

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

## “APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ESTUDIO DEL RIESGO Y PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE CUZCO”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Autor:**

Edytomas Shigeo Polo Tomosada

**Asesores:**

Mg. Ing. Grant Ilich Llaque Fernández  
<https://orcid.org/0000-0002-6793-775X>

Mg. Bg. Jessica Marleny Luján Rojas  
<https://orcid.org/0000-0001-8781-4231>

Trujillo – Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Wilberto Effio Quezada	<b>42298402</b>
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	Liana Ysabel Cárdenas Gutiérrez	<b>40221041</b>
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	Ronald Antonio Alvarado Obeso	<b>44562630</b>
	Nombre y Apellidos	N° DNI

## **DEDICATORIA**

A mi familia.

## **AGRADECIMIENTO**

A todos los que confiaron y creyeron en mí.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>JURADO EVALUADOR</b> .....	2
<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	4
<b>Resumen</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	6
<b>I. Introducción</b> .....	7
<b>II. Metodología</b> .....	12
<b>III. Resultados y Discusión</b> .....	14
<b>V. Conclusión</b> .....	24
<b>Referencias</b> .....	25

# Aplicación de Sistemas de Información Geográfica al Estudio de Riesgo y Prevención de Incendios Forestales en Áreas Naturales Protegidas de Cuzco

Polo Tomosada, Edytomas Shigeo, Bachiller en la Carrera de Ingeniería Ambiental<sup>1</sup>, Mg., Jessica Marleny Lujan Rojas<sup>2</sup>, y Mg., Grant Ilinch Llaque Fernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, N00125375@upn.pe

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

<sup>3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

**Resumen-** *En Perú, un aliado para contrarrestar los incendios forestales es la identificación de puntos vulnerables ante un posible siniestro. El objetivo de esta investigación fue diagnosticar mediante los sistemas de información geográfica, el estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en áreas naturales protegidas de Cuzco. El ámbito de análisis estuvo conformada por 6 áreas naturales protegidas, de las cuales se obtuvieron mapas de calor mediante el programa de software libre Qgis en su versión 3.16.8, con radios específicos según su extensión de terreno. Los resultados expresan la identificación de puntos vulnerables ante un posible incendio forestal ubicándolos geográficamente dentro del radio definido, identificándolos con el rango de color según la matriz de riesgos del Manual para la Evaluación de Riesgos del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), siendo estos de mayor concentración de calor y riesgo ante un posible incendio forestal.*

**Palabras Clave-** *incendios forestales, sistemas de información geográfica, mapas de calor, puntos vulnerables.*

**Abstract-** *In Peru, an ally to counteract forest fires is the identification of vulnerable points in the event of a possible disaster. The objective of this investigation was to diagnose by means of geographic information systems, the study of the risk and prevention of forest fires in protected natural areas of Cuzco. The analysis scope consisted of 6 protected natural areas, of which heat maps were obtained using the free software program Qgis in version 3.16.8, with specific radii according to their land area. The results express the identification of vulnerable points to a possible forest fire, locating them geographically within the defined radius, identifying them with the color range according to the risk matrix of the Manual for Risk Assessment of National Center for Disaster Risk Estimation, Prevention and Reduction (CENEPRED), being these with the highest concentration of heat and risk. before a possible forest fire.*

**Key words-** *forest fires, geographic information systems, heat maps, vulnerable points.*

## I. INTRODUCCIÓN

Durante las dos últimas décadas, han venido produciéndose numerosos incendios forestales que se han convertido en una problemática ambiental prioritaria, debido a que han ocasionado la pérdida de especies vegetales y animales, pérdidas económicas y ecológicas, que conducen a la degradación de suelos y desertización del paisaje; a la disminución del recurso hídrico y la contaminación atmosférica. Los incendios forestales se consideran la causa más importante de pérdida de cobertura vegetal [1]. Es necesario indicar que, los incendios forestales generan pérdidas graves y cuantiosas, las consecuencias son muy negativas sobre los recursos naturales, debido a la destrucción de la vegetación, matan la fauna silvestre, eliminan la vida en el suelo, contaminan las aguas y finalmente dañan el aire atmosférico [2].

En el ámbito mundial, el pronóstico sobre los incendios forestales (IF), tiende al incremento de su frecuencia y severidad, como consecuencia del cambio de uso del suelo, el Fenómeno El Niño y el calentamiento global [3]. Tal es el caso de Australia que fue arrasada por devastadores incendios forestales nunca antes vistos en el país. Estos masivos incendios forestales (incitados por temperaturas récord y meses de severas sequías) quemaron más de 26.4 millones de acres (10.6 millones de hectáreas), un área más grande que el estado de Virginia. Miles de hogares, medios de subsistencia y edificios han sido destruidos. Se calcula que más de 1,250 millones de animales pueden haber muerto directa o indirectamente debido a los incendios. Esta pérdida incluye miles de koalas y otros animales representativos como canguros, ualabíes, petauros, potorúes, cacatúas y melifágidos [4].

