



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Análisis Multitemporal de Incendios Forestales en el Santuario
Histórico de Machupicchu, 2008 – 2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Arteaga Ccanchi, Maritza Maribel (ORCID: 0000-0003-1464-511X)

Cornejo Serrano, Erika Samantha (ORCID: 0000-0003-4238-4180)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios por que, con él somos todo y sin él somos nada. A nuestros padres, quienes nos dieron la vida, nos apoyaron y brindaron su mayor confianza. A nuestro asesor de la Universidad César Vallejo que estuvo presente en nuestro camino de aprendizaje compartiendo con nosotras sus conocimientos para lograr nuestros objetivos.

Maritza y Samantha

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, que fue nuestro principal apoyo y motivador para cada día continuar sin tirar la toalla.

A la Jefatura de Santuario Histórico de Machupicchu, al jefe, especialistas y guardaparques del Santuario Histórico Machupicchu, quienes fueron una pieza clave a través de su apoyo, conocimiento y experiencias durante el desarrollo de nuestra tesis.

Al M.Cs. Wilian Nazario Cárdenas Enriquez, por su apoyo y guía para el modelamiento mediante uso de Sistemas de Información Geográfica.

Al Ing. Santos Mera Terrones, por el conocimiento, el interés, el apoyo y las recomendaciones para la continuación de la Investigación.

Maritza y Samantha

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE MAPAS	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	11
3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	13
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	16
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	17
3.5. PROCEDIMIENTOS.....	18
3.6. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	25
3.7. ASPECTOS ÉTICOS.....	27
IV. RESULTADOS.....	28
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES.....	66
VII. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	14
Tabla 2. Datos cartográficos	17
Tabla 3. Capas de información para modelamiento.....	19
Tabla 4. Criterios de ponderación	24
Tabla 5. Estadísticos descriptivos respecto a distintas variables.....	28
Tabla 6. Percentil de las Variables evaluadas	31
Tabla 7. Estadística descriptiva según Muestreos por centro poblado	32
Tabla 8. Estadística descriptiva según la cobertura actual	34
Tabla 9. Estadística descriptiva según cobertura antes del incendio forestal	36
Tabla 10. Estadística descriptiva según actividad antrópica actual.	38
Tabla 11. Estadística descriptiva según presencia de cultivos	40
Tabla 12. Estadística descriptiva según grado de perturbación.....	41
Tabla 13. Estadística descriptiva según NBR reclasificado	42
Tabla 14. Estadística descriptiva según NDVI reclasificado	44
Tabla 15. Análisis de Varianza ANOVA de NBR.....	46
Tabla 16. Análisis post hoc de Tukey b de NBR.....	46
Tabla 17. Análisis de Varianza – ANOVA de NDVI.....	52
Tabla 18. Análisis post hoc de Tukey de NDVI	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evaluación del registro de muestreos realizados	34
Figura 2. Evaluación según el tipo de cobertura actual.....	36
Figura 3. Evaluación según la cobertura antes del incendio forestal	37
Figura 4. Evaluación según la actividad antrópica actual.....	39
Figura 5. Evaluación según presencia de cultivos	40
Figura 6. Evaluación según el grado de perturbación actual.....	42
Figura 7. Evaluación de NBR reclasificado	43
Figura 8. Evaluación de NDVI reclasificado	45
Figura 9. Gráfico de evaluación histórica de NBR en el periodo 2008-2020.....	48
Figura 10. Gráfico de cajas y bigotes sobre evaluación histórica de NBR.....	49
Figura 11. Gráfico de evaluación histórica de NDVI en el periodo 2008-2020... 54	
Figura 12. Gráfico de cajas y bigotes sobre evaluación histórica de NDVI.....	55
Figura 13. Porcentaje de prueba al azar.....	57
Figura 14. Área bajo la curva – AUC	58
Figura 15. Prueba de “Jackknife” para la importancia de las variables.....	62
Figura 16. Prueba de “Jackknife” con AUC.....	63

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Localización del área de estudio	16
Mapa 2. Cambio NBR 2008-2014	50
Mapa 3. Cambio NBR 2015 – 2020	51
Mapa 4. Cambio NDVI 2008 – 2014	55
Mapa 5. Cambio NDVI 2015 - 2020	56
Mapa 6. Modelo MaxEnt	59
Mapa 7. Modelamiento de áreas potenciales a incendios forestales	60

RESUMEN

Se realizó el estudio del análisis multitemporal de incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2020, mediante 3 métodos como son caracterización espacial, análisis multitemporal y modelamiento, apoyados con análisis estadísticos mediante software SPSS, ArcGIS 10.5 y MaxEnt. Los muestreos se realizaron en temporada de secas y lluvias, para la caracterización espacial se contrastó los datos obtenidos en campo, con 14 capas de información incluyendo las bioclimáticas, sistemas ecológicos además de las variables meteorológicas, índices espaciales, antrópicas y de paisaje. Con ellas se determinó las características y condiciones a las que se dieron los incendios forestales. Adicionalmente el análisis multitemporal se evaluó mediante los índices NBR y NDVI en cual mostraron la variación por años, además de cambios bruscos dentro del periodo de evaluación. Del modelamiento realizado, se determinó que las variables que más aportan al desarrollo del modelo fueron los centros poblados, radiación y cobertura vegetal. Luego de la corroboración del modelo, se concluyó que las áreas con mayor potencial a incendios forestales se encuentran ubicados en los sectores de Huayllabamba, Qoriwayrachina, Intiwatana y Wiñaywayna, concluyéndose a estas como zonas de atención prioritaria en tema de prevención.

PALABRAS CLAVE

Incendios forestales, análisis multitemporal, teledetección, índices espaciales.

ABSTRACT

The study of the space - time análisis of forest fires in the historic sanctuary of Machupicchu was carried out in the period between 2008 and 2020, using 3 methods such as spatial characterization, multitemporal analysis and modeling, supported with statistical analysis using SPSS software, ArcGIS 10.5 and MaxEnt. The samplings were carried out in the dry and rainy season, for the spatial characterization the data obtained in the field was contrasted, with 14 layers of information including bioclimatic, ecological systems as well as meteorological, spatial indexes, anthropic and landscape variables. With them, the characteristics and conditions of the forest fires were determined. Additionally, the multitemporal analysis was evaluated using the NBR and NDVI indices in which they showed the variation by years, in addition to abrupt changes within the evaluation period. From the modeling carried out, it was determined that the variables that most contribute to the development of the model were the populated centers, radiation and vegetation cover. After the corroboration of the model, it was concluded that the areas with the greatest potential for forest fires are located in the sectors of Huayllabamba, Qoriwayrachina, Intiwatana and Wiñaywayna, concluding these as priority areas for prevention.

KEY WORDS

Forest fires, space - time analysis, remote sensing, spatial indexes.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de los incendios forestales necesita generalmente, un estudio incluido de la región puesto que dichos no se crean por la acción de un componente aislado, sino que se derivan de la acción conjunta de componentes, como son ocupaciones antropogénicas, vegetación, puntos climáticos y topografía que resultan en especial significativos. (CRUZ ESPINDOLA, y otros, 2017)

Los incendios registrados en zonas rurales generalmente son causados por actividades antrópicas, con la finalidad de renovar los pastos e iniciar la campaña agrícola, habilitar y ampliar chacras de cultivo, deshacerse de los residuos. Esta actividad se considera como una mala práctica porque desencadena incendios forestales y debido a los factores climáticos (sequías) la expansión del fuego se torna incontrolable. (SERFOR, 2020)

Según el documento de, “Caracterización del peligro por incendios forestales” Cusco, tiene el registro más alto de incendios a nivel nacional, además en dicha caracterización, los resultados muestran un nivel muy alto de peligro por susceptibilidad de incendios forestales. (CENEPRED, 2018)

En la actualidad, el santuario histórico de Machupicchu - SHM a pesar de ser catalogado como “patrimonio natural cultural del Perú” (UNESCO, 2011), afronta diferentes problemas que merman su calidad e integridad, como conflictos sociales, institucionales y ambientales los cuales se detallan en el Plan maestro (SERNANP, 2015).

Tomando como base un periodo de 13 años hasta la actualidad se tiene cuantificada 2492.97 hectáreas (ha) de área afectada por incendios forestales dentro del Santuario, tomando referencia la información proporcionada por SERNANP-Machupicchu; es por ello por lo que dentro de investigaciones prioritarias del mismo se ha capitulado como tema de interés (SERNANP, 2018).

Ante esto se plantea el siguiente problema, ¿Cómo es el análisis multitemporal de incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu, 2008 – 2020?, al cual le acompañan tres problemas específicos, (a). ¿Qué características espaciales tuvieron los incendios forestales en el santuario histórico de

Machupicchu?, (b). ¿Cuál fue la evolución temporal de los incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu? Y finalmente (c). ¿Cuáles son las áreas potenciales a incendios forestales dentro del santuario histórico de Machupicchu?

Al conocer la dinámica multitemporal de los incendios forestales dentro del SHM, permitirá elaborar estrategias de prevención y acciones de mitigación de carácter administrativo, técnico y normativo que garantice la conservación del ecosistema y sus recursos como área natural protegida.

El santuario histórico de Machupicchu al ser una área natural protegida - ANP por las propiedades naturales y culturales de trascendencia que tiene, además está con inconvenientes. Unos de los más importantes vienen a ser los incendios forestales que no solo tiene secuelas de pérdida paisajística sino además de pérdida de los primordiales objetos de conservación del santuario (Escalante Valencia, y otros, 2014 pág. 141).

Las entidades gubernamentales, además podrían impugnar como un método rápido y fiable que ayude a focalizar sus estrategias y recursos económicos con el objetivo de evitar el acontecimiento de incendios forestales que afecten a la diversidad biológica, degraden los ecosistemas y servicios ambientales de los que dependen la sociedad local y regional.

Los objetos de conservación en los cuales predomina el SHM son los sistemas ecológicos como piso de valle, bosque húmedo, bosque seco, pajonal y a nivel de especies como son nutria, oso de anteojos, gallito de las rocas, pato de los torrentes, orquídeas y queuña, los cuales se resaltan en el plan maestro. Estos recursos están siendo vulnerados debido a actividades principalmente antrópicas como es el caso de incendios forestales haciéndose necesario la protección de este ecosistema con el fin de reducir la vulnerabilidad. (Escalante Valencia, y otros, 2014)

El proceso técnico-científico a utilizarse nos permitirá conocer el desempeño del análisis espacial respecto a este fenómeno para que posteriormente pueda ser replicado en otros ámbitos.

Esta investigación tiene la finalidad de determinar cómo fueron los incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu a través del tiempo y que características tuvieron los lugares de ocurrencia, el cual propone el uso de tecnologías que puedan brindar bases sólidas como la teledetección ambiental para ser utilizada como medio de evaluación, detección y prevención de incendios forestales, el cual este acorde a la realidad del área de estudio y con métodos que serán respaldados por información levantada en campo y su posterior análisis.

Por lo mismo la tesis desarrollada usa tecnologías que tienen posibilidad de ser tomadas como bases sólidas como es la teledetección ambiental para ser utilizada como medio de evaluación, detección y prevención de incendios forestales en áreas naturales protegidas con fines de conservación.

El objetivo general de la presente investigación es; Analizar multitemporalmente los incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu, para cumplir con este objetivo se propusieron tres objetivos específicos los cuales son: (a). Caracterizar espacialmente los Incendios Forestales suscitados en el santuario histórico de Machupicchu, (b). Comparar temporalmente los incendios forestales suscitados en el santuario histórico de Machupicchu, (c). Modelar áreas potenciales a incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu.

II. MARCO TEÓRICO

Según (MANRIQUEZ ZAPATA, y otros, 2020) en su investigación “La atipicidad legal medioambiental y el daño a los recursos naturales. El caso de los incendios forestales ocurridos en Chachapoyas y Luya, Perú” explica que análisis ha sido examinar la atipicidad legal medioambiental en la decisión del delito en los incendios forestales ocurridos en Chachapoyas y Luya, Perú, pese al mal que ocasionan en los recursos naturales. El análisis ha sido de enfoque cuantitativo y detallado ya que se reconocieron propiedades de las cambiantes de análisis atipicidad legal medioambiental en los casos de incendios forestales y los perjuicios generados en los recursos naturales. Asimismo, el análisis ha sido del tipo retrospectivo ya que los datos se tomaron de fuentes secundarias de carpetas fiscales de la fiscalía especializada en materia ambiental de Chachapoyas de los casos ya suscitados. Y transversal pues la variable de análisis ha sido medida en una sola situación. Se siguió un muestreo no probabilístico por conveniencia, tomando en cuenta criterios de integración y exclusión. Para la recolección de datos se logró uso de la técnica de revisión documentaria y el instrumento ha sido una ficha de recolección de datos realizada por el investigador, donde se consignó los datos referidos al sitio del incendio, fauna afectada, flora afectada y las posiciones fiscales de archivamiento de los casos revisados. Los autores concluyen que, en Amazonas, Perú, el 79,2 % de los incendios forestales ocurrieron en la provincia de Chachapoyas y el 20,8 % en la provincia de Luya, los cuales perjudicaron a extensa variedad especies de la flora y fauna.

Para (ZAVALA, y otros, 2019) en su investigación “Áreas quemadas y cambio de uso del suelo en el suroeste de Chihuahua (México) durante el periodo 2013-2017: Identificación con el índice normalized burn ratio (NBR)” en ella muestran que en este análisis se identificaron y cuantificaron superficies quemadas y transiciones de uso de suelo en el suroeste de Chihuahua, México. Esto se hizo por medio del índice normalized burn ratio (NBR) en imágenes satelitales que corresponden al lapso 2013-2017. El procedimiento usado permite el monitoreo y funcionamiento ambiental de regiones dañadas por fuego en Chihuahua y puede replicarse en zonas con condiciones semejantes. Los autores concluyen

que el NBR tuvo una eficiencia bastante alta en la detección de superficies quemadas, lo que lo hace aconsejable para trabajos posteriores. En el proceso de evaluación terminó demasiado eficaz combinar información obtenida de diferentes sensores y plataformas, como los datos de fuego activo de la plataforma FIRM y los valores espectrales de NBR logrados de las imágenes landsat 8. Los dos conforman insumos demasiado útiles para hacer esta clase de estudios, puesto que se complementan entre sí, aun cuando proceden de fuentes con diferentes soluciones espaciales, temporales y espectrales.

Según (MANZO DELGADO, y otros, 2020) en su investigación “Análisis espacial y temporal de áreas quemadas en 1998, 2003 y 2015 en la reserva de la biósfera Montes Azules, Chiapas, México”. En la indagación se muestran los incendios forestales conforman una amenaza para la diversidad biológica de las selvas tropicales húmedas. La finalidad de este trabajo ha sido examinar el reparto espacial y temporal de las superficies quemadas en la reserva de la biosfera Montes Azules y su región de predominación. El procedimiento se basó en los índices NBR (normalized burn ratio) y BAIM (burnt area index for MODIS) derivados del infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta de imágenes landsat, proceso validado con imágenes aster. El cual se concluyó que las imágenes landsat son una elección eficiente para examinar el reparto espacial y temporal de las superficies quemadas en la reserva de la biosfera Montes Azules y una región de predominación.

