSCO	Coyasullo
PROVINCIA	DEPARTAMENTO	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO
CUSCO	CUSCO	saldivarmila@gmail.com	951235733
III. INFORMACIÓN SOLICITADA			
Reporte de Incendios Forestales ocurridos en el Distrito de San Jerónimo (Departamento de Cusco) desde el 2016 al 2021.			
Reporte del área afectada por los Incendios Forestales desde el año 2016 al 2021 en el Distrito de San Jerónimo (Departamento de Cusco)			
IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN			
OFICINA DE GESTIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES / GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE			
V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (MARCAR CON UNA "X") Ver Nota			
COPIA SIMPLE	<input checked="" type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>
CORREO ELECTRÓNICO	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO	<input type="checkbox"/>
APELLIDOS Y NOMBRES			FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN
SALDIVAR LLACTAHUAMANI MILAGROS..... 			
FIRMA 70956611			
OBSERVACIONES:			
.....			
.....			

EL PERÚ PRIMERO

ANEXO 5: RESPUESTA SERFOR



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

Magdalena Del Mar, 16 de Enero del 2023

MEMORANDO N° D000021-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGIOFFS

A : Christian David Quincho Torres
Responsable de Acceso a la Información Pública
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

Asunto : Atención a Solicitud de Acceso a la Información Pública

Referencia : MEMO N° D000015-2023-MIDAGRI-SERFOR-GG-AIP

Me dirijo a usted, con relación al documento de la referencia, mediante el cual la Srta. Milagros Saldivar Llacta Huamani, solicita información de los incendios forestales ocurridos en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco, departamento de Cusco, desde el 2016 al 2021.

La Unidad Funcional de Monitoreo Satelital (UFMS) del SERFOR, como acciones posteriores al monitoreo satelital elabora la información espacial de las áreas afectadas por incendios forestales, utilizando imágenes satelitales libre de nubes.

Al respecto, se remite para conocimiento y fines, el reporte y los mapas de las Áreas Afectadas (cicatrices) de Incendio Forestal registrados en el distrito de San Jerónimo para el periodo de 2017 hasta el 2021, elaborado por nuestra especialista de la Dirección General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, mediante el cual se brinda respuesta a lo solicitado. Asimismo, es importante señalar que la información para el año 2016 aún no se encuentra georeferenciada.

Hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente

Elvira Gómez Rivero
Directora General
Dirección General de Información y
Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre

EGR/seg

EXP: 2023-0000957

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orrantía, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: [Url: https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/](https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/) Clave: IEEPCJ3



REPORTE DE ÁREAS AFECTADAS (CICATRICES) DE INCENDIOS FORESTALES



FECHA DEL INFORME	NOMBRE DEL PROYECTO	DEPARTAMENTO
ENERO 2023	ÁREAS AFECTADAS (CICATRICES) DE INCENDIOS FORESTALES	CUSCO

INFORMACIÓN RELEVANTE

La Unidad Funcional de Monitoreo Satelital (UFMS) del SERFOR es la encargada de brindar información a nivel nacional precisa y oportuna para la toma de decisiones y acción inmediata de las entidades según su ámbito de jurisdicción para prevenir, minimizar y/o paralizar el impacto negativo al Patrimonio Forestal, a través de reportes de deforestación, tala antrópica e ilegal, focos de calor, alertas de incendios forestales y cicatrices de incendios forestales, a partir del análisis de imágenes satelitales de mayor resolución, drones o sobrevuelos, áreas categorizadas y/o SAT.

Además, se viene implementando el sub módulo "Monitoreo Satelital de los Impactos al Patrimonio Forestal", que forma parte del Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (SNIFFS), con el objetivo de fortalecer el control y brindar información detallada sobre las afectaciones al patrimonio forestal, al cual pueden acceder en el siguiente enlace: <https://sniffs.serfor.gob.pe/monitoreo/si/index.html>

INCENDIO FORESTAL

El **Incendio Forestal** es el fuego no deseado de cualquier origen, que no es estructural, que se propaga sin control en los recursos forestales, causando daños ecológicos, económicos y sociales.

La **Cicatriz**¹ de Incendio Forestal identifica la superficie afectada por un incendio forestal. El **número de eventos** corresponde al número de incendios forestales ocurridos, de acuerdo a la identificación de la cicatriz. Para la identificación de cicatrices se utiliza imágenes satelitales gratuitas de 10 metros de resolución espacial, considerando una superficie mínima de 0.5 hectáreas de área cartografiada.