En Latinoamérica, los incendios afectan particularmente a bosques y selvas tropicales, afectando en gran porcentaje a la Amazonía. Pero en Sudamérica, se ha visto afectado particularmente, a los humedales, tal es el caso de Pantanal, el cual es un humedal tropical a caballo entre Brasil, Bolivia y Paraguay y tiene una extensión parecida a la de Rumanía y que se ha visto afectado por esta catástrofe [5]. En el Perú durante el año 2016, según datos del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI),

ocurrieron 281 incendios forestales, siendo noviembre donde se reporta el mayor número (93 incendios). La cobertura más afectada por los incendios forestales corresponde a pastizales de la región andina, en el que se tuvo una pérdida total de 38 930,00 hectáreas [3].

En las zonas de selva alta, selva baja, valles interandinos y territorios altoandinos de los andes peruanos es bastante común observar incendios y quemas de formaciones vegetales, con consecuencias negativas sobre el medio ambiente y los recursos naturales [6]. De acuerdo con la estadística, en el periodo 2012 - 2016 se produjeron 587 incendios forestales, siendo el departamento de Cuzco el que reportó el mayor número de incendios forestales, con 130 eventos para ser exactos; seguido por los departamentos de Puno y Apurímac. Tal es el caso del parque arqueológico de Sacsayhuamán en Cuzco, el cual fue devorado por un foraz incendio, consumiendo más de 30 hectáreas de pastizales y plantaciones de queñuas y eucaliptos en el secto de Tambomachay [2].

Por otro lado, durante el año 2016, la amazonía peruana ha experimentado una intensa temporada de incendios forestales, lo que concuerda con los últimos análisis de las alertas GLAD para detectar la deforestación en tiempo casi real. En el año 2018, la región Amazonas reportó 31 incendios forestales siendo la cuarta más afectada por los incendios con un área de cobertura vegetal perdida de 7982 hectáreas [2]. Por tal motivo, se considera importante conocer los puntos vulnerables dentro de las áreas naturales protegidas y es accesible poder utilizar los Sistemas de Información Geográfica los cuales nos permitirán ubicar ciertos puntos con la finalidad de evitar o prevenir accidentes ambientales futuros relacionados a incendios forestales, además ofrecen a sus usuarios la posibilidad de estimar el riesgo de incendio a través del análisis de una serie de criterios: el tipo y estado de la vegetación, la orografía del terreno y las condiciones meteorológicas.

Se considera importante para esta investigación el aporte de estudios e investigaciones científicas las cuales expresan su relación con el tema a tratar y denotan gran importancia en su contenido, tal es el caso de Moreno, (2007). En su investigación “Cambio Global e incendios forestales: Una visión desde España”, se analizó en qué medida la vegetación post incendio de distintos sitios se asemeja en función de sus historias de uso, y cómo lo hace tras incendios recurrentes, verificándose lo que en un primer momento actuó como factor de homogeneidad luego no lo es. De hecho parece que los ecosistemas son sensibles a la recurrencia

del fuego. Se analizaron factores entre el clima, los índices de peligros climáticos y la ocurrencia de los incendios, destacando que, las relaciones no son buenas cuando se comparan distintas zonas geográficas, pero sí lo son dentro de una zona cuando se hacen comparaciones a lo largo del tiempo.

Concluyó que, destacan los efectos más sobresalientes de las interacciones fuego, paisaje, cambios de usos del suelo y cambio climático, señalando la necesidad de incorporar las nuevas proyecciones de peligro de incendio a la gestión para adaptarse al cambio climático en el que estamos inmersos [7].

Moraga, (2009). En su investigación titulada “Evaluación del Riesgo ante Incendios Forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica”. Tuvo por objetivo la determinación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque en Costa Rica, a partir de variables explicativas como la proximidad a carreteras, tipos de usos de la tierra, focos de incendios, insolación y altitud sobre el nivel de mar, modeladas con técnicas de Evaluación Multicriterio (ECM) en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Dado que el concepto riesgo se refiere a una condición de probabilidad, en esta investigación se recrearon escenarios en donde podría tener lugar el fuego, los cuales se correlacionan con eventos que se han presentando en años anteriores. Esta investigación concluyó que la cuenca del río se encontraba expuesta a un potencial riesgo de incendio donde se menciona que bajo los niveles de riesgo se encontraba en un 57.90% de área en nivel de riesgo bajo, el cual implica 196063,77 hectáreas , 39.97% de área bjo el nivel de riesgo medio, el cual comprende 135350,28 hectáreas y un 2,12% en nivel alto, el cual involucre 7204,47 hectáreas [8].

Malpartida, (2016). En su estudio, el cual lleva por título, "Riesgo a Incendios Forestales en la Provincia de Satipo, Junín". Identificó el nivel de riesgo a incendios forestales de la provincia en mención, en el cual se identificaron variables necesarias para la elaboración de los sub-modelos de peligro antrópico, peligro natural y vulnerabilidad natural, las cuales fueron parte fundamental del análisis del riesgo a incendios forestales. La metodología empleada fue la que propone el Instituto Nacional De Defensa Civil (INDECI), donde menciona que el riesgo es el resultado de la interacción de la vulnerabilidad y el peligro

Obteniendo como resultado final que el 80,4% de la provincia de Satipo presenta un nivel moderado de riesgo a incendios forestales, seguido de un 15,8% de nivel bajo, un 3,7% de nivel alto y un 0,005% de nivel

muy bajo. Los resultados de esta investigación formaran parte de futuros planes de contingencia y planificación contra incendios forestales [9].