El autor (MANRIQUEZ ZAPATA, 2019) en su investigación “Especies forestales afectadas en incendios ocurridos en Amazonas: Un análisis de la información fiscal de los casos de Chachapoyas y Luya”. La finalidad del presente análisis ha sido detectar las especies forestales dañadas en los incendios forestales ocurridos en las provincias de Chachapoyas y Luya del territorio Amazonas, Perú, en el lapso 2016 y 2019 de acuerdo con la fiscalía especializada medio ambiental. El análisis ha sido de grado detallado, de enfoque cuantitativo, corte transversal y retrospectivo, en ella la muestra estuvo conformada por 24 expedientes fiscales sobre los incendios ocurridos en las provincias de Chachapoyas y Luya, siendo seleccionados por un muestreo no probabilístico; el instrumento aplicado ha sido una ficha de recolección de datos hecho por el

investigador. La cual se concluyó con la más grande cantidad de incendios forestales en la zona amazonas han ocurridos en el año 2018 y 2016. Una más grande cantidad de incendios forestales ocurrieron en el tercer trimestre del año. La mayor parte de imputados fueron personas naturales y un porcentaje notable de imputados (16,7 %) no fueron reconocidos.

Para (IBARRA MONTOYA, y otros, 2016) en su investigación “Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el bosque La Primavera, Jalisco México”, han realizado la creación de un modelo espacial para decidir regiones potenciales de incendios en Jalisco - México, para lo cual integraron 4 elementos (combustible, meteorológico, paisaje, antropogénico). Como consecuencia se obtuvieron que las cambiantes que determinan las regiones con más potencial de incendios forestales son la pendiente (paisaje), la humedad relativa (meteorológica), el tipo de vegetación (causalidad) y la utilización del suelo (antropogénicas). Del mismo modo las predicciones del modelo espacial desarrollado en este trabajo mostraron una región continua con elevado potencial de incendio además predice pequeñas regiones recluidas potenciales.

Según (Ocampo zuleta, 2019) en su investigación “Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los cerros orientales de Bogotá” establece que se verificó datos acerca de parámetros meteorológicas, vegetales, sociales e institucionales, que permitieran caracterizar los disturbios y su predominación sobre este ecosistema, se identificaron las cambiantes que explicarán la posibilidad de ocurrencia de incendios forestales en cuanto al riesgo de ignición y propagación, para implantar las entradas y salidas del sistema, el trabajo concluye con los elementos utilizados en el sistema vinculan 03 parámetros tales como meteorológicas, atmosféricas y topográficas, que tienen la posibilidad de intervenir en la preparación de planes de contingencia, ya que más una vez los datos se puedan implantar como valores cuantitativos para todos los parámetros, puesto que son determinantes en la determinación de la susceptibilidad de los ecosistemas especialmente el fenómeno El Niño y periodos de sequía, por lo que también son determinantes a la hora de generar un incendio forestal.

Para (OCAMPO ZULETA, y otros, 2018). La investigación “Modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia” recomienda un modelo de simulación para describir la dinámica de incendios forestales, para eso tomo las cambiantes de registro de incendios en el área, la variabilidad climática, balance hídrico, cobertura vegetal, servicios ecosistémicos y retamo espinoso (*Ulex europaeus*). La modelación se basó en la correlación de las cambiantes y la obtención de la fórmula del modelo por medio de regresión lineal. Al final se concluyó que las cambiantes para modelar el número de incendios forestales son exactas, además del estudio se enseñó que la proporción de incendios aumenta acorde se mantengan los cambios en la utilización del suelo, la propagación del retamo espinoso y si se muestra la temporada de sequía por extenso tiempo.

Según (Amaya Villabona, y otros, 2012); en su investigación “Incidencia de incendios sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá D.C. (Colombia), entre 2001 y 2010”, analizaron el reparto temporal y espacial de incendios y coberturas vegetales en Bogotá-Colombia., la información adquirida permitió conocer el reparto espacial y frecuencia de incendios a lo extenso del territorio, identificándose, además, los sectores dañados en todo el tiempo y en qué sitios se generan la más grande recurrencia de los incendios. Como consecuencia se obtuvo los años con más número de focos activos (2004 y 2007) y meses con más número de registros en etapa de secas (diciembre a abril y julio a agosto), cabe mencionar que la más grande parte de repartición de focos activos está situada en regiones urbanas y las regiones de más grande vulnerabilidad son esas con alta vegetación inflamable (arbustos, pastizales, vegetación seca, vegetación) secundaria.

Según (Carrillo García, y otros, 2012), en la investigación “Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México” se planteó enseñar que los incendios forestales permanecen involucrados con la predominación humana y las condiciones del medio ambiente, y que lo anterior se pudo plasmar mediante un índice de riesgo de incendios forestales, tomando en cuenta además el reparto espacial de los incendios forestales en Puebla, México. Por lo que como consecuencia se obtuvo que las cambiantes significativas son las

meteorológicas (60%) además el 42.3% del área forestal de Puebla está en nivel de riesgo mínimo a bajo, 57.7% corresponde a nivel de riesgo medio, elevado y extremo y solo el 3.9% está clasificado por lo menos.

De documento de (CENEPRED, 2018) “Caracterización del peligro por incendios forestales 2018”, se elaboró el mapa de riesgo por incendios forestales por parte del CENEPRED en todo entorno nacional, con el objetivo de detectar los entornos geográficos con más predisposición a la ocurrencia de incendios forestales. La metodología utilizada se enfocó en crear los mapas de los componentes condicionantes y de datos históricos de ocurrencia de incendios. Entre los resultados conseguidos se tiene que el Departamento de Cusco tiene el más grande registro de incendios, además de estar considerado en un grado bastante elevado de riesgo por incendios forestales.

El fuego es la reacción instantánea producto del oxígeno, el combustible y una fuente de calor; que se expone a modo de llamas y humo, definida usualmente como la triada del fuego. El oxígeno viene a ser el eje esencial para que el fuego se desarrolle hasta obtener la designación de incendio, el calor medida por medio de la temperatura y por último el combustible es todo material vivo o muerto que puede arder en esta situación especialmente material vegetal. (SERNANP; Frankfurt Zoological Society., 2016).

Los incendios forestales son procesos de ignición de material orgánico, que ocasionan perturbaciones al medio ambiente y la biodiversidad presente, su propagación es dependiente de la disponibilidad de combustibles, donde las condiciones promueven su ignición. (CRUZ NÚÑEZ, y otros, 2019 págs. 85-93).

Los incendios forestales tienen muchas repercusiones sobre la diversidad biológica. A escala mundial, son una fuente importante de emisión de carbono, contribuyendo al calentamiento mundial que podría modificar la biodiversidad. En los planos regional y local, modifican el volumen de biomasa, alteran el ciclo hidrológico, e influyen en el comportamiento de las especies vegetales y animales. El humo procedente de los incendios puede reducir notablemente la actividad fotosintética y perjudicar la salud de los seres humanos y de los animales. (Nasi, y otros, 2002).

Respecto a la pérdida de Ecosistemas forestales, estos se entienden como disminución de zonas de paisaje dominado por árboles y consisten en comunidades biológicamente integradas de plantas, animales y microbios que interactúan en los suelos. Por lo mismo los bosques son muchos más que la población o la comunidad actual de árboles pues son legados biológicos que contienen materia orgánica, microorganismo, vegetación y animales menores que constantemente son alterados por incendios forestales. (Hamish Kimmins, 2003)

Los impactos de los incendios van a depender de la intensidad, recurrencia y duración del incendio forestal. Dichos efectos tienen la posibilidad de ser directos tales como pérdida de especies animales, vegetales, degradación del suelo y con ello todo el potencial genético. Los efectos indirectos, por su parte, van a partir de la erosión del suelo y la contaminación del agua y alteración de diversos complejos arqueológicos. (González Ulibarry, 2017)

Uno de los apoyos para el estudio de incendios forestales es la teledetección, que nos posibilita trabajar combinaciones de bandas multiespectrales empleando bandas de infrarrojo que ayudan a visualizar perfectamente las zonas afectadas. Las composiciones RGB mediante bandas multiespectrales tienen la posibilidad de ayudar a analizar la afección de un incendio, tanto en el momento del suceso como a posterior. De esta forma, el análisis de bandas en el espectro visible posibilita visualizar recursos habituales como el humo. El análisis en el infrarrojo medio permite detectar recursos a elevadas temperaturas en contraste con el territorio. (Matellanes, 2017)

Así mismo la teledetección es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales; este no solo engloba los procesos que permiten obtener una imagen sino también su posterior tratamiento e interpretación (Chuvienco, 2010)

El análisis multitemporal nos permite resolver problemas complejos relacionados con la ubicación, así como conocer mejor lo que sucede en el mundo y dónde ocurre. Va más allá de la simple representación cartográfica, permitiendo estudiar las características de diversos lugares y las relaciones entre ellos. El

análisis espacial aporta nuevas perspectivas a su toma de decisiones además es uno de los aspectos más destacables y fascinantes de los SIG pues nos posibilita establecer relaciones, comprender, describir ubicaciones/eventos, además de detectar y cuantificar patrones para predicciones. (Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2020)

Ahora bien si el análisis multitemporal nos permite nuevas perspectivas, este puede sustentarse y validarse manera perfecta mediante análisis estadísticos, para ello es importante el SPSS Statistics ya que es una potente plataforma de software estadístico que nos permite obtener un conjunto sólido de características ya que esta posee una interfaz integrada para ejecutar estadísticas descriptivas, regresión, estadísticas avanzadas y muchas más al cual puede añadirse la creación de gráficos, tablas y árboles de decisión listos para su análisis y la validación de datos. (International Business Machines - IBM, 2021)

Para la modelación, el uso de MaxEnt (máxima Entropía) es uno de los softwares más empleados para distribución potencial de especies y/o fenómenos dentro del mundo de los sistemas de información geográfica destinado al análisis predictivo utilizando archivos cartográficos en un formato y características específicas. Este software emplea un interfaz sencillo para su uso ya que emplea un archivo de entrada de coordenadas de distribución de especies y/o fenómenos que requieren evaluarse y ser estudiadas, junto con un grupo de variables ambientales, para dar como resultado la posible distribución potencial de la especie y/o fenómeno. (Geoinnova, 2019)

III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

Según el objeto de estudio es cuantitativa, de acuerdo con (SARDUY DOMINGUEZ, 2007). La investigación cuantitativa se dedica a recoger, procesar y examinar datos cuantitativos o numéricos sobre variables antes determinadas. Esto hace darle una connotación que va más allá de un listado de datos organizados como consecuencia; puesto que dichos datos que se presentan en el informe final permanecen en general proporción con las cambiantes que se declararon a partir del inicio y los resultados conseguidos van a brindar una realidad específica a la que permanecen sujetos. Además, la investigación cuantitativa estudia la asociación o relación entre las variables que han sido cuantificadas, lo que ayuda aún más en la interpretación de los resultados.

Para (Ugalde Binda, y otros, 2013), el modelo cuantitativo surge como una necesidad del ser humano por aprender sobre los fenómenos que ocurren a su alrededor y sus relaciones de causa y efecto, con el fin de poder interferir en ellos o utilizar este conocimiento a su favor.

La investigación es de tipo aplicado, porque está dirigida a solucionar los inconvenientes que se muestran en los procesos de producción, repartición, circulación, y consumo de bienes y servicios de cualquier actividad humana. Se llama aplicadas; ya que con base a averiguación elemental, pura o importante en las ciencias fácticas o formales se formulan inconvenientes o conjetura de trabajo para solucionar los inconvenientes de la vida provechosa de la sociedad. Se denomina además tecnológico, ya que su producto no es un entendimiento puro, sino tecnológico. (Esteban Nieto)

Para (Vargas Cordero, 2009) la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, luego de implementar y sistematizar la práctica basada en

investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma precisa, estructurada y sistemática de conocer la realidad.

Por todo lo mencionado anteriormente tenemos que nuestra investigación según el objeto de estudio es cuantitativo, ya que la investigación nos permite describir, explicar, comprender e interpretar la dinámica espacio - temporal de los incendios forestales que serán posteriormente utilizados en la gestión del territorio; según el conocimiento que genera, el trabajo es aplicado porque se usaran métodos espaciales que nos ayudaran a entender la dinámica multitemporal de los incendios que serán posteriormente utilizados en la gestión del santuario histórico de Machupicchu.

3.1.2. Diseño de investigación

La investigación es descriptiva, de acuerdo con (Marroquin Peña, 2012), se describen los datos y características de la población o fenómeno en estudio. Para (Hernandez Sampieri, y otros), la investigación descriptiva busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

Ahora bien, nuestra investigación según el diseño de investigación es no experimental, debido a que no se manipulara la variable independiente deliberada y finalmente es descriptivo, porque se enfoca en describir un incendio forestal, las condiciones en que se manifiesto los años de estudio 2008 - 2020, con la finalidad de conocer la importancia o grado de asociación que existe entre los diferentes indicadores dentro de la investigación.

3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

3.2.1. VARIABLE 1

En esta investigación la variable 1 es: Análisis multitemporal de incendios forestales.

Para (SERFOR, y otros, 2018 págs. 8-9) los incendios forestales son un problema latente que afecta sustancialmente a los ecosistemas y en consecuencia afecta negativamente las dimensiones económicas, sociales y ambientales del país. También mencionan que, los incendios forestales producen pérdidas graves y cuantiosas, las secuelas resultan muy negativas sobre los recursos naturales, ya que elimina la vegetación, matan la fauna silvestre, eliminan la vida en el suelo, contaminan las aguas y al final perjudican el aire atmosférico. Los incendios cambian el paisaje de manera extremista de un bosque. La vida vegetal, animal y humana se transforma, y en centenares de años no puede recuperarse y volver a su estado primitivo. Los efectos negativos de un incendio duran años y cambian la vida de los individuos que viven en el área afectada.