Asimismo, se adjunta los mapas de las áreas afectadas por incendios forestales para el distrito de San Jerónimo, desde el año 2017 hasta el año 2021.

Además, es importante señalar que la información de las áreas afectadas (cicatrices) por incendios forestales para el año 2016 aún no se encuentra georreferenciada.

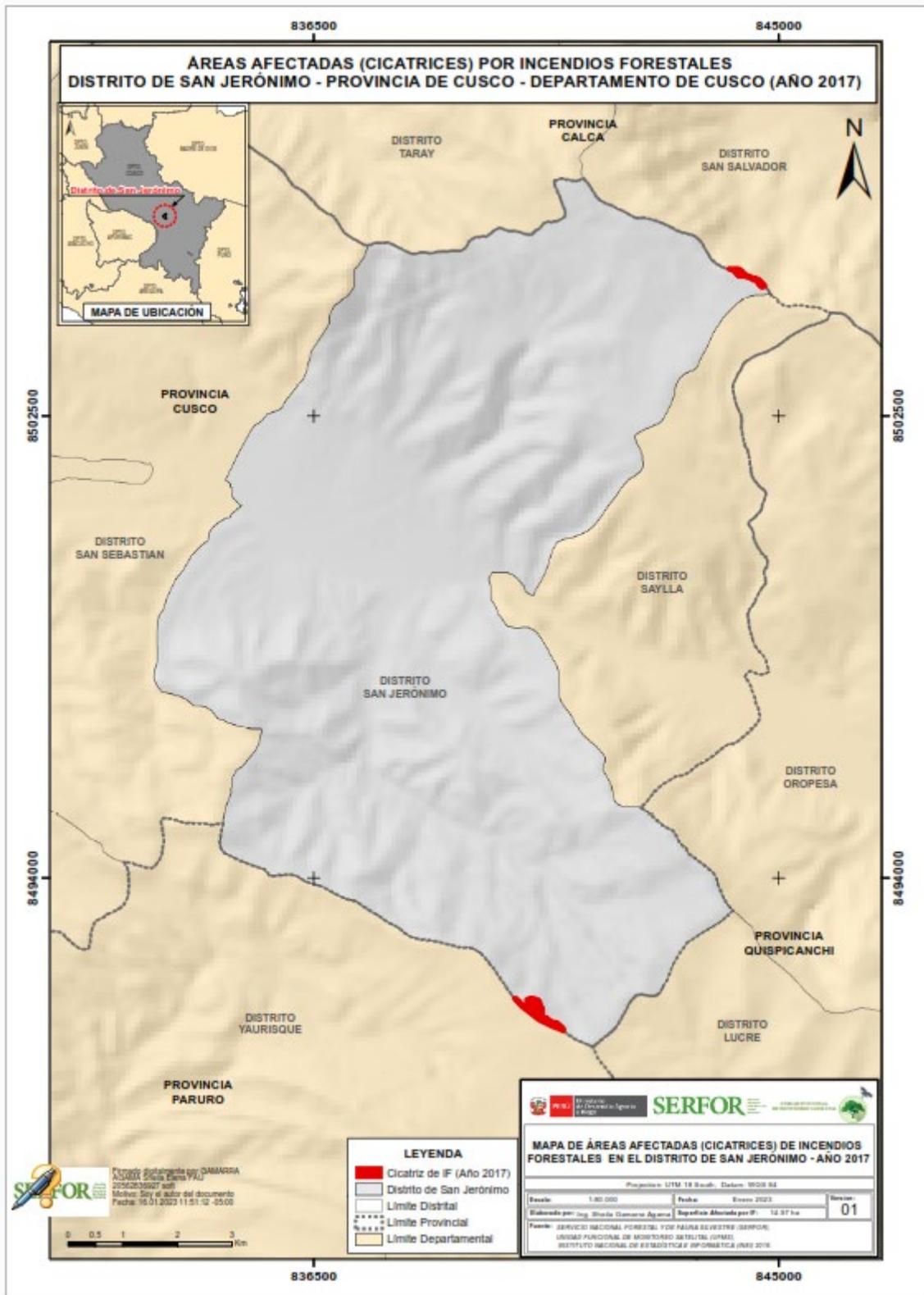
¹ Cicatriz de Incendio Forestal hace referencia al área afectada luego de un incendio forestal.