Para el presente estudio se han tomado variables importantes las cuales contienen el estudio del riesgo y la prevención en incendios forestales, mientras que, por otro lado, se considera también los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un incendio forestal corresponde a un fuego que se propaga sin control a través de vegetación rural o urbana y pone en peligro a las personas, los bienes y el medio ambiente [2]. En el mundo, los incendios forestales constituyen la causa más importante de destrucción de bosques o áreas naturales protegidas. En un incendio forestal no sólo se pierden árboles y matorrales, sino también casas, animales, fuentes de trabajo e inclusive vidas humanas [10]. Las áreas naturales protegidas son espacios continentales y/o marinos del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país [11].

En años recientes, los incendios forestales muestran mayor dispersión, frecuencia, tamaño y severidad [12]. La evaluación del riesgo de incendio, al igual que cualquier otro riesgo de accidente viene determinado por dos conceptos clave: los daños que puede ocasionar y la probabilidad de materializarse. Por lo tanto, el nivel de riesgo de incendio (NRI) se debe evaluar considerando la probabilidad de inicio del incendio y las consecuencias que se derivan del mismo. Por otro lado, la prevención de incendios forestales es el conjunto de actividades destinadas a evitar que, por acción u omisión de las personas, se originen incendios forestales, y a intervenir previamente la vegetación para impedir o retardar la propagación del fuego, en el caso que se produzca un incendio [13].

Un aliado fundamental para la prevención de incendios forestales son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales han sustituido la 'imagen estática', permitiendo combatir el fuego de una manera mucho más eficiente. Para ello se emplean los Sistemas de Información geográfica como herramienta para la visualización de la información y el análisis espacial de datos [14]. El análisis de estos

datos permite obtener una serie de índices de riesgo en base a los que determinar el comportamiento del fuego y adecuar las medidas de prevención: Índice Territorial de Riesgo de Incendio, el cual se puede determinar según la orografía del terreno, el tipo y estado de la vegetación de la zona. Además el Índice Orográfico se puede establecer según la pendiente del terreno, la cual puede favorecer la propagación vertical del fuego. Finalmente el Índice de Combustibilidad de la Materia Vegetal se delimita según el contenido en agua, el tipo de tejido, la estructura y la distribución de la materia vegetal. Los SIG son un conjunto de herramientas y procedimientos innovadores que usan datos espacialmente georreferenciados para resolver cuestiones como la ubicación de instalaciones para proyectos ambientales [15].

La evaluación del riesgo y la prevención de los incendios forestales son de suma importancia debido a que nos presenta un panorama de la situación actual en la que se encuentra algún lugar en el cual podría producirse una catástrofe, es por ello que, el objetivo principal de esta investigación es diagnosticar mediante los sistemas de información geográfica el estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en áreas naturales protegidas de Cuzco.

A su vez, describir el nivel de riesgo de incendios forestales en áreas naturales protegidas mediante SIG y analizar geográficamente diferentes puntos vulnerables mediante focos de calor, para la prevención contra incendios forestales en áreas naturales protegidas empleando SIG. Por otro lado, la elaboración de un plan básico de mitigación de incendios forestales en el ámbito de áreas naturales protegidas, el cual permitirá dictaminar los pasos a seguir frente a un siniestro como el antes mencionado.

## II. METODOLOGÍA

Se considera la presente investigación de tipo no experimental, debido a que trabaja con hechos sin manipulación de por medio, se establece principalmente en la observación. Aplicada ya que busca la implementación de mecanismos para el estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en áreas naturales protegidas, se utilizan datos obtenidos de fuentes propias y se realizó la descripción del lugar de aplicación de acuerdo a las variables consideradas. A la vez, La investigación es prospectiva, ya que, trata de dar salida a un hecho, a través de una propuesta o alternativa funcional a una problemática. Por otro lado es longitudinal, debido a que el estudio se realiza en intervalos de tiempo.

La población para esta investigación, corresponde a las 29 áreas naturales protegidas ubicados en la región del Cuzco. Por otro lado, se estableció como muestra de la investigación 6 áreas naturales protegidas, las cuales fueron determinadas mediante diferentes criterios de inclusión, los cuales contenían la ubicación del área natural protegida y esta debe corresponder al departamento de Cuzco, además de contener gran porcentaje de flora y fauna, mientras que, por otro lado, como criterio de exclusión se consideraba que el área natural protegida no se encuentre dentro del territorio a investigar.

La técnica utilizada para este estudio es la observación mediante la fotogrametría, debido a que se analizaron mapas para realizar la ubicación de puntos vulnerables dentro de las áreas naturales protegidas estudiadas mediante imágenes satelitales. Por otro lado, los instrumentos utilizados son el programa Qgis el cual realiza la obtención de mapas de calor y el programa USGS Landsat que colabora en la ubicación del área de estudio.

Para la investigación se realizó la captura de imágenes satelitales mediante el Sistema del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), permitiéndose así el estudio del porcentaje de cobertura vegetal en las áreas naturales protegidas estudiadas.