3.2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

Tabla 1. Operacionalización de variables

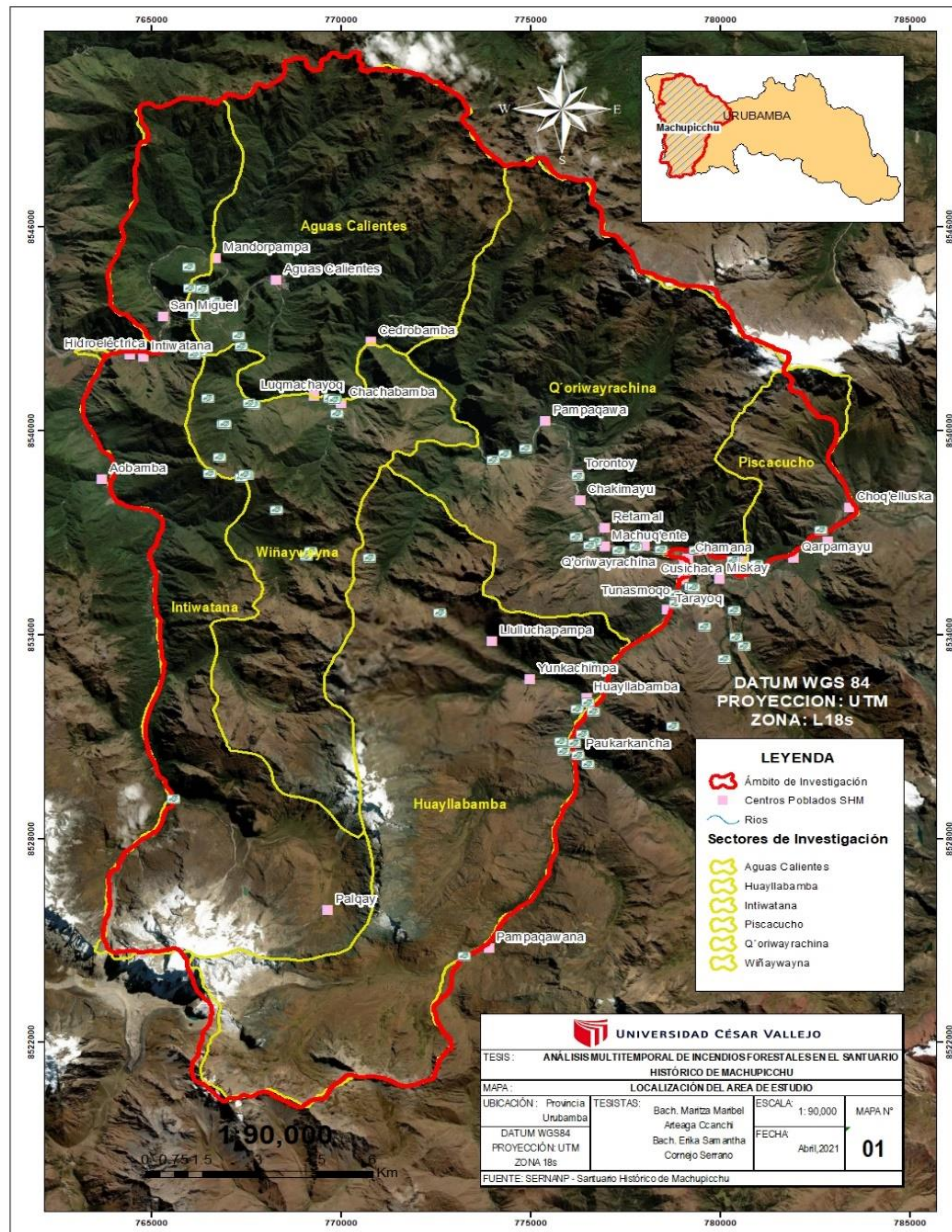
PROBLEMA	OBJETIVO	VARIABLE						MÉTODOS
		VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE MEDIDA	
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE 1						
¿Cómo es el análisis multitemporal de incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu, 2008 – 2020?	Evaluar multitemporalmente los incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu.	Análisis multitemporal de incendios forestales	Son procesos que permiten resolver problemas complejos los cuales nos ayudan a establecer relaciones, comprender, describir ubicaciones/eventos, además de detectar y cuantificar patrones para predicciones (CRUZ NÚÑEZ, y otros, 2019)	Meteorológica	Temperatura	°C	Word Clim	Tipo de investigación: Aplicado
					Radiación	Watts/m2	Word Clim	Nivel de investigación: Descriptivo
					Precipitación	mm	Word Clim	Diseño de investigación: No experimental
				Paisaje	Pendiente	%	ArcGIS	
					Altitud	m	ArcGIS	
					Distancia a centros poblados	m	Shapefile SERNANP	Enfoque: Cuantitativo
					Distancia a sitios arqueológicos	m	Shapefile SERNANP	
					Distancia a caminos	m	Shapefile SERNANP	

PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS				Distancia a cuerpos de agua	m	Shapefile SERNANP	COBERTURA DE ESTUDIO
¿Qué características espaciales tuvieron los incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu?	Caracterizar espacialmente los incendios forestales suscitados en el santuario histórico de Machupicchu			Espacial	NBR	adimensional	Imágenes satelitales landsat	Universo: Santuario histórico de Machupicchu.
					DNVI	adimensional	Imágenes satelitales landsat	
¿Cuál fue la evolución temporal de los incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu?	Comparar temporalmente los incendios forestales suscitados en el santuario histórico de Machupicchu			Antropogénica	Uso de suelo	-----	Mapa de zonificación y trabajo en campo	Muestra: Lugares de ocurrencia de incendios forestales
¿Cuáles son las áreas potenciales a incendios forestales dentro del santuario histórico de Machupicchu?	Modelar áreas potenciales a incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu.			Combustible	Tipo de cobertura vegetal	-----	Observación y trabajo en campo	
						Profundidad de hojarasca	cm	Observación y trabajo en campo

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

3.3.1. POBLACIÓN

La población estará definida por 37,302.58 ha de extensión dentro del santuario histórico de Machupicchu - SHM.



Mapa 1. Localización del área de estudio

3.3.2. MUESTRA

Para el muestreo dentro del santuario histórico de Machupicchu – SHM, fue necesario dividirlo en 06 sectores, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 2. Datos cartográficos

Nº	SECTORES	COOR_X	COORD_Y
1	Aguas calientes	770171	8545940
2	Qoriwayrachina	776690	8539990
3	Piscacucho	781864	8538850
4	Huayllabamba	773039	8530940
5	Wiñaywayna	768917	8535870
6	Intiwatana	766345	8535650

Fuente: Adaptación propia con datos cartográficos del SERNANP-SHM.

3.3.3. MUESTREO

El muestreo se realizó en los lugares de ocurrencia de incendios forestales dentro del santuario histórico de Machupicchu – SHM, obtenidos del registro del SERNANP Machupicchu durante el periodo del 2008 - 2020.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las técnicas que se utilizaron fueron la recopilación de información, ficha de campo, observación del problema y la recolección de información en campo.

3.4.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los instrumentos utilizados fueron: formatos para campo, imágenes satelitales landsat 5 y 8, mapas de zonificación, mapas de incendio forestal, así como registro de incendios forestales, cuaderno de campo entre otros.

3.5. PROCEDIMIENTOS

3.5.1. CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE INCENDIOS FORESTALES

Recopilación de datos de incendios forestales en el SHM

El primer paso es contar con una base de datos sobre incendios forestales en el área de estudio, para ello el SERNANP- SHM cuenta con un registro en tema de incendios forestales.

Esta base de datos obtenida detalla la Caracterización de los incendios forestales ocurridos en entre el año 2008 y 2019, mediante base de datos del SHM ocurridos dentro del periodo, incluyendo la fecha de ocurrencia de incendio forestal, ubicación geográfica (coordenadas), superficie afectada en Ha, ecosistema y/o formación vegetal afectada y finalmente las causas del siniestro (netamente antrópico).

Trabajo con SPSS

En el editor de datos se ingresa los datos de variables y se procede a llenar cada una de las características de estos. Posteriormente se pasa a la pestaña vista de y se cargan el archivo a trabajar.

Tabla 3. Capas de información para modelamiento

Nº	Capas de información a trabajar
1	Sitios arqueológicos
2	Centros poblados
3	Ríos y lagunas
4	Caminos
5	Precipitación
6	Radiación
7	Temperatura máxima por mes
8	Temperatura media por mes
9	Temperatura mínima por mes
10	Altitud
11	Pendiente

Fuente: Tabla de las capas de información usadas para el modelamiento

3.5.2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE INCENDIOS FORESTALES

PROCEDIMIENTO:

Las imágenes satelitales fueron descargadas de la página Glovis en el periodo correspondiente del 2008 al 2020. Las imágenes del 2008 al 2013 corresponden al Landsat 5 mientras las del 2014 al 2020 corresponde al landsat 8, el landsat 7 no se utilizó debido al error de imágenes, las imágenes satélites tenían problemas de bandeo generando gaps o líneas de ausencia de información.

Dicha descarga se realizó mediante inscripción previa para datos de usuario.

Una vez obtenidas la imagen satelital se procedió a realizar un corte solo del límite de investigación en el programa ArcGIS 10.5 utilizando la

herramienta extract by mask, este procedimiento se realizó para banda de las imágenes satelitales.

Teniendo ya solo el límite de investigación se procede a hallar los índices de NBR y NDVI para cada respectivamente mediante las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)}$$

Siendo:

NIR = Infrarrojo cercano (landsat 5: banda 4; landsat 8: banda 5)

SWIR = Infrarrojo medio 2 (landsat 5: banda 7; landsat 8: banda 7)

$$\mathbf{NDVI = (NIR - RED) / (NIR+RED)}$$

Siendo:

NIR = Infrarrojo cercano (landsat 5: banda 4; landsat 8: banda 5)

RED = (landsat 5: banda 3; landsat 8: banda 4)

Además de ellos se debe resaltar que para realizar dichas ecuaciones se utilizó la herramienta raster calculator.

Los índices NBR y NDVI obtenidos de algebra de mapas nos mostraron una relación de valores comprendidos entre -1 y 1. Donde los valores negativos ilustran zonas con buena calidad de vegetación y los positivos indican valores bajos de vegetación dentro de Áreas Incendiadas en el periodo de 13 años (2008 - 2020).

Una vez obtenido los valores se procede a realizar una reclasificación directa en excel, estos valores son reclasificados con valores ofrecidos por la USGS.

VALORES DE LA USGS:

- < -0,25 : Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego
- 0,25 – -0,1 : Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego
- 0,1 – 0,1 : Zonas estables o sin quemar
- 0,1 – 0,27 : Zonas quemadas con gravedad baja
- 0,27 – 0,44 : Zonas quemadas con gravedad moderada-baja
- 0,44 – 0,66 : Zonas quemadas con gravedad moderada-alta
- > 0,66 : Zonas quemadas con gravedad alta

Finalmente se realiza un solo mapa con todos índices hallados.

3.5.3. MODELAMIENTO DE ÁREAS POTENCIALES A INCENDIOS FORESTALES

PROCEDIMIENTO:

Para que el programa pueda ejecutar los modelos se utilizó 2 tipo de información: un shapefile de puntos de ocurrencia de incendios forestales convertido a archivo excel, elaborado dentro de áreas de incendio forestal aproximadamente 100 puntos, esta se realizó con la herramienta random points y otro que son los shapefiles de variables ambientales, topográficas y antrópicas, todos en formato ASCII, cambiando el tipo de variable por los valores que poseen a continuo o categórico.

Las variables ambientales como son biotemperaturas, temperatura máxima, temperatura media, temperatura minina, precipitación, radiación fueron descargadas de World Clim, este tipo de algoritmo nos proporcionó datos climáticos globales mediante un conjunto de capas (cuadrículados) con una resolución espacial de aproximadamente 1 km². Cada una de estas variables ambientales fueron trabajados para el área de estudio con formato compatible mencionadas líneas arriba.

Cabe resalta que los shapefile para el modelo tuvieron que ser transformadas de proyección de Mercator (UTM_ WGS_I 984), a coordenadas geográficas (GCS_ WGS_1984) en el programa ArcGIS.

Las capas de sitios arqueológicos, centros poblados, ríos, caminos y cobertura vegetal son los obtenidos en formato digital shapefile dados por el SERNANP – SHM.

Seguidamente se describen los procedimientos que se realizaron en la preparación de los datos para generar el modelo de máxima de entropía – MaxEnt.

Una vez descargadas las capas del clima de World Clim, se procedió a modificar los datos ambientales a un tamaño de celda, sistema de coordenadas y formato (70 m, GCS_ WGS_1984 y ASCII respectivamente). Todo lo descrito anteriormente, se realizó en el software ArcGIS 10.1 siguiendo el manual de MaxEnt.

A continuación, se detalla un resumen de los pasos realizados para la preparación de las coberturas en el modelado y post tratamiento:

Se creó un modelo de elevación digital (DEM) del santuario histórico de Machupicchu con las curvas de nivel, así mismo se generó un clip (corte) de cada una de las capas ambientales con el límite del área de trabajo.

Para disminuir el tamaño de celdas de las capas del Bioclim (1 km² de resolución), se creó nuevas capas ambientales, copiando el valor promedio de la información de cada pixel, a las celdas del DEM que se generó (70 m), con ayuda de la herramienta zonal Statistics del ArcToolbox (se realizó este paso para las 68 capas ambientales).

Para crear los mapas de proximidad a sitios arqueológicos, centros poblados y fuentes de agua y caminos, se utilizó la herramienta euclidean distance.

Posterior a ello se generó mapas ráster de los shapefiles categóricos (ver tabla 3).

Para que todas las capas tengan el mismo tamaño de píxel, se utilizó la herramienta resample de la caja de herramientas ArcToolbox, y se igualaron todas las capas a una de ellas.

Ahora, para que todas las capas sean solo del área de estudio, se usó la herramienta extract by mask.

Finalmente, se convirtió todos los nuevos ráster generados a formato ASCII, esto se realizó con la herramienta ráster to ASCII de la caja de herramientas ArcToolbox.

CORRIDA EN MAXENT:

Se cargó el archivo de excel de tipo .csv (delimitado por comas) con la información de puntos de ocurrencia de incendios forestales, así como las capas que contienen las variables ambientales, topográficas y antrópicas. Además, realiza una serie de configuraciones, lo primero es que se empleó algunos valores preestablecidos del software como el umbral ("threshold") de 10^5 y 500 interacciones. El valor de regularización fue de 0.25 (25%) para entrenamiento esto a fin de estimar las variables más importantes del modelo, luego se corrió una prueba estadística no paramétrica de muestreo.

También se crearon curvas de respuesta en la opción "create response curve" para ver las diferencias entre los tipos de características, donde se muestra la probabilidad predicha de condiciones favorables.

Para la validación y adecuación del modelo se utilizó el área bajo la curva (AUC), donde se ve el desempeño y ajuste del modelo para predecir e identificar áreas potenciales a incendios forestales. Por ello se seleccionó que del 100% de los datos se realizará un muestreo aleatorio para extraer el 75% de los registros con los que entrenar el algoritmo, y un 25% con los que evaluar el modelo.

Luego de todas las configuraciones establecidas, se procedió a correr el modelo, y para evaluarlo MaxEnt generó la curva operada por el receptor

(ROC), dicha curva es generada al dividir la base de datos en dos porciones, una para el entrenamiento, como un proceso en el cual se usan los puntos conocidos para extraer la información ambiental que ocurre en su localización y posteriormente extrapolarlos a toda el área de estudio, y otra para la evaluación del modelo.

Esta programa nos permitió el uso de algoritmos numéricos de distribución de probabilidad optima e interpretativa a traves de curvas de respuesta.

ÁREAS POTENCIALES A INCENDIO FORESTAL:

Una vez el modelo esté listo, se procedió a generar el mapa de distribución en el programa ArcGIS 10.5 con las categorías de probabilidad de incendio forestal y se identificó las zonas de atención prioritaria para la prevención y conservación ambiental.

La cual tiene en cuenta la matriz de decision y la obtencion de criterios normalizados para la obtención del nivel de vulnerabilidad y con ello se realizó la identificación de zonas de atención prioritaria para la prevención y conservación ambiental.

Asi mismo se utilizo criterios de ponderacion para determinar el peligro en cada area identificada.

Tabla 4. Criterios de ponderación

Nº	Peligro	Rango
1	Bajo	0 - 0.2
2	Medio	0.2 - 0.4
3	Alto	0.4 - 0.6
4	Muy Alto	0.6 - 0.897386

Fuente: Elaboración propia de modelamiento MaxEnt con reclasificación.

3.6. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS:

La estadística descriptiva se encarga de resumir y de sintetizar la información de nuestros datos, proporcionando una idea de la forma que tiene cada una de las variables, para lo cual se utilizó el procesamiento estadístico de la media, mediana, desviación estándar, mínimos y máximos e intervalos de confianza al 95%.

PROGRAMA SPSS STATISTICS:

El SPSS, ofrece un rápido entorno de modelación estadístico visual, que va desde lo más simple hasta lo más complejo, para crear modelos de manera interactiva y realizar cambios, utilizando técnicas analíticas probadas y acreditadas. Permite sacar el máximo provecho a los datos, por medio de una completa gama de herramientas estadísticas. (Quezada Lucio, 2014 pág. 16) Es un software popular entre los usuarios de Windows, es utilizado para realizar la captura y análisis de datos para crear tablas y gráficas con data compleja y en este caso en particular para evaluar la ocurrencia de incendios respecto a las variables en evaluación.