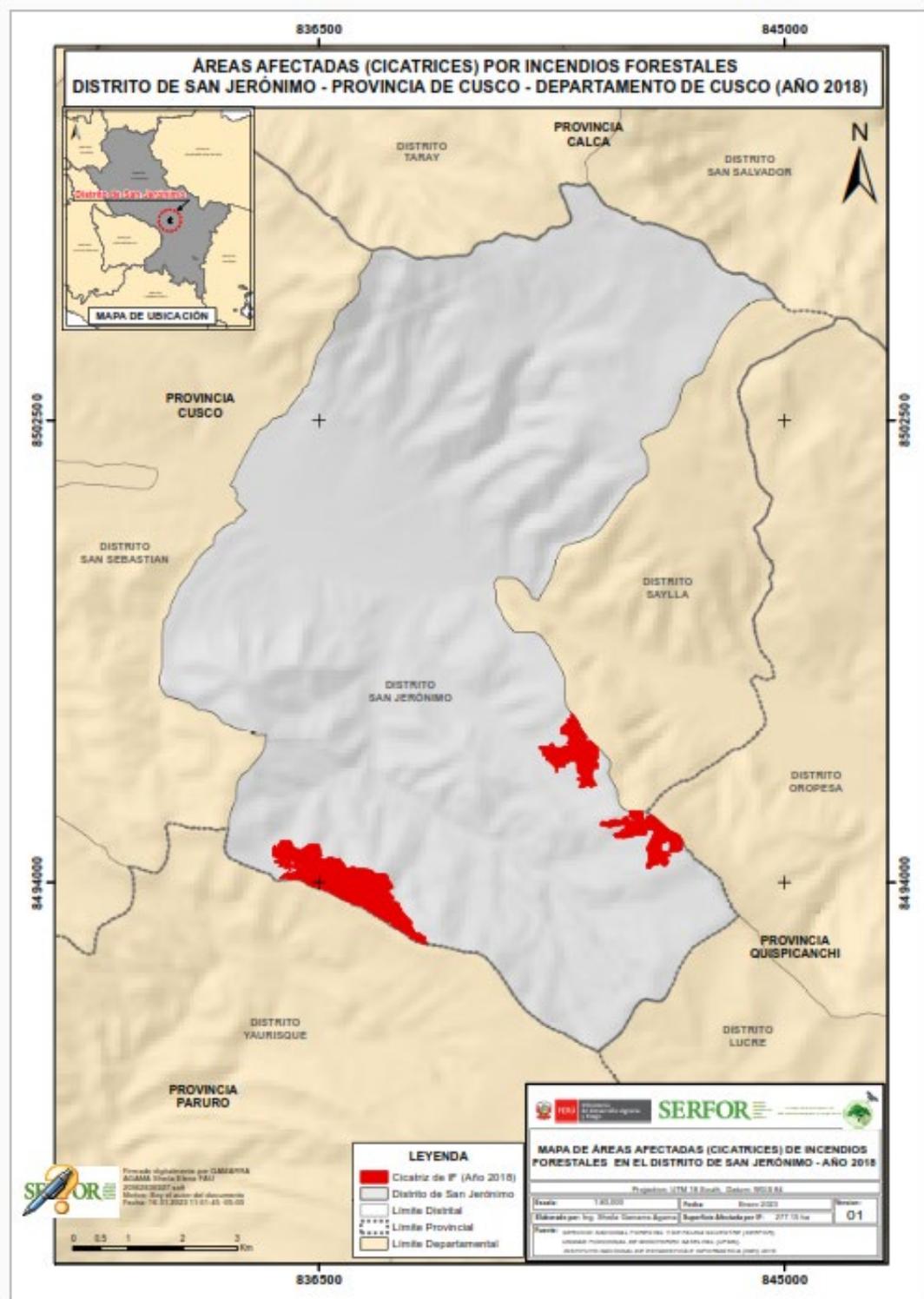
REGISTRO HISTÓRICO DE LAS ÁREAS AFECTADAS (CICATRICES) Y NÚMERO DE EVENTOS DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA DE CUSCO, DEPARTAMENTO DE CUSCO.