Por otro lado, se procedió a realizar la obtención de información geográfica mediante el geovisor del Ministerio del Ambiente y el geovisor del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, la cual ayudará la construcción de los mapas de calor para la determinación de puntos vulnerables en las áreas naturales protegidas de Cuzco.

Una vez obtenida la información geográfica, se realizaron los mapas para describir el nivel de riesgo mediante la colorimetría que estos arrojaban en los radios de estudio de los mapas, por lo cual, esto ayudaría a ubicar geográficamente los diferentes puntos vulnerables en los cual hay mayor incidencia de calor y como afectarían a las áreas naturales protegidas.

Posteriormente, con la información detallada y los puntos vulnerables, estos mapas fueron de vital importancia para la construcción del Plan de Mitigación de Incendios forestales, el cual permitirá la prevención y rápida acción frente a un siniestro, debido a que este refleja un panorama sobre lo que podría ocasionarse al generarse un incendio forestal.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la investigación se realizó la captura de imágenes satelitales mediante el Sistema del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para el estudio del porcentaje de la cobertura vegetal estipulada en un periodo de años del 2015 al 2020. Por otro lado, se trabajó ubicando los puntos vulnerables con mayor concentración de calor de las ANP de Cuzco, de acuerdo a la dimensión del área natural en estudio y el radio obtenido según la extensión del terreno, considerando que el lugar donde existe una menor cantidad de puntos, está condicionado a la menor proporción de dimensión del área, para lo cual nos apoyamos en los mapas del Geovisor y mapas del SERNANP los cuales nos permiten obtener una mejor información más clara y precisa al momento de obtener los puntos vulnerables ubicados geográficamente tomando el radio obtenido en la elaboración de los mapas de calor.

Los resultados obtenidos están expresados en las siguientes tablas según el área natural protegida correspondiente:

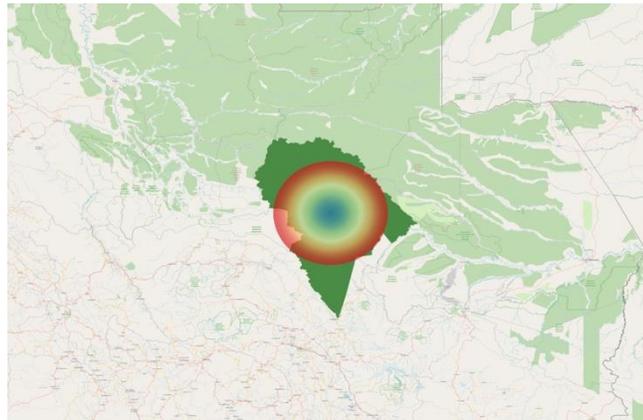


Fig. 1 Mapa de calor del Área Natural Protegida- Parque Nacional del Manu

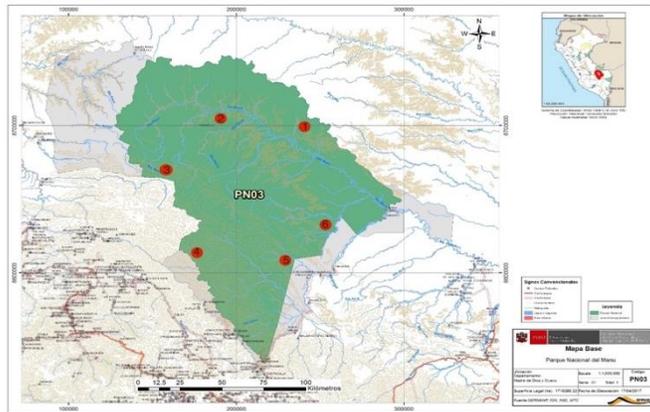


Fig. 2 Mapa de Puntos Vulnerables con mayor concentración de calor del Área Natural Protegida- Parque Nacional del Manu

Parque Nacional del Manu (WGS 84)				
Puntos vulnerables	Nº	Longitud	Latitud	Zona
	1	-71.36277	-11.73571	19s
	2	-71.87363	-11.67655	19s
	3	-72.16477	-12.02062	18s
	4	-71.98899	-12.54662	19s
	5	-71.47812	-12.57343	19s
	6	-71.24192	-12.35888	19s