Las características del software le permiten realizar estadísticas como informes, estadísticos, descriptivos, tablas, correlaciones, etc. (...) así como un gráfico descriptivo este pudiendo ser puede ser normal o interactivo (...) (Quezada Lucio, 2014 pág. 18)

Para su representación de los resultados finales fueron mediante:

Tablas: Permite mostrar estadísticos específicos como frecuencias, porcentajes, porcentajes acumulados, media, mediana, moda, suma, desviación típica, varianza, amplitud, valores mínimo y máximo, error típico de

la media, asimetría y curtosis (ambos con sus errores típicos), cuartiles y percentiles.

Diagramas de caja y bigotes (Boxplots): Gráficos de resumen que se basan en la mediana, los cuartiles y los valores extremos. Los diagramas de cajas están constituidos por cajas, que contienen el 50% de los valores comprendidos entre los percentiles 25 y 75. Además de histogramas, columnas y líneas.

ANÁLISIS ESPACIAL, ÍNDICES NBR Y NDVI:

Mediante los índices NBR (índice de calcinación normalizada) y NDVI (índice de vegetación de la diferencia normalizada) con imágenes satelitales landsat 5 y 8, se realizó un análisis con el fin de evaluar daños forestales, analizar la evolución de la regeneración de la cobertura vegetal tras un incendio denominado ritmo de cambio en el periodo del 2008 hasta el 2020.

El índice NBR nos permitió analizar la severidad que sufre una zona territorial a través de una sencilla relación entre bandas multiespectrales. (Matellanes, Roberto, 2018).

El índice NDVI nos permitió analizar la calidad y desarrollo de la vegetación a través de una sencilla relación entre bandas multiespectrales. (Matellanes, 2016).

3.7. ASPECTOS ÉTICOS

Esta investigación es propia, debido a los objetivos y métodos utilizados para el desarrollo de esta. Para ello se ha extraído información completa, con fuentes bibliográficas citadas según guía de elaboración de trabajo de investigación y tesis para la obtención de grados académicos y títulos profesionales, dando conformidad así al artículo 15 del Código de Ética de la Investigación de la UCV, aprobado con la resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV del 23 de mayo de 2017. Finalmente, el trabajo de investigación fue realizado con rigor científico, responsabilidad, honestidad y dedicación, de acuerdo con los lineamientos y normas establecidas por la Universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

Estadísticos descriptivos de los incendios forestales respecto a distintas variables

En la tabla 5, se muestran los estadísticos descriptivos de las distintas variables evaluadas para el fenómeno de incendios forestales los cuales se obteniendo los siguientes datos.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos respecto a distintas variables

Variable	Media	Error típico	Mediana	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría	Curtosis
Distancia a caminos (m)	1 037.73	22.08	922.00	487 529.908	698.233	0	2 977	2 977	.730	-.094
Distancia a ríos (m)	918.25	17.016	828.00	289 534.150	538.084	0	2 462	2 462	.457	-.724
Distancia a centros poblados (m)	1 027.15	15.838	957.50	250 849.805	500.849	112	2 639	2 527	.480	-.423
Distancia a sitios arqueológicos (m)	1244.78	22.556	1055.00	508 793.196	713.297	71	3 020	2 949	.661	-.519
Altitud (msnm)	3079.02	20.428	3009.00	417 308.647	645.994	1851	4 617	2 766	.351	-.569
Pendiente (%)	80.80	.869	77.50	754.684	27.472	2	164	162	.321	.110
Radiación (kJ/m ² *día)	15 377.00	18.957	15 413.00	359 354.303	599.462	14361	16 537	2 176	.043	-.888
Temperatura mínima ©	6.279	.0881	6.550	7.756	2.7849	.7	11.2	10.5	-.201	-.762
Temperatura media ©	13.785	.0829	14.400	6.880	2.6230	8.5	18.7	10.2	-.367	-.855
Temperatura máxima ©	21.801	.0964	22.200	9.300	3.0496	15.5	26.9	11.4	-.336	-.759
Precipitación (mm)	977.54	5.518	919.00	30 449.712	174.498	810	1 422	612	1.239	.302

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

En relación con la distancia a caminos

Se observa que en promedio se dieron a 1 037.73m +- 22.08 metros, que el 50% de incendios se produce menos de 922 metros de los caminos. La mínima distancia en la que se produjo incendios fue a 0 metros de caminos (posiblemente iniciaron) y la mayor distancia a 2 977 metros. La desviación estándar, nos revela que la dispersión de los incendios respecto al promedio fue de 698.2 metros.

En relación con distancia a ríos

Nos muestra que el promedio de incendios forestales se produjo a 918.25 metros de un río con un error de +- 17.02 metros, el 50% de los incendios forestales este se produjo a menos de 828 metros. Ahora el rango mínimo y máximo respectivamente en el que se desarrollaron dichos eventos fueron de 0m a 2 462 m. La desviación estándar respecto al promedio fue de 538.084 metros.

En relación con distancia a centros poblados.

El promedio de estos incendios forestales se dio a 1 027.15 metros de centros poblados con un error de +-15.8, las distancias máximas y mínimas establecidas fueron de 2 639 a 112 metros respectivamente. De este rango el 50% se produjo a una distancia de 957.5 metros con una desviación estándar de 500.85 metros.

En relación con distancia a sitios arqueológicos

Los incendios forestales se produjeron a una distancia de 1 244.78 m respecto a sitios arqueológicos con un error de +- 22.56 m, en un rango de distancia de los 3 020 a 71 metros, máximos y mínimos respectivamente. De este rango el 50 % de incendios forestales se dio a menos de 1 055 metros con una desviación estándar de 713.297 m.

Respecto a la altitud

El rango de altitud en el que se produjo incendios forestales fue de 1 851 msnm como mínimo y 4 617 msnm como máximo, de estos el 50% de incendios forestales se dio a una altitud de 3 009 msnm. El promedio fue de 3 079 msnm con un error de ± 20.43 m con una desviación estándar de 645.99.

Respecto a la pendiente

La pendiente promedio a la que se dio un incendio forestal fue de 80.8 %, pendientes muy altas con un error de 0.87%, de estas el 50% se dio a una pendiente de 77.50% y el rango fue de 2 a 164% el cual nos indica que los incendios forestales se dieron tanto en pendientes planas como pendientes muy fuertes. Con una desviación estándar de 27.47.

Respecto a radiación

La radiación promedio a la que se dio un incendio forestal fue de 15 377 kJ/m²*año, el rango fue mínimo de radiación fue 14 361 y el máximo fue de 16 537, de estos el 50% de incendios forestales tuvieron una radiación de 15 413 kJ/m²*año.

Respecto a temperatura

Del cuadro realizamos un resumen de las 3 temperaturas evaluadas como son mínima, media y máxima. El rango ponderado fue de 0.7 °C a 26.9 °C de temperaturas muy bajas a muy altas. De estos la temperatura mínima promedio fue de 6.28 °C, temperatura media promedio fue de 13.79°C y máxima promedio fue de 21.8 °C.

Respecto precipitación

La precipitación promedio fue de 977.54 mm* año, con un error de ± 5.52 mm, y el rango de precipitación estuvo ente los 810 y 1 422 mm, y el 50% de los incendios forestales se dio a una precipitación de 919 mm.

Para mayor detalle se puede visualizar la tabla 6 de percentiles de las variables evaluadas.

Tabla 6. Percentil de las Variables evaluadas

VARIABLES	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Distancia a caminos	112	224	478.5	922	1450.7 5	2064.5	2508
Distancia a ríos	212	269	453	828	1327.7 5	1691.5	1845
Distancia a centros poblados	335	430	604	957.5	1395	1735.7	1882
Distancia a sitios arqueológicos	316	450	695	1055	1721.5	2371	2662.5 5
Altitud	2092.05	2259.2	2617	3009	3484.5	4056.1	4291.9 5
Pendiente	41	47	63	77.5	97	121	132
Radiación	14441.0 5	14484. 6	14881. 5	15413	15742. 5	16250. 1	16411. 8
Temperatura mínima	1.4	1.7	4.5	6.55	8.1	10.2	10.6
Temperatura media	9.2	9.6	11.6	14.4	15.7	17.1	17.7
Temperatura máxima	16.2	17	19.9	22.2	23.8	25.9	26.4
Precipitación	817	827	840	919	1021.7 5	1327.9	1368.9 5

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

De la tabla 6 podemos indicar que el 50% de incendios forestales se produjo en un rango 453 m a 1 721.5 m con respecto a caminos ríos, centros poblados y sitios arqueológicos, los resultados muestran los incendios forestales fueron

datos cercanos a población por lo cual se sostiene que la mayor influencia ante la ocurrencia de incendios forestales es la variable antrópica.

Considerando las variables meteorológicas, el 50% de los valores hallados muestran rangos muy bajos como 4.5 °C y máximos 23 °C, lo que indica que la T° puede o no ser un factor determinante a la hora de generarse un incendio forestal. Pero comparando la temperatura máxima junto al registro de incendios forestales dentro del SHM, tenemos que los meses con temperaturas máximas (junio a octubre) son los mismos en los que sé que registraron mayor cantidad de incendios forestales, es decir que la temperatura máxima si vendría a ser un factor determinante en la ocurrencia de incendios forestales.

Estadística descriptiva del trabajo de campo

De los muestreos realizados, con el trabajo de campo en los centros poblados donde se produjeron incendios forestales en el santuario histórico de Machupicchu, se obtienen los siguientes resultados, los cuales se detallan en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 7. Estadística descriptiva según muestreos realizados por centro poblado

Centro Poblado	Frecuencia	Porcentaje
Chachabamba	5	9.4
Torrepata	4	7.5
Cerro Calvario	3	5.7
Aobamba	4	7.5
Pampacahua	6	11.4
Patallaqta	5	9.4
Torontoy	3	5.7
Pinchaunuyoc	4	7.5

Qanabamba	3	5.7
Retamal	3	5.7
Chakimayo	5	9.4
Musqayoc / Pacaymayo Bajo	4	7.5
Llulluchapampa	4	7.5
Total	53	100.0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

En la tabla 7 se muestra las frecuencias de las evaluaciones por sectores. El porcentaje mayor corresponde al centro poblado de Pampacahua en el cual se realizaron 6 muestreos, estos muestreos fueron realizados a ambos márgenes de las vías del tren por el área de los incendios forestales que se suscitaron y por la gran variabilidad de cobertura vegetal. Los otros muestreos corresponden al 9.4% en los cuales se realizaron 5 muestreos, dichos muestreos fueron realizados en los centros poblados de Chachabamba, Chakimayo y Patallaqta. El menor muestreo fue realizado en los centros poblados de Retamal, Qanabamba, Torontoy y Cerro calvario esto principalmente por la cobertura vegetal, es decir que esta era muy homogénea y con áreas de incendio forestal fue muy reducidas, a diferencia de las otras áreas.

En promedio en cada centro poblado se realizó entre 3 a 4 muestreos de áreas bien diferencias en tema de cobertura vegetal y grado de perturbación.

Además es necesario considerar que el tema de la accesibilidad fue un factor determinante y muchas veces limitante para realización de los muestreos caso de Cerro Calvario, Chachabamba, Torrepatá y Aobamba, donde se tuvo que realizar apertura de caminos para poder realizar dichos muestreos, no obstante; en caso de Chachabamba a pesar que los incendios forestales fueron cerca al camino, la geografía era un limitante para la realización de los muestreos, por presencia de roquería y pendientes altas; por lo que todo lo descrito represento un riesgo para la toma de datos en campo.

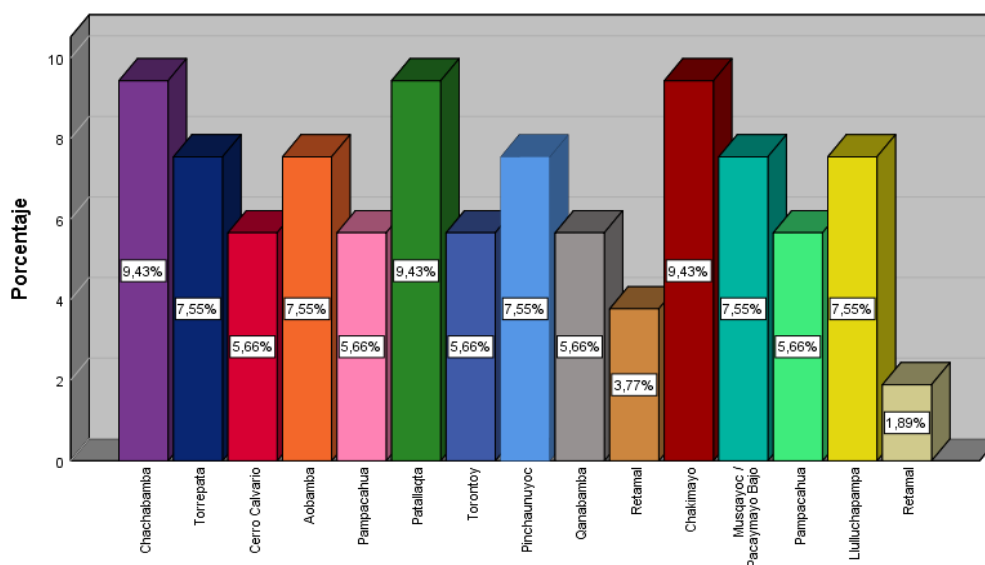


Figura 1. Evaluación del registro de muestreos realizados

Estadística descriptiva según tipo de cobertura actual:

Del trabajo en campo, los datos obtenidos sobre cobertura actual nos muestran los siguientes resultados:

Tabla 8. Estadística descriptiva según la cobertura actual

Cobertura Actual	Frecuencia	Porcentaje
Herbáceo	18	34.0
Matorral	21	39.6
Pajonal	4	7.5
Arbóreo	7	13.2
Plantación forestal	3	5.7
Total	53	100.0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

Según el muestreo realizado detallado en la tabla 8, se tiene que la cobertura vegetal de mayor predominancia a la actualidad son los Matorrales el cual representa 39.6% del total de muestreos realizados, otro tipo de cobertura vegetal con alta predominancia es la cobertura herbácea con un 34%, esto está relacionado con el tema de sucesión vegetal, donde especies vegetales de rápido crecimiento como son los herbáceos tienden a ocupar con mayor rapidez sitios degradados. Los valores mínimos que se encontraron en los muestreos realizados sobre cobertura vegetal corresponden al 5.7% y 7.5%, que pertenecen a cobertura vegetal del tipo de plantaciones forestales y pajonal respectivamente.

Ahora la cobertura de tipo arbóreo es de crecimiento es lento, y se considera que el grado de afectación a este tipo de cobertura no es alto a diferencia de las otras coberturas vegetales.

Un dato interesante es que, del total de muestreos realizados la cobertura vegetal de tipo arbóreo solo representa el 13.2%, esto indica que el proceso de recuperación natural en sitios degradados es muy lento sea porque la composición y estructura del ecosistema han sido modificados, de tal manera que no pueden volver a tener las condiciones antes del incendios forestal eso en referencia principalmente a Lulluchapampa (2014), el incendio forestal afecto de tal manera a dicha área hasta la actualidad no se recupera.

Otro factor para destacar es que no ha priorización el tema de recuperación, restauración y/o rehabilitación de estas áreas degradadas, por parte de las instituciones involucradas en el tema de conservación y gestión del SHM, porque a la actualidad solo se tiene un proyecto de reforestación por parte del SERNANP – SHM, mas no de la Municipalidad Distrital de Machupicchu, ni de la Dirección Desconcentrada de Cultura – DDC, que vienen a ser parte de las instituciones involucradas.

Los datos descritos líneas arriba sobre la evaluación del tipo de cobertura actual son detallados en la figura 13, así mismo la fotografía 1, que muestra el incendio ocurrido en el centro poblado de Lulluchapampa y su agrado de afectación hasta la actualidad.