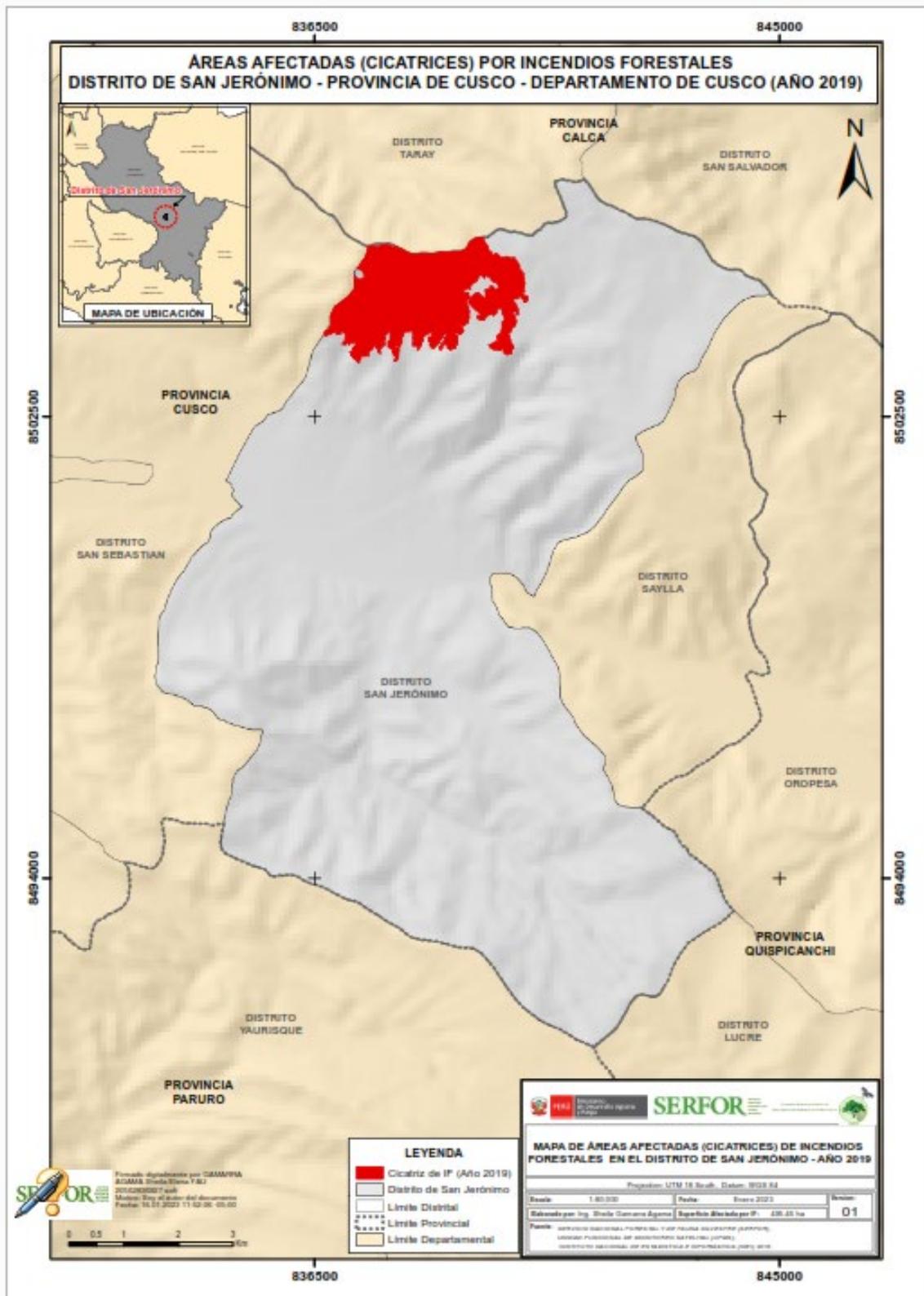
DISTRITO DE SAN JERÓNIMO		
Año	Cicatrices IF (ha)	N° Eventos IF
2017	14.97	2
2018	277.15	3
2019	495.45	1
2020	205.6	1
2021	1397.19	5
Total	2,390.36	12