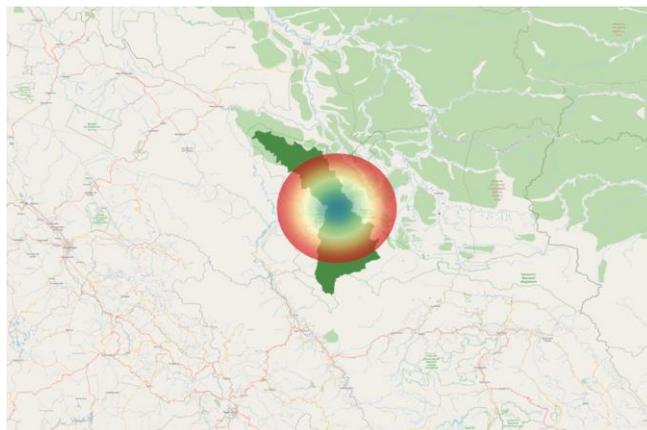
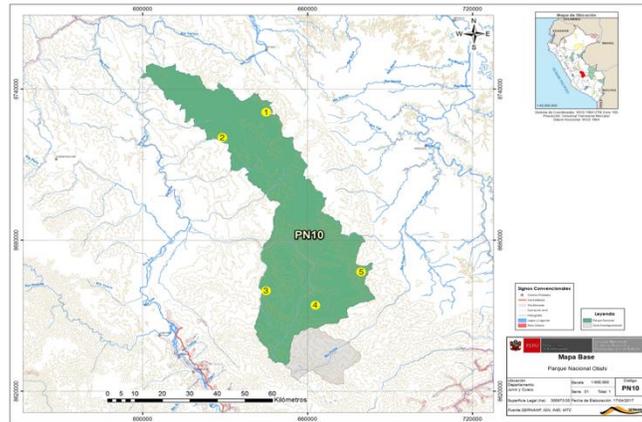
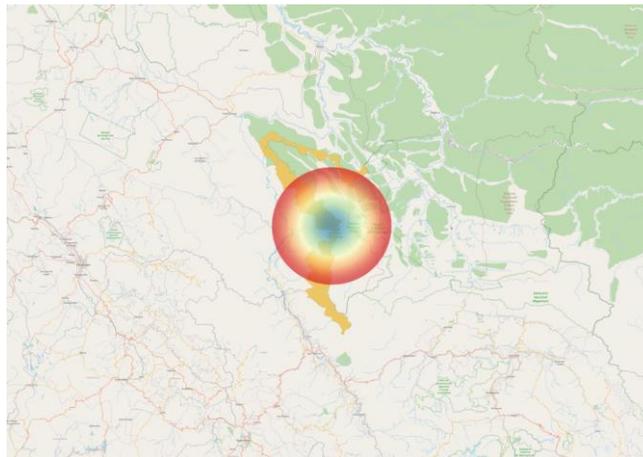


Fig. 3 Mapa de calor del Área Natural Protegida- Parque Nacional Otishi



Parque nacional Otishi (WGS 84)				
Puntos vulnerables	Nº	Longitud	Latitud	Zona
	1	-73.66858	-11.48141	18s
	2	-73.82514	-11.57291	18s
	3	-73.67682	-12.12396	18s
	4	-73.53949	-12.19108	18s
	5	-73.33624	-12.04070	18s

Fig. 5 Mapa de calor del Área Natural Protegida- Reserva Comunal Ashaninka



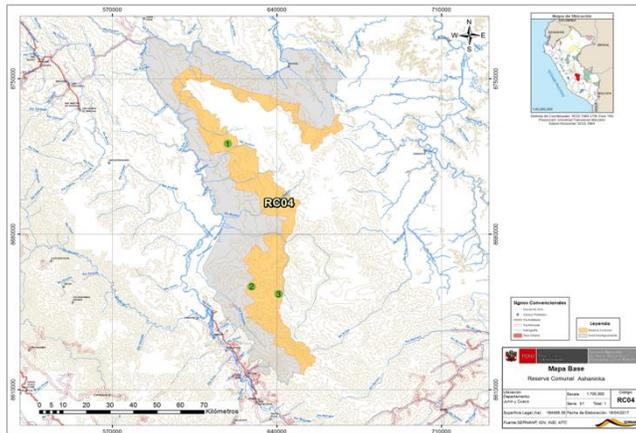


Fig. 6 Mapa de Puntos Vulnerables con mayor concentración de calor del Área Natural Protegida- Reserva Comunal Ashaninka

Reserva Comunal Ashaninka (WGS 84)				
Puntos vulnerables	Nº	Longitud	Latitud	Zona
	1	-73.91047	-11.56101	18s
	2	-73.81434	-12.14699	18s
	3	-73.70448	-12.09866	18s

Tabla 3. Puntos vulnerables del Área Natural Protegida- Reserva Comunal Ashaninka

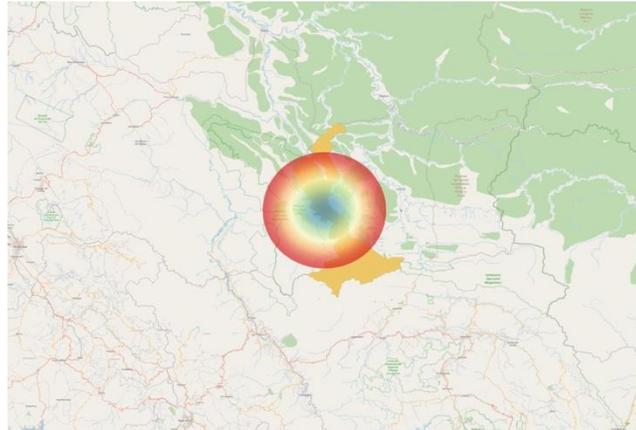


Fig. 7 Mapa de calor del Área Natural Protegida-Reserva Comunal Machiguenga

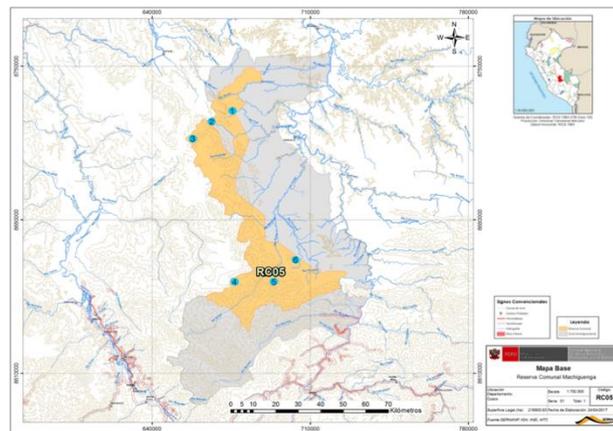


Fig. 8 Mapa de Puntos Vulnerables con mayor concentración de calor del Área Natural Protegida- Reserva Comunal Machiguenga