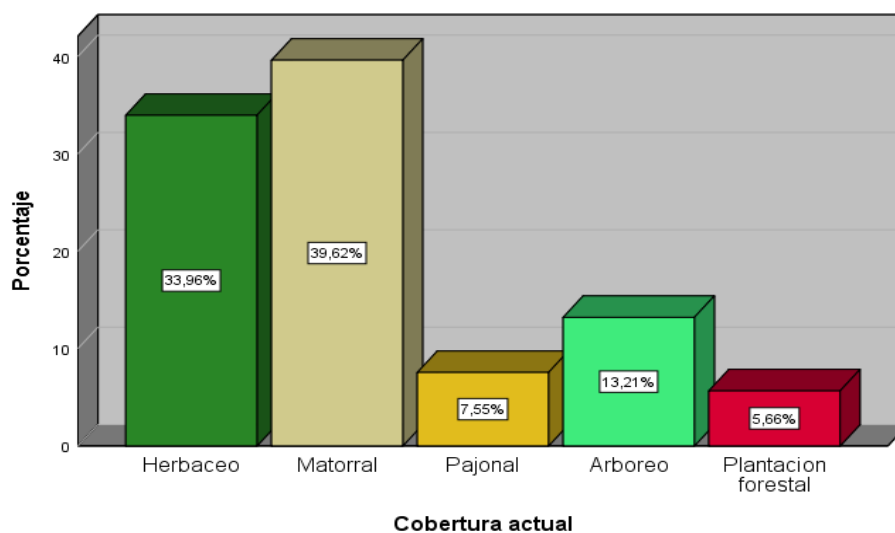


Figura 2. Evaluación según el tipo de cobertura actual

Estadística descriptiva según cobertura antes del incendio forestal

La tabla 9, muestra la cobertura de mayor y menor predominancia antes de un incendio forestal, generalizando todos los centros poblados donde se realizaron los muestreos.

Tabla 9. Estadística descriptiva según Cobertura antes del incendio forestal

Cobertura antes del incendio	Frecuencia	Porcentaje
Matorral	22	41.5
Plantación forestal ralo	2	3.8
Plantación forestal denso	1	1.9
Bosque nativo ralo	18	34.0
Bosque nativo denso	8	15.1
Herbazal	2	3.8
Total	53	100.0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

La tabla 9, tiene como resultado que el tipo de cobertura vegetal predominante antes de la ocurrencia de incendios forestales era del tipo matorral, esto se realizó mediante la comparación de áreas naturales o sin afectación, cercanas a los sitios de muestreos, indicando con ello que las áreas antes de un incendio forestal eran del tipo bosque nativo. Del total de muestreos se obtuvo que solo el 15.1% era bosque nativo denso. El valor mínimo hallado es de 1.9% que corresponde a cobertura vegetal de plantaciones forestales

Cabe resaltar que, del total de la cobertura vegetal actual evaluada, solo 3.8% era del tipo de cobertura herbazal. Así mismo, es de conocimiento que un incendio forestal supone un cambio drástico dentro de un ecosistema, y por los datos obtenidos en campo determinamos que la cobertura de mayor predominancia antes y después de un incendio sigue siendo del tipo matorral.

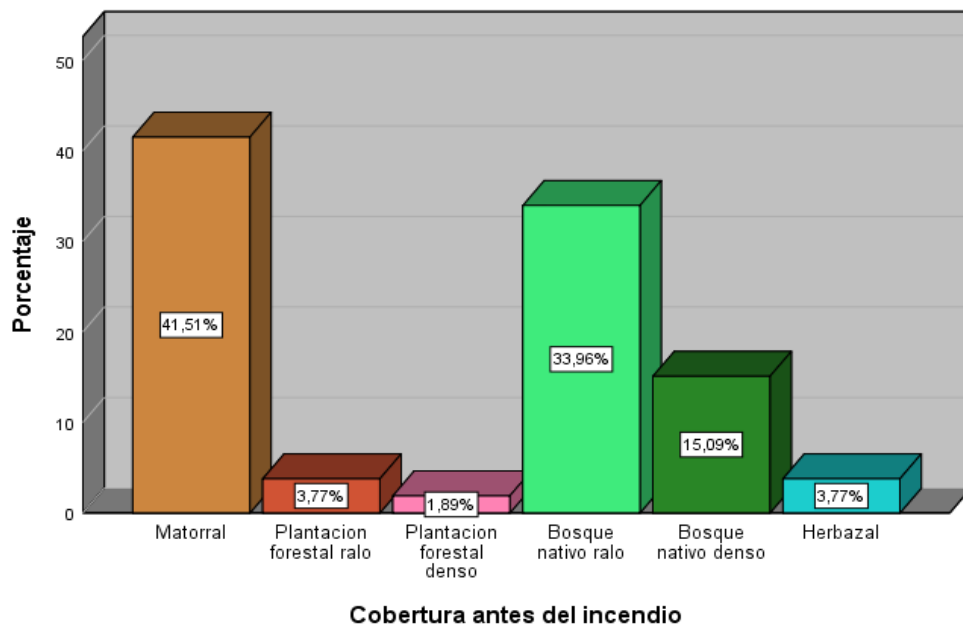


Figura 3. Evaluación según la cobertura antes del incendio forestal

Estadística descriptiva según actividad antrópica:

Con relación a las actividades antrópicas que se desarrollan dentro de las áreas evaluadas tenemos los siguientes resultados:

Tabla 10. Estadística descriptiva según actividad antrópica actual.

Actividad antrópica actual	Frecuencia	Porcentaje
Reforestación	5	9.4
Ninguna	44	83.0
Ganadería	3	5.7
Agricultura	1	1.9
Total	53	100.0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

De los muestreos realizados en áreas donde ocurrieron incendios forestales, a la actualidad en la mayoría no se realiza ningún tipo de actividad y representa el 83% de los muestreos realizados, mínimamente se realiza agricultura (1.9%) y ganadería (5.7%). Por ende se descarta que los incendios forestales fueron producidos por tema de expansión de área de cultivo y ganadería, enfocando también que el desarrollo de estas es muy limitada debido la zonificación dentro del santuario histórico de Machupicchu en la que solo se permite realizar este tipo de actividades en las zonas de uso especial que representa menos del 1.5% (554.4 ha) de todo el SHM , y si bien el análisis muestra que solo en el 9.4% se está realizando reforestación, se proyecta que más adelante el porcentaje aumente; esto debido al desarrollo de un proyecto de reforestación denominado “Reforestación con especies nativas con fines de recuperación de áreas degradadas y conservación en el SHM” proyecto que inicio en febrero del 2018 , en el que se empezó a priorizar el tema de recuperación de áreas degradadas por parte del SERNANP- SHM , este proyecto a la actualidad viene

desarrollándose con apoyo de comités de gestión del distrito y ha priorizado 15 especies forestales, entre las cuales se encuentran el aliso, llama llama y chalanque, así mismo es de mencionar que el proyecto cuenta con viveros distribuidos en todo el santuario los cuales están ubicados en Hidroeléctrica, Chachabamba, Qoriwayrachina, Huayllabamba, Pacaymayo, Wiñaywayna y Piscacucho.

El proyecto está acorde al documento de gestión como es el plan maestro y las estrategias ambientales que tienen por finalidad la conservación de los ecosistemas y su diversidad biológica representativa en el SHM.

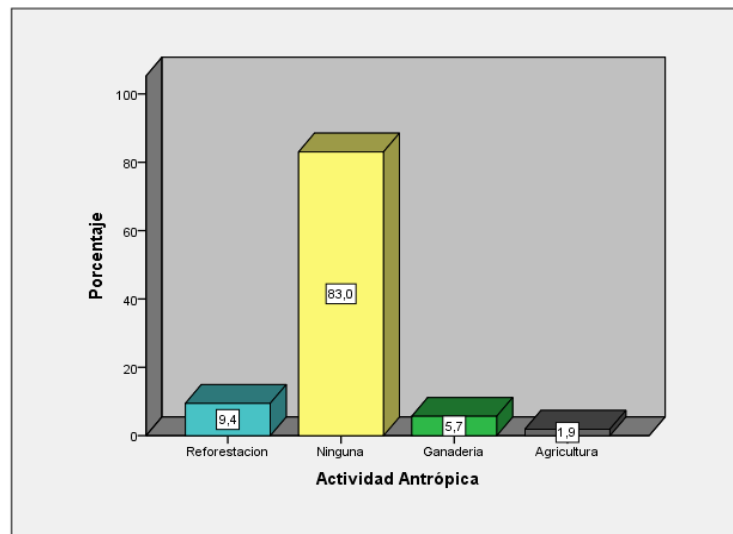


Figura 4. Evaluación según la actividad antrópica actual

Estadística descriptiva según presencia de cultivos

Junto a la evaluación de actividades antrópicas se realizó una evaluación de presencia de cultivos en la que se obtuvo como resultado que del total de áreas evaluadas solo en el sector de Torontoy se encontró un cultivo (granadilla), lo cual confirma el poco desarrollo de esta actividad. Pero es necesario mencionar que fuera de las áreas de incendio forestal evaluadas, cercanas a sitios arqueológicos y población hay presencia de agricultura a diferencia de los otros muestreos realizados en toda la investigación.

Tabla 11. Estadística descriptiva según Presencia de Cultivos

Presencia de cultivos	Frecuencia	Porcentaje
Ninguna	52	98,1
Si, activo	1	1,9
Total	53	100,0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS

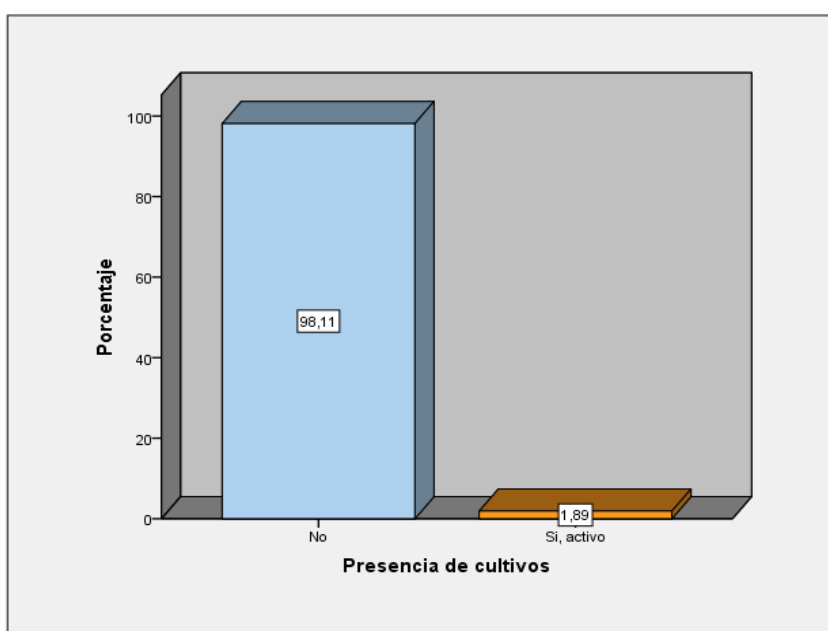


Figura 5. Evaluación según presencia de cultivos

Estadística descriptiva según grado de perturbación

La tabla 12, nos muestra un resumen de las áreas evaluadas, de estas tenemos que los grados de perturbación con mayores valores corresponden a la perturbación media (35.8%) y perturbación alta (30.2%); los resultados mostrados se relacionan con la evaluación de cobertura vegetal actual descrita páginas anteriores, en la cual las áreas de incendio forestal evaluadas correspondientes al periodo de 12 años, en los cuales se ha generado una

recuperación pero de manera lenta, esto está íntimamente ligado al grado de perturbación debido a la modificación las condiciones antes de un incendios forestal.

Tabla 12. Estadística descriptiva según grado de perturbación

Grado de perturbación actual	Frecuencia	Porcentaje
Medio	19	35.8
Ninguno	9	17.0
Bajo	9	17.0
Alto	16	30.2
Total	53	100.0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

Con ello se concluye, que los incendios forestales marcan de manera drástica 2 aspectos como son cobertura vegetal y belleza paisajística en áreas donde hubo ocurrencia de incendios forestales, limitando por periodos largos la recuperación de esta y en algunos casos no pudiendo recuperarse hasta la actualidad caso de Llulluchapampa o recuperándose, pero con cobertura vegetal del tipo herbáceo por la capacidad de desarrollo y crecimiento (sucesión vegetal) y en algunos sectores incrementándose el denominado pasto gordura, este tipo de hierba llega a abarcar sitios degradados e impide el crecimiento de otras especies por poseer propiedades alelopáticas, estas pueden llegar a medir hasta 1.5 m, es rápido crecimiento y se adapta de manera adecuada a climas cálidos.

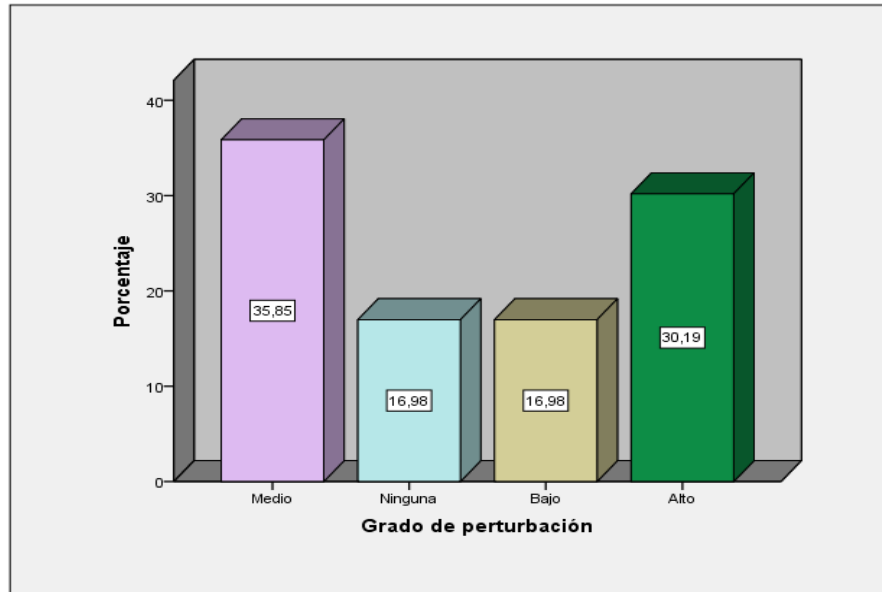


Figura 6. Evaluación según el grado de perturbación actual.

Estadística descriptiva según NBR reclasificado

Los datos representados en la tabla 13 nos muestran un trabajo mixto del trabajo en campo y el de gabinete utilizando imágenes satelitales landsat 8 a través del índice NBR, el cual fue reclasificado obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 13. Estadística descriptiva según NBR reclasificado

NBR Reclasificado	Rango	Frecuencia	Porcentaje
Zonas estables	(-0.1 - 0.1)	25	47.2
Zonas Quemadas/ gravedad baja	(0.1 - 0.27)	28	52.8
Zonas quemadas/ gravedad moderada	(0.27 - 0.44)	0	0
Total		53	100.0

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS.

De acuerdo con la tabla 13 del análisis de severidad de incendios - NBR, las zonas quemadas con gravedad baja según el NBR son las de mayor predominancia representando el 52.8% y las zonas estables o sin quemar representan el 47.2%.

Los valores de NBR obtenidos de las imágenes satelitales corresponden al año 2020 a pesar de haberse registrado incendios forestales de gran magnitud, no muestran valores elevados de zonas quemadas con gravedad moderada o alta, a diferencia de años anteriores. Ello podrá explicarse de mejor manera en el análisis multitemporal de incendios forestales mediante el análisis Post Hoc de Tukey b para el índice NBR.