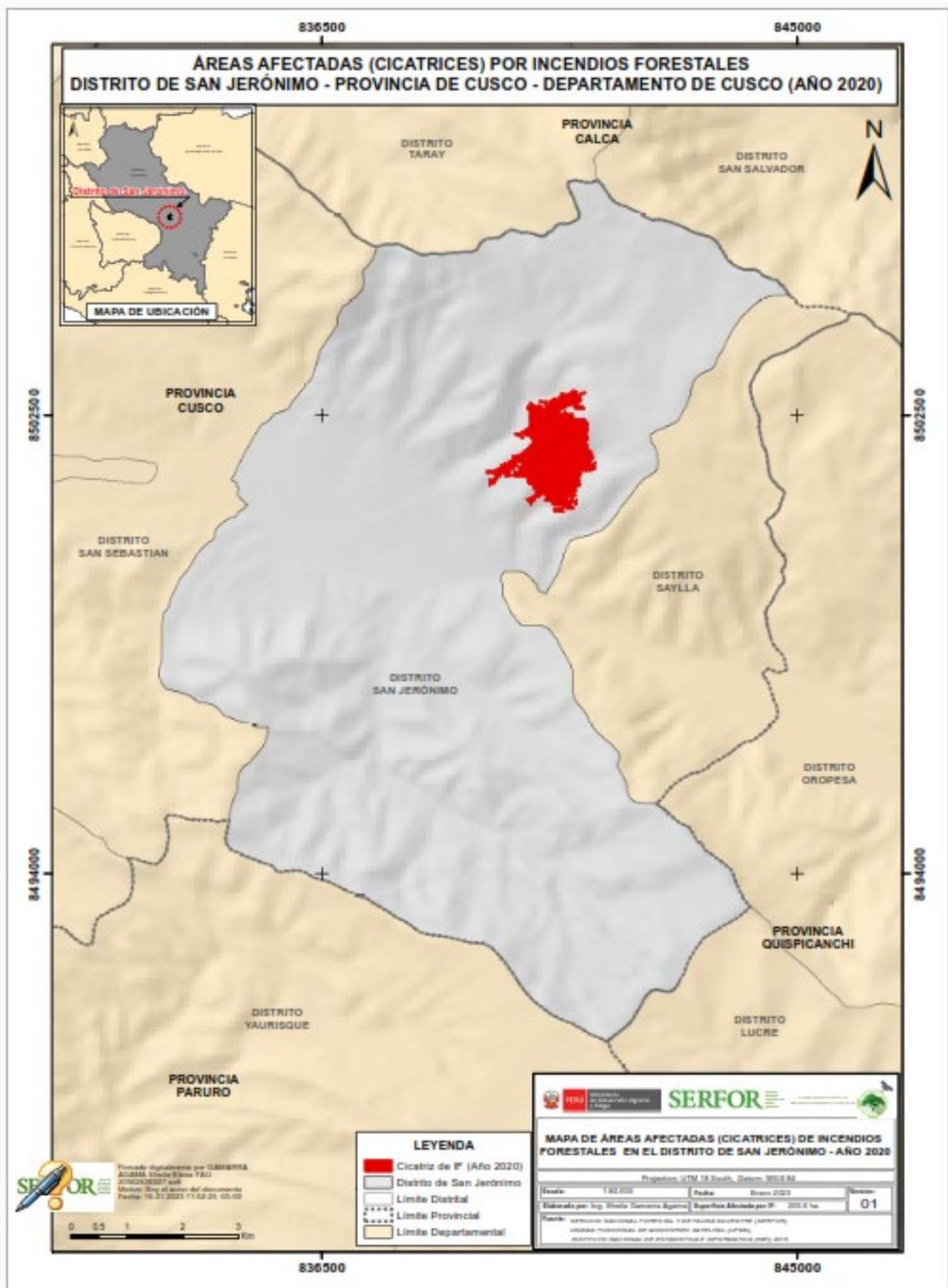


FIGURA 1. ÁREAS AFECTADAS (CICATRICES) Y EVENTOS DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA DE CUSCO, DEPARTAMENTO DE CUSCO.











UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTALVO MORALES KENNY RUBEN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Análisis de la severidad de incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de San Jerónimo-Cusco, periodo 2016-2021", cuyos autores son ROJAS APAZA RONAL, SALDIVAR LLACTAHUAMANI MILAGROS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, 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, 23 de Marzo del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTALVO MORALES KENNY RUBEN DNI: 43713929 ORCID: 0000-0003-4403-4360	Firmado electrónicamente por: KRMONTALVO el 23- 03-2023 19:15:03

Código documento Trilce: TRI - 0538369