Reserva Comunal Machiguenga (WGS 84)				
Puntos vulnerables	Nº	Longitud	Latitud	Zona
	1	-73.38588	-11.49104	18s
	2	-73.47102	-11.53948	18s
	3	-73.55617	-11.61482	18s
	4	-73.665	-11.61482	18s
	5	-73.665	-11.61482	18s
	6	-73.14967	-12.07986	18s

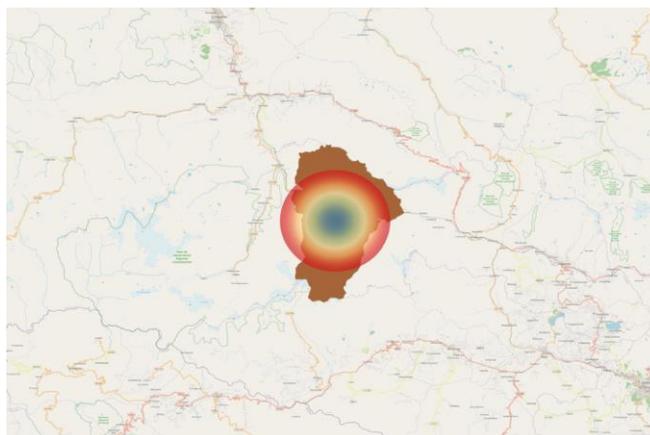


Fig. 9 Mapa de calor del Área Natural Protegida-Santuario Histórico Machu Picchu

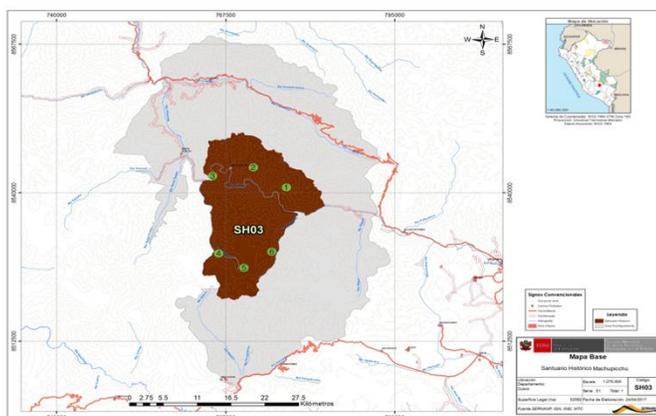


Fig. 10 Mapa de Puntos Vulnerables con mayor concentración de calor del Área Natural Protegida-Santuario Histórico Machu Picchu

Santuario Histórico Machu Picchu (WGS 84)				
Puntos vulnerables	N°	Longitud	Latitud	Zona
	1	-72.44081	-13.18757	18s
	2	-72.49369	-13.15882	18s
	3	-72.55205	-13.17019	18s
	4	-72.54587	-13.29785	18s
	5	-72.51085	-13.31924	18s
	6	-72.45592	-13.29318	18s

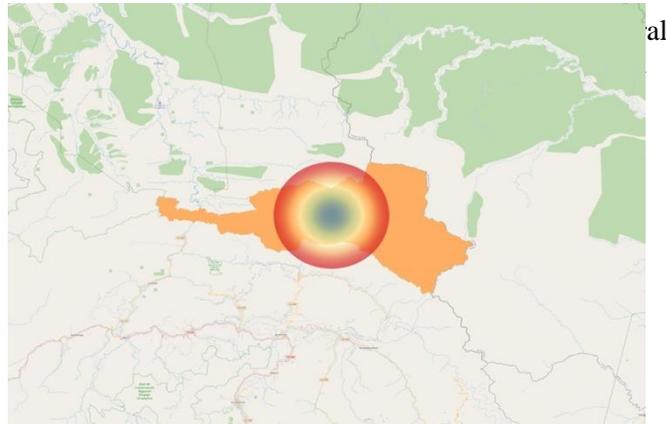


Fig. 11 Mapa de calor del Área Natural Protegida-Santuario Nacional Megantoni

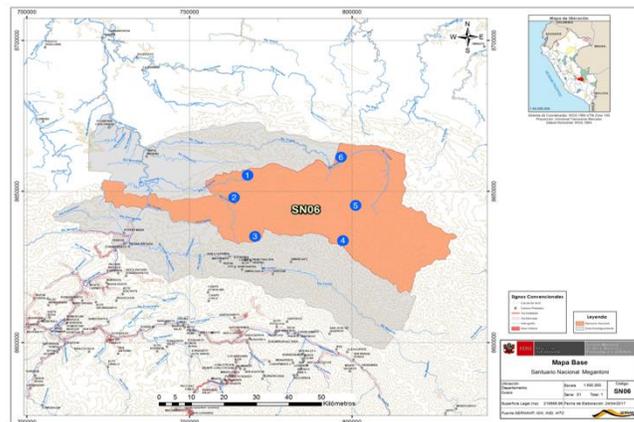


Fig. 12 Mapa de Puntos Vulnerables con mayor concentración de calor del Área Natural Protegida-Santuario Nacional Megantoni