Un dato que debe resaltarse es correspondiente a las zonas estables o sin quemar, estos datos corresponden a los muestreos de áreas sin afectación de incendios forestales, los cuales fueron tomados a fin de realizar una comparación antes y después de la ocurrencia de incendios forestales.

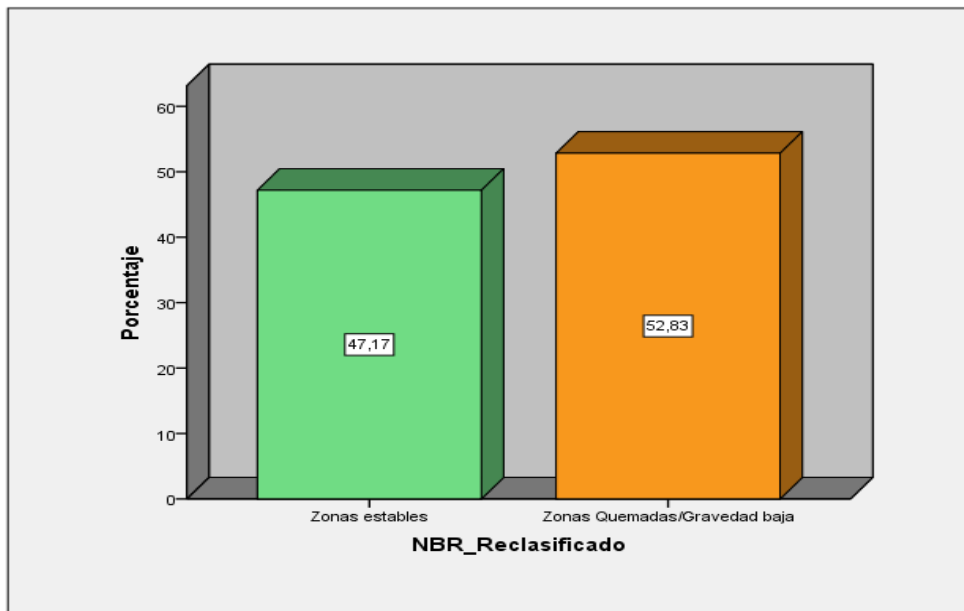


Figura 7. Evaluación de NBR reclasificado

Estadística descriptiva según NDVI reclasificado

De los datos mostrados en la tabla 14, se entiende que el índice de vegetación diferencial normalizado - NDVI nos permite ver los lugares en los que existe una mayor cobertura vegetal y el estado en el que se encuentra actualmente, por ello y el análisis realizado se determina suelos incendios forestales ocurridos en el año 2020, han repercutido de manera drástica en la cobertura vegetal.

Tabla 14. Estadística descriptiva según NDVI reclasificado

NDVI reclasificado	Rango	Frecuencia	Porcentaje
Bajo	(0.2 – 0.3)	30	56.6
Medio	(> 3)	11	20.8
Muy bajo	(0 - 0.2)	12	22.6
Total		53	100

Fuente: Elaboración propia mediante Software SPSS

Si observamos los datos obtenidos tenemos que los porcentajes predominante del índice NDVI, corresponden a una vegetación baja (0.2 – 0.3), lo cual nos muestra el grado de afectación a nivel de cobertura vegetal, por lo cual es de mencionar que el proceso de recuperación observado en el año 2019 fue limitado por los incendios ocurridos en el año 2020.

Ahora analizando la intervención del SERNANP – SHM, con el proyecto “Reforestación con especies nativas con fines de recuperación de áreas degradadas y conservación en el SHM” desde en el año 2018 y su implementación hasta el año 2021 en Hidroeléctrica, Chachabamba, Qoriwayrachina, Huayllabamba, Pacaymayo, Wiñaywayna y Piscacucho, así como las actividades de reforestación pueden significar un incremento en el NDVI en los siguientes años.

Los datos descritos podrán explicarse de mejor manera en el análisis multitemporal de incendios forestales mediante el análisis Post Hoc de Tukey b para el índice NDVI.

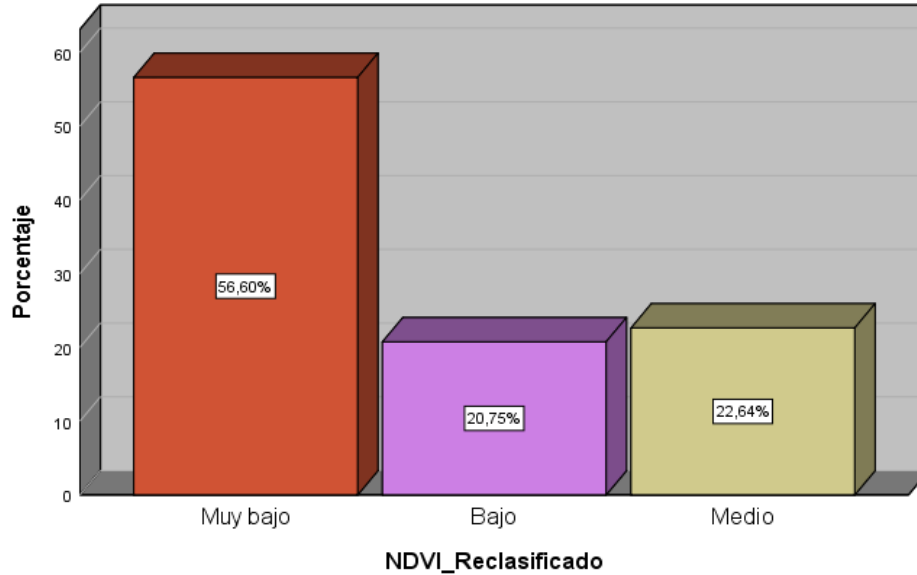


Figura 8. Evaluación de NDVI reclasificado

4.2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE INCENDIOS FORESTALES

Cambio de NBR a través del tiempo

Para saber si el promedio de NBR en todas las áreas que sufrieron incendios forestales tuvieron diferencias estadísticas significativas en su valor, se realizó el análisis de varianza – ANOVA. Para lo cual nos planteamos las hipótesis correspondientes:

H_0 : Los promedios de NBR en las áreas afectadas por incendios son iguales a través de los años

H_A : Los promedios de NBR en las áreas afectadas por incendios difieren a través de los años.

Tabla 15. Análisis de varianza ANOVA de NBR

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	27.096 ^a	11	2.463	153.527	0.000
Intersección	256.252	1	256.252	15971.381	0.000
Año	27.096	11	2.463	153.527	0.000
Error	279.510	17421	0.016		
Total	566.392	17433			
Total, corregida	306.606	17432			

Nota. a. R cuadrado = .092 (R cuadrado-correcta = .092)

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15, se muestra los valores del análisis de varianza. Se observa que el valor de significancia es inferior a 0.05 (0.00) para los años. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna o del investigador, y podemos indicar que los promedios de NBR en las áreas afectadas por incendios difieren a través de los años. Para saber, que años formaron grupos homogéneos con relación a este valor, se realizó la prueba posterior Tukey-b. que se muestra a continuación:

Análisis post hoc de Tukey b

Tabla 16. Análisis post hoc de Tukey b de NBR

Año	Subconjunto				
	1	2	3	4	5
2017	0.0394				

2009	0.0537	
2020		0.0992
2014		0.1058
2013		0.1257
2016		0.1290
2008		0.1320
2015		0.1343
2011		0.1564
2019		0.1598
2018		0.1614
2010		0.1626

Nota. Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos. Basadas en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (error) = .016.

- a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1 483.000
- b. Alfa = 0.05.

En la tabla 16 se muestran los resultados de la prueba de Tukey, se observa que en el año 2009 y 2017 se registraron los índices más bajo de NBR (0.0537 y 0.0394), comparando con el registro de incendios forestales del SERNANP – SHM se encontró que en los mismos años se produjeron incendios forestales que afectaron áreas extensas y solo en el 2009 se afectaron más de 300 ha en los centros poblados de Cerro Calvario, Chachabamba con más de 300 ha afectadas y para el 2017 más de 900 ha, afectando los sectores de Aobamba y Patallaqta,

En la prueba de Tukey, los años 2010, 2011, 2018 y 2019 representan un conjunto homogéneo, en este se observa que el índice de NBR se encuentra con áreas de gravedad baja, esto quiere decir que está en proceso de recuperación.

También se debe mencionar que hubo 2 cambios bruscos uno del 2009 al 2010 y otro del 2017 al 2018, en ambos casos el cambio de áreas degradadas a área en plena regeneración se puede deducir principalmente al tema de sucesión ecológica donde la vegetación de rápido crecimiento (cobertura herbácea) supone un proceso de regeneración vista mediante imágenes satelitales.

También es necesario hacer mención que a la actualidad el NBR es de 0.0992, solo como zona estable causando una interrogante del porque los incendios forestales para el año 2020 no revelan valores mayores debido a los incendios ocurridos en el mismo, y esto podría ser relacionado con la intervención por parte de instituciones encargadas en el tema de gestión de riesgo y prevención de Incendios forestales.

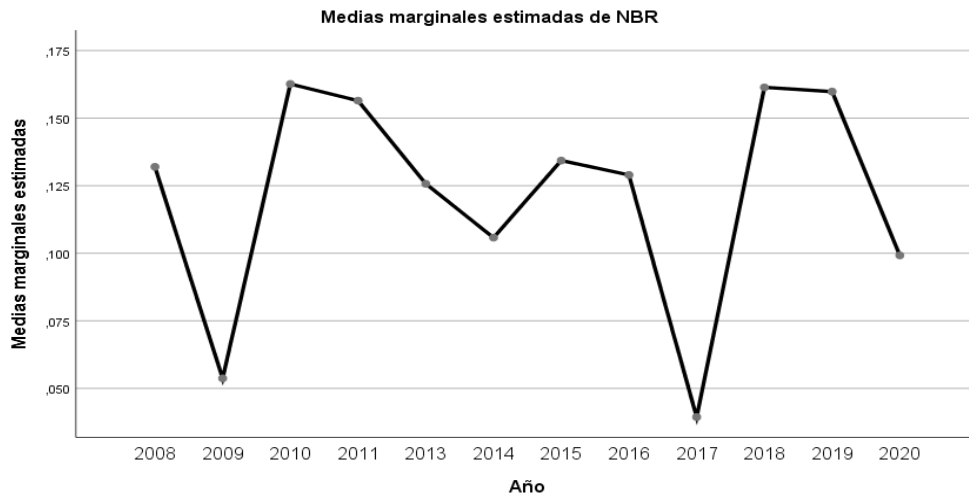


Figura 9. Gráfico de evaluación histórica de NBR en el periodo 2008-2020

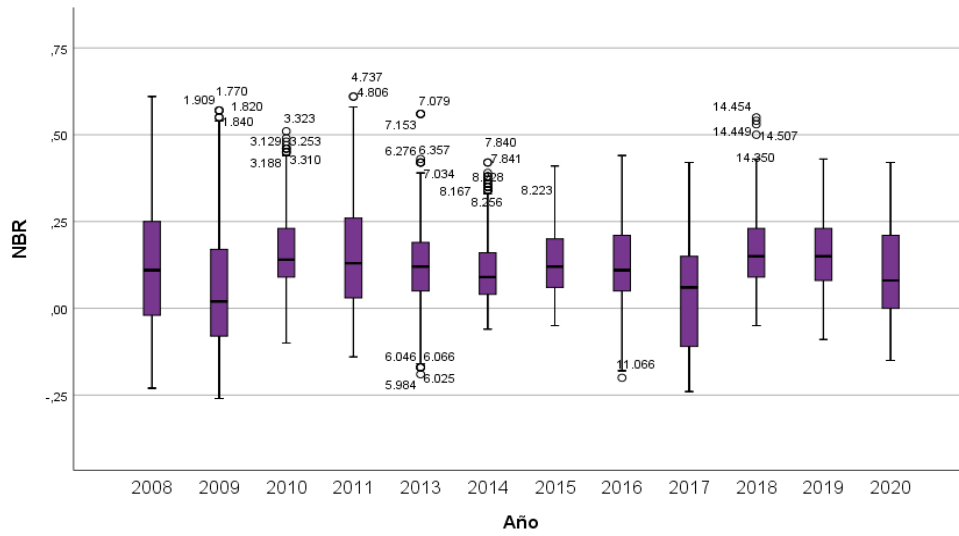
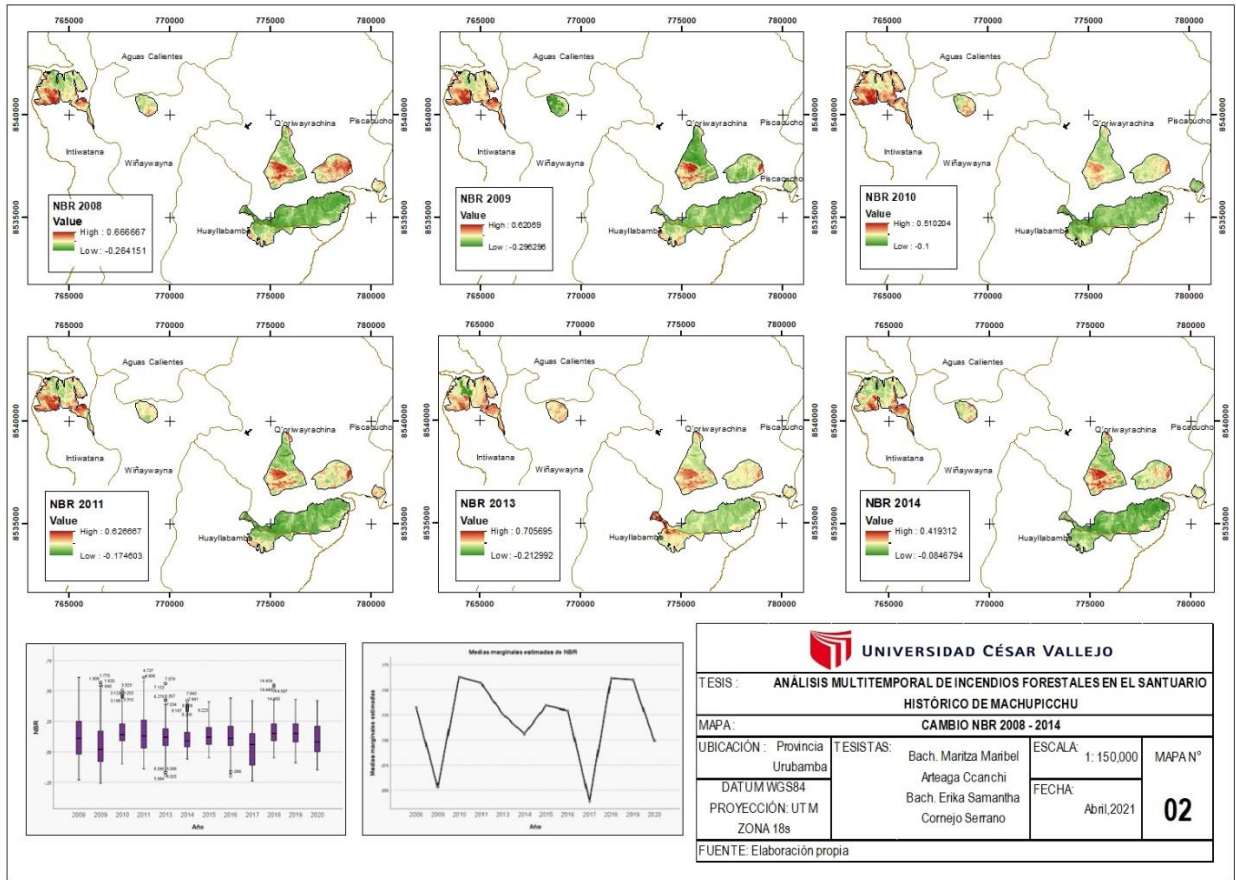
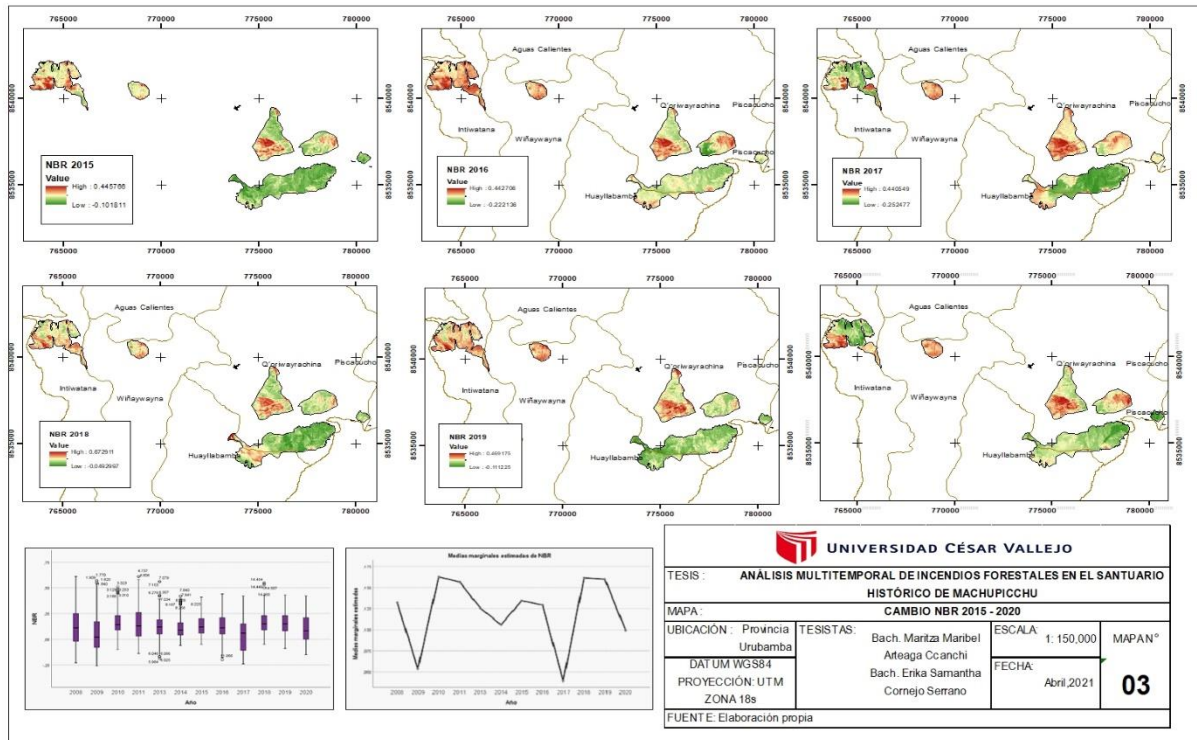