Santuario Nacional Megantoni (WGS 84)				
Puntos vulnerables	Nº	Longitud	Latitud	Zona
	1	-72.51713	-12.13840	18s
	2	-72.54185	-12.21895	18s
	3	-72.51026	-12.34508	18s
	4	-72.26307	-12.36118	18s
	5	-72.21912	-12.25384	18s
	6	-72.28367	-12.09007	18s

Tabla 6. Puntos vulnerables del Área Natural Protegida- Santuario Nacional Megantoni

La investigación se basa en el estudio de las áreas naturales protegidas pertenecientes al departamento de Cuzco, donde la mayoría de ellas tiene un valor histórico y ecosistémico; por lo tanto, es de suma importancia su conservación para la protección de especies de flora y fauna. El SERNANP (2014) menciona a las áreas naturales protegidas como áreas geográficamente definidas del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país [11]. Así también, por Ruiz Muller (2020) considera que las áreas naturales protegidas son espacios protegidos jurídicamente por el Estado en los cuales se conservan y manejan sosteniblemente muestras representativas de la biodiversidad en sus diferentes niveles de diversidad genética, de especies y de ecosistemas, motivo por el cual es de suma importancia su protección en el cuidado de la flora y fauna que estas contienen a lo largo y ancho de su extensión de terreno [16].

Los sistemas de información geográfica nos permiten la realización de estudios en base a criterios como porcentaje de cobertura vegetal, concentración de temperaturas; así como también, el análisis de calor en determinadas áreas para la definición de puntos vulnerables. Particularmente en esta investigación, nos ha permitido evaluar diferentes imágenes satelitales, las cuales fundamentan el porcentaje de cobertura vegetal existente en un determinado periodo de tiempo y como ésta ha evolucionado al pasar de los años. Por otro lado, la utilización de información geográfica obtenida del geovisor del SERNANP para la construcción de mapas de calor, determinan el grado de calor existente en las áreas naturales protegidas de Cuzco con la finalidad de prevenir a tiempo un posible incendio forestal y evitar con ello, la pérdida de cobertura vegetal,

que es un grave daño al ambiente, así como también a las diferentes especies de flora y fauna, y a la población que pertenece al área afectada. Bracken y Webster (1992) mencionan la importancia de los Sistemas de Información Geográfica debido a que estos son un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad de manejar datos geográficos, es decir, espacialmente referenciados, los cuales se pueden representar gráficamente como mapas [17].

Cabe mencionar que, para realizar el estudio es necesario manejar o delimitar los diferentes puntos vulnerables o de calor mediante los mapas elaborados, ubicándolos geográficamente dentro del radio en el área determinada. Para Pompa y Hernández (2012), la detección de puntos de calor es una herramienta que provee información oportuna para el combate de incendios forestales debido a que estos son una de las principales causas de grandes pérdidas económicas y ecológicas. Es por ello que la detección de puntos vulnerables o de calor se realiza con el propósito de proveer información oportuna para el combate de incendios forestales. (Por que y para qué los puntos de calor) [18].

Los mapas de calor están interpretados según la colorimetría en la matriz de riesgo brindada en el Manual para la Evaluación de Riesgos del CENEPRED, en cual detalla los colores según el nivel de riesgo al cual está expuesto un área determinada, el color rojo intenso para el nivel de riesgo mayor o muy alto, el cual indica que el proceso del fenómeno es indetenible; por otro lado, el color naranja como riesgo alto, significa que el proceso del fenómeno es controlable, el color amarillo para riesgo medio, el cual menciona que podría o no producirse un siniestro y el color verde para el nivel de riesgo bajo, indica que la posibilidad de generarse un siniestro es casi nula. Los mapas obtenidos demuestran los diferentes niveles de riesgo según el radio definido, se tomaron los puntos de riesgo mayor o muy alto para la determinación de puntos vulnerables, debido a que son las áreas de mayor implicancia en el escenario de un incendio forestal.

Tal es el caso del Santuario Histórico Machu Picchu, en el cual podemos expresar que se encuentra el radio determinado en toda el área, categorizándose en el nivel de riesgo muy alto, debido a la intensidad del color y la ocupación dentro del área de estudio, como se detalla en la figura 9; mientras que, la Reserva Comunal Machiguenga, se puede catalogar como un nivel de riesgo de alto a muy alto, esto debido a que el radio obtenido tiene muy escasa ocupación dentro del área natural protegida, la cual está expresada en la figura 7.

Los puntos vulnerables determinados, fueron ubicados según los puntos cardinales y tomando el radio de calor obtenido según la expansión del área natural protegida, tal es el caso del Parque Nacional del Manu, como se observa en la tabla I, donde se ubicaron 6 puntos vulnerables partiendo por el noreste con el punto N°1, norte con el punto N°2, noroeste punto N°3, suroeste punto N°4, sur con el punto N°5 y finalmente en el sureste con el punto N°6. Por otro lado, La Reserva Comunal Ashaninka, comprende tan solo 3 puntos vulnerables de mayor incidencia de calor, como se precisa en la tabla III, debido a que su expansión es menor en comparación a las demás áreas naturales protegidas, comprendiéndose así con mayor implicancia de calor en el punto N°1 en el noroeste, el punto N°2 en el suroeste y el punto N°3 en el sureste.

Las limitaciones que se tuvieron en el estudio es la falta de información o investigaciones sobre el tema abordado; así como también, la poca actualización de la información geográfica. Por otro lado, las implicancias que presentó esta investigación es que puede ser replicada por futuros investigadores, además de ser una base o precedente para nuevos estudios y a la vez, se recomienda la importancia de implementación de nuevas herramientas no solo en áreas naturales protegidas, sino también, en diversas zonas a lo largo y ancho del territorio nacional.

## V. CONCLUSIÓN

Para este estudio se diagnosticó mediante los sistemas de información geográfica el estudio del riesgo y la prevención de incendios forestales en áreas naturales protegidas de Cuzco, lo cual permitió la descripción del nivel de riesgo de incendios forestales en las áreas naturales protegidas mediante los sistemas de información geográfica. Por otro lado, se ubicaron los puntos vulnerables teniendo como base los mapas geográficos y siendo respaldados por mapas de calor. Se desarrolló la elaboración del plan básico de mitigación de incendios forestales en el ámbito de áreas naturales protegidas de Cuzco, basándose en el estudio ya realizado.

## REFERENCIAS

- [1] Moore, P. F. (2019). Global wildland fire management research needs. *Current Forestry Reports*, 5, 210–225. doi: 10.1007/s40725-019-00099-y
- [2] Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre SERFOR. (2018). Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima (Perú). <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2018/12/Plan-de-prevenci%C3%B3n-y-reducci%C3%B3n-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>
- [3] Samaniego, C. (2013). Efecto de un incendio forestal en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. *Labill. subsp. globulus* en Huaraz. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima (Perú). <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] World Wild Life (2020). Devastadores incendios forestales en Australia. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/devastadores-incendios-forestales-en-australia>
- [5] British Broadcasting Corporation BBC, (2020). Incendios en America Latina: La catástrofe que está afectando gran parte del continente americano. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-54249424>
- [6] Farfán, A. y Hurtado, F. (2014). Las quemas e incendios de formaciones vegetales en la región Inka: los casos de los valles de Paucartambo, La Convención y Yanatile. Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente IMA - Región Inka. Cuzco (Perú). <http://www.unsaac.edu.pe/investigacion/iiur/librosiiur/QuemasIncendiosIMA>
- [7] Moreno, J., (2007). Cambio Global e incendios forestales: Una visión desde España. <http://www2.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/Keynote-Moreno.pdf>
- [8] Moraga, J., (2009). Evaluación del Riesgo ante Incendios Forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744669002.pdf>
- [9] Malpartida, R. (2016). Riesgo de incendios forestales en la provincia de Satipo- Junin. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3471/Malpartida%20Mauricio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias- CNE (2019). Incendios Forestales. [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomentaciones\\_consejos/incendio\\_forestal.aspx](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/incendio_forestal.aspx)
- [11] Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado- SERNANP (2014). ¿Qué es un ANP? <https://www.sernanp.gob.pe/ques-es-un-anp>
- [12] International Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007. Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge,

UK: Cambridge University Press. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf)

- [13] Duarte, G. y Piqué, T. (2001). Norma Técnica de Prevención [NTP] 599. [https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_599.pdf/390d3910-3ad3-404b-8d12-ef93a1b7f0b0](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_599.pdf/390d3910-3ad3-404b-8d12-ef93a1b7f0b0)
- [14] Enciso, D., Antonio, H., Robles, F., Duran, E., Castro, D. (2017) .Sistemas de Información Geográfica para optimizar el transporte de residuos a sitios de disposición final en el Estado de México, México. Instituto Politécnico Nacional, México. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85077575523&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=sistemas+de+informaci%3%b3n+geogr%3%a1fica&nlo=&nlr=&nls=&sid=882ee8d48ada58037755e9eca4d48592&sot=b&sdt=b&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY%28sistemas+de+informaci%3%b3n+geogr%3%a1fica%29&relpos=20&citeCnt=0&searchTerm=>
- [15] Kanchanabhan J., Mohaideen J.A., Srinivasan S. y Sundaram V.L.K. (2010). Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. Waste Manage. Res. 29 (3), 323-339. DOI: 10.1177/0734242x10366272
- [16] Ruiz Muller, Manuel. (2020). Agrobiodiversidad en las áreas naturales protegidas en el Perú. SPDA. [https://spda.org.pe/?wpfb\\_dl=4612](https://spda.org.pe/?wpfb_dl=4612)
- [17] Biblioteca digital CPA. (2013). SIG Y MEDIOAMBIENTE: principios básicos, sistemas de información geográfica captitulo 1. <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH52f4.dir/doc.pdf>
- [18] Pompa, M. y Hernandez, P. (2012). Deeterminación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México. Scielo. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002012000100007](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002012000100007)