Figura 10. Gráfico de cajas y bigotes sobre evaluación histórica de NBR

En las figuras 9 y 10 se muestra de manera más didáctica, la variación de NBR a través de los años. El cuadro de barras y bigotes se observan la variabilidad de los índices hallados representados por los valores atípicos.



Mapa 2. Cambio NBR 2008-2014



Mapa 3. Cambio NBR 2015 – 2020

Cambio de NDVI a través del tiempo

Para saber si el promedio de NDVI en todas las áreas que sufrieron incendios tuvieron diferencias estadísticas significativas en su valor, se realizó el análisis de varianza – ANOVA. Para lo cual nos planteamos las hipótesis correspondientes:

H₀: Los promedios de NDVI en las áreas afectadas por incendios son iguales a través de los años

H_A: Los promedios de NDVI en las áreas afectadas por incendios difieren a través de los años.

Tabla 17. Análisis de varianza – ANOVA de NDVI

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	26.700 ^a	11	2.427	286.157	0.000
Intersección	738.809	1	738.809	87099.570	0.000
Año	26.700	11	2.427	286.157	0.000
Error	147.771	17421	0.008		
Total	914.609	17433			
Total corregido	174.471	17432			

Nota. a. R cuadrado = 0.157 (R cuadrado-correcto = 0.157)

En el cuadro anterior se muestra los valores del análisis de varianza. Se observa que el valor de prueba, p-valor o valor de significancia es inferior a 0.05 (0.00) para los años. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna o del investigador, y podemos indicar que los promedios de NDVI en las áreas afectadas por incendios difieren a través de los años. Para saber, que años

formaron grupos homogéneos en relación con este valor, se realizó la prueba posterior Tukey-b. que se muestra a continuación:

Tabla 18. Análisis post hoc de Tukey de NDVI

Año	Subconjunto							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2010	0.1051							
2018		0.1614						
2017			0.1746					
2009				0.2056				
2014					0.2151			
2013					0.2201	0.2201		
2011					0.2205	0.2205		
2020						0.2275	0.2275	
2016						0.2291	0.2291	
2015							0.2352	
2008							0.2362	
2019								0.2474

Nota. Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos. Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 0.009.

- a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1 483.000
- b. Alfa = 0.05.

La tabla 18, muestra los resultados de la prueba de Tukey-b, se observa por ejemplo que el menor promedio de NDVI, se dio en el año 2010 con 0.1051, pero en el año 2011 se produjo un incremento de NDVI, confirmando que hubo una regeneración sustancial por no presentar en ese año incendios forestales; los demás años conformaron grupos homogéneos, mostrando valores en un

rango de 0.22 a 0.24, estos nos muestran que la recuperación en todo este periodo se viene realizando de manera lenta al contener valores menos a 0.3 unidades. Esto se corrobora con los análisis estadísticos descriptivos realizados paginas antes. También otro de los años que se presentó un promedio muy bajo fue el 2018. Mientras que el mayor promedio de NDVI se dio en el 2019, posiblemente debido a que no se presentaron incendios considerables y el proceso de recuperación de años anteriores hiciera que la fotosíntesis se haga activa como parte de la regeneración natural.

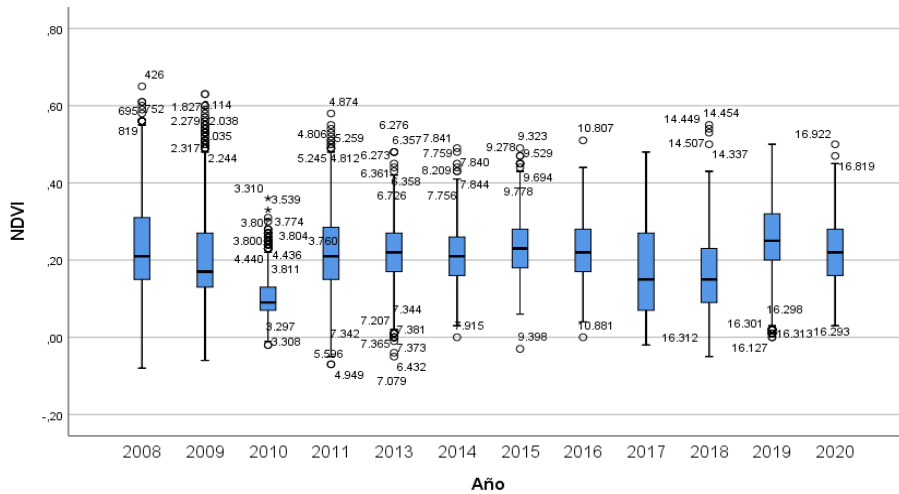


Figura 11. Gráfico de evaluación histórica de NDVI en el periodo 2008-2020

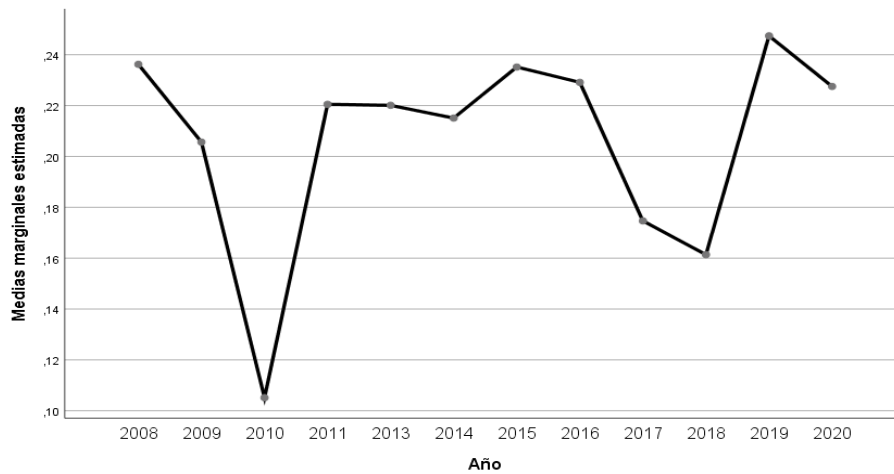
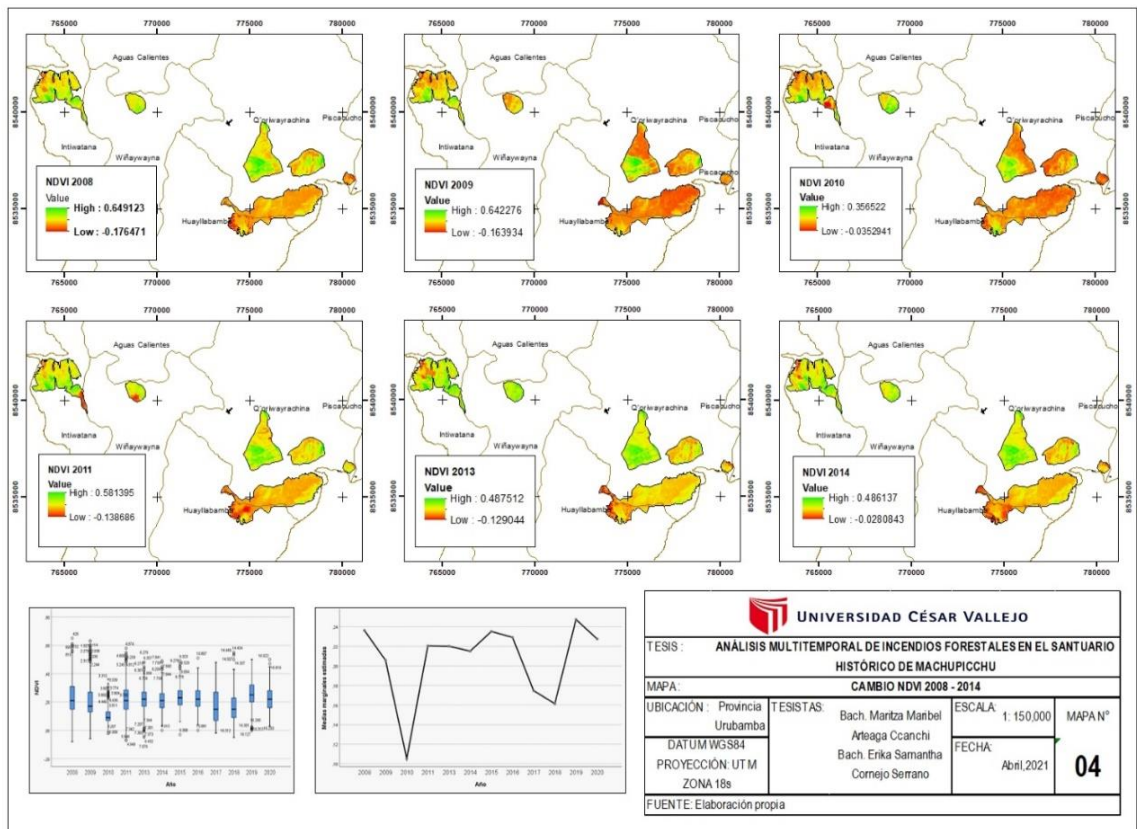
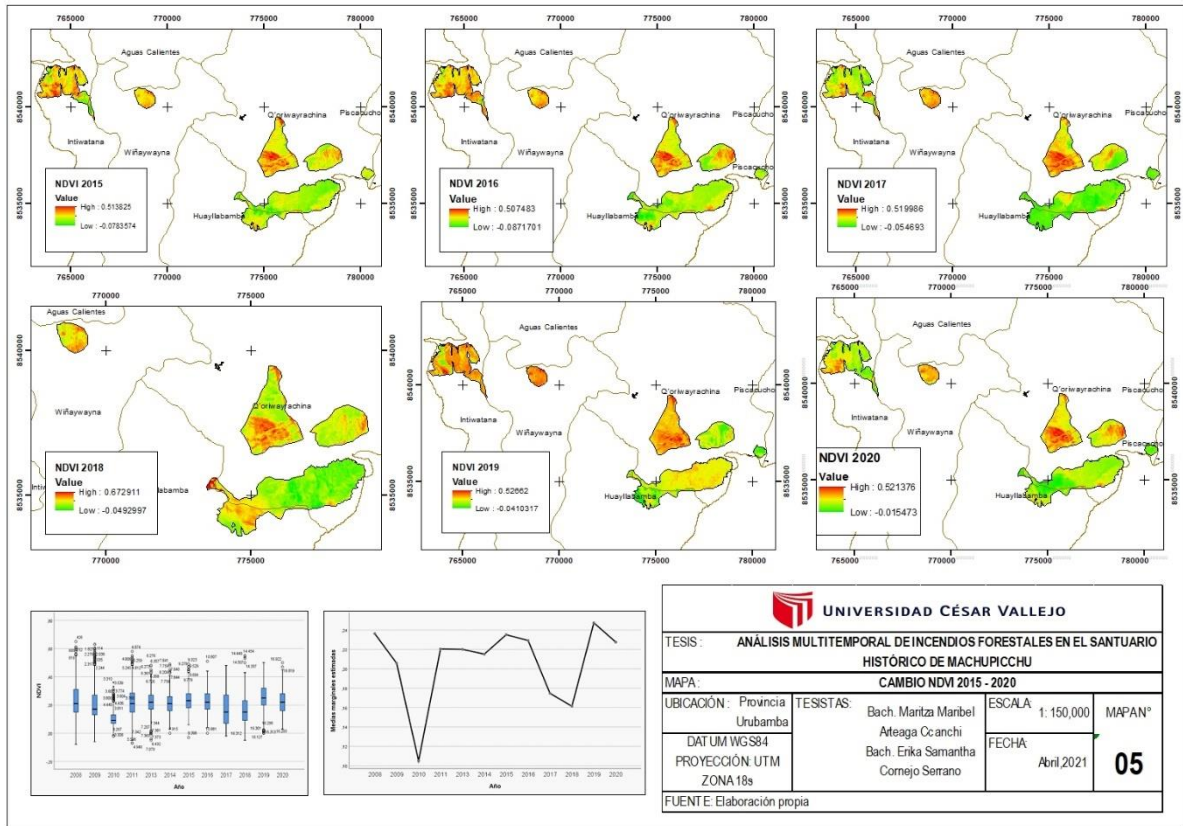


Figura 12. Gráfico de cajas y bigotes sobre evaluación histórica de NDVI



Mapa 4. Cambio NDVI 2008 – 2014



Mapa 5. Cambio NDVI 2015 - 2020

4.3. MODELAMIENTO DE ÁREAS POTENCIALES A INCENDIOS FORESTALES

Para determinar la confiabilidad del modelo se realizó mediante 2 pruebas estadísticas como son:

Porcentaje de prueba al azar (Random Test Percentage)

La gráfica muestra como la omisión de prueba y la de entrenamiento son muy parecidas, además vemos que la omisión sobre las muestras de prueba se ajusta muy bien a la tasa de omisión estimada

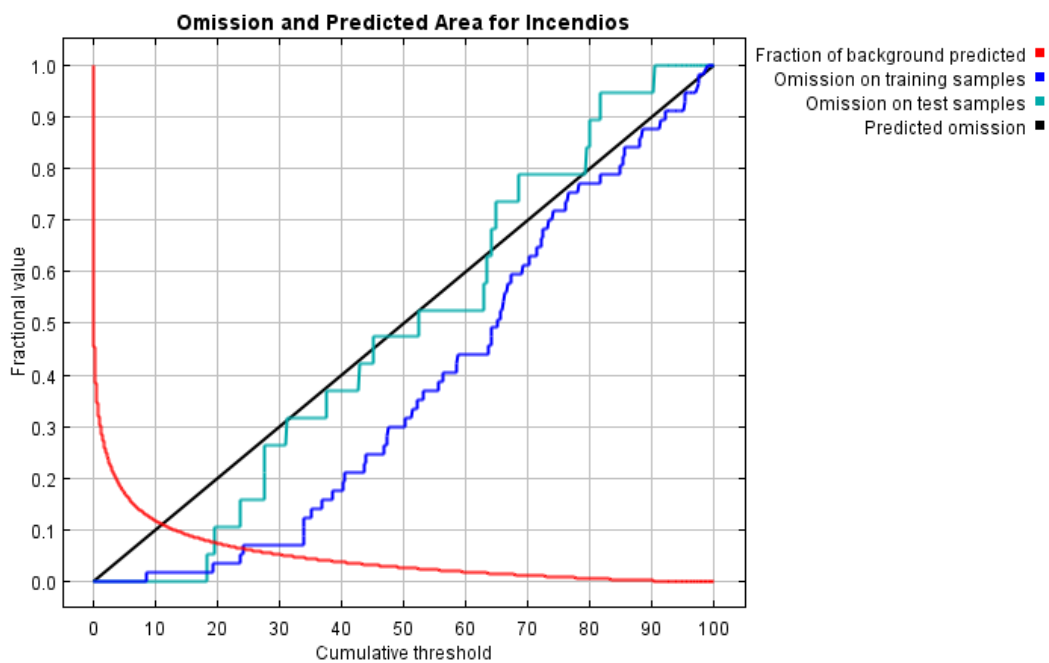


Figura 13. Porcentaje de prueba al azar.

Área bajo la curva - AUC, curva operada por el receptor (ROC)

Como se muestra la línea de prueba (línea azul) es similar a la línea de entrenamiento (línea roja) esto en referencia a los datos utilizados. Lo resaltante del gráfico es la línea de prueba, por encontrarse casi tope superior

izquierdo, el cual nos indica que el modelo desempeña una importante base para la predicción de incendios forestales. La siguiente gráfica nos muestra la curva operada por el receptor (ROC).

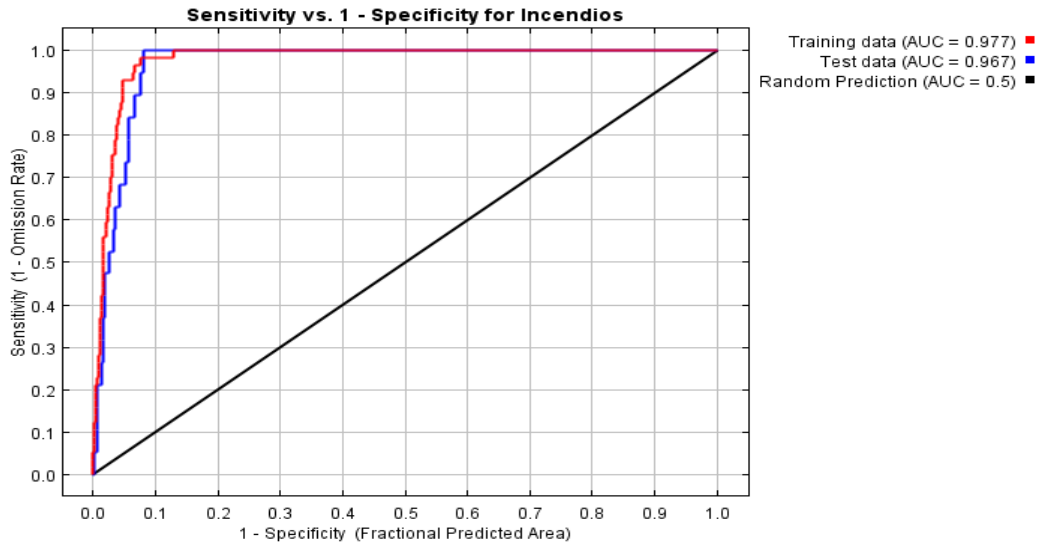


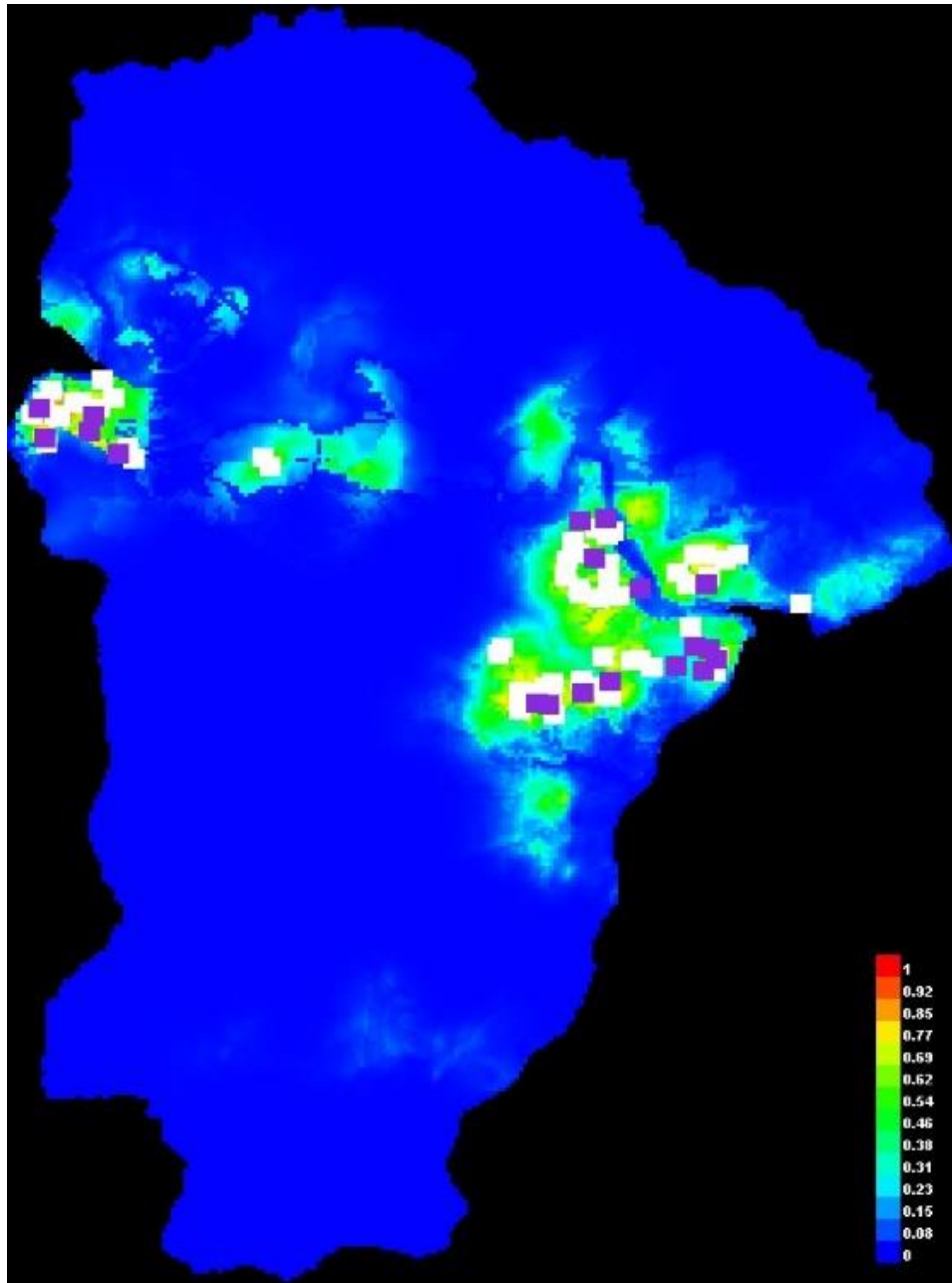
Figura 14. Área bajo la curva – AUC

MODELO MAXENT

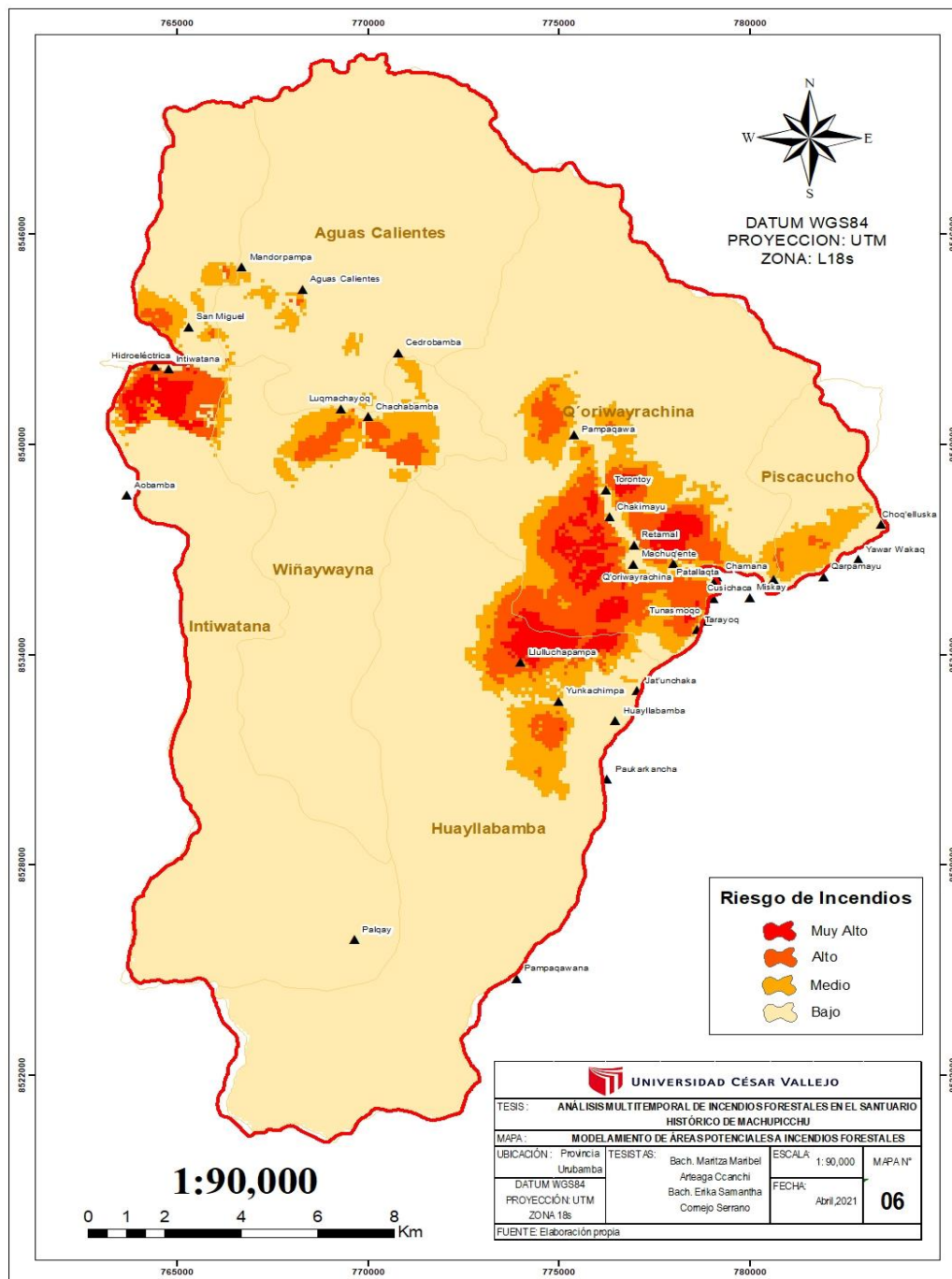
La figura 15 es una representación del modelo MaxEnt para incendios en formato ASCII.

El modelo usa los colores para indicar la probabilidad de condiciones adecuadas para un incendio forestal; el morado indica una alta probabilidad de condiciones adecuadas para el fenómeno en estudio, verde indica las condiciones típicas de aquellos lugares donde el fenómeno se puede desarrollar, y sombras más tenues de azul indican una baja probabilidad de condiciones adecuadas.

Una vez obtenido el modelamiento, fue necesario el trabajo en el software ArcGIS, como se muestra en el mapa 6.



Mapa 6. *Modelo MaxEnt*



Mapa 7. Modelamiento de áreas potenciales a incendios forestales

En el mapa N° 7, los tonos cálidos representan las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales entre los cuales tenemos:

El color rojo representa **riesgo muy alto**, y los sectores más vulnerables son: Huayllabamba, Qoriwayrachina e Intiwatana, dentro de estos se encuentran las áreas ubicadas entre los centros poblados como son Llulluchapampa (218.36 ha), Hidroeléctrica - Intiwatana (171.43 ha), Retamal (107.94 ha), Waynaq`ente (105.15 ha) sin contar áreas pequeñas de aproximadamente 49.15 ha, Torontoy (29.07 ha), Chakimayo (15.42 ha) y Tunasmoqo (6.65 ha), estos sectores mencionados se encuentran en zonas de recuperación, esto nos indica que anteriormente han sufrido ya degradación o alteración significativa; también es de mencionar que el sector de Llulluchapampa tiene la mayor área de vulnerabilidad a incendios forestales y junto a esto es necesario describir que esta es una zona netamente silvestre.

El color anaranjado oscuro representa **riesgo alto** teniendo como sectores involucrados a Qoriwayrachina, Huayllabamba, Wiñaywayna e Intiwatana, los 2 primeros abarcan una extensión 1 282.51 ha, dichos sectores mencionados se encuentran según la zonificación del SHM en zonas de recuperación, silvestre y de uso especial. Estos sectores están ubicados en áreas cercanas a centros poblados como son: Chachabamba (197.09 ha), Hidroeléctrica (146.15), Pampacahua (78 ha), San Miguel (34.43 ha) y Wiñaywayna (21.85 ha).

El color anaranjado claro representa **riesgo medio** entre ellos se tiene áreas que involucran a diversos sectores como son: Huayllabamba – Qoriwayrachina (699.147 ha), Qoriwayrachina – Piscacucho (631.43 ha), de mismo modo están los centros poblados como Chachabamba, Pampacahua, Tarayoc y San Miguel.

Adicionalmente se pudo realizar una prueba de Jackknife para observa la importancia de las variables evaluadas, sin embargo, este proceso no indica del todo que una u otra variable sean más importantes, pero nos muestras según la evaluación realizada cuales fueron las variables que más influenciaron en este caso específico.

Análisis de contribución de variables - Prueba de “Jackknife”

Para ello se realizó la Prueba de “Jackknife” la cual representa la contribución de cada variable que uso MaxEnt para generar el modelo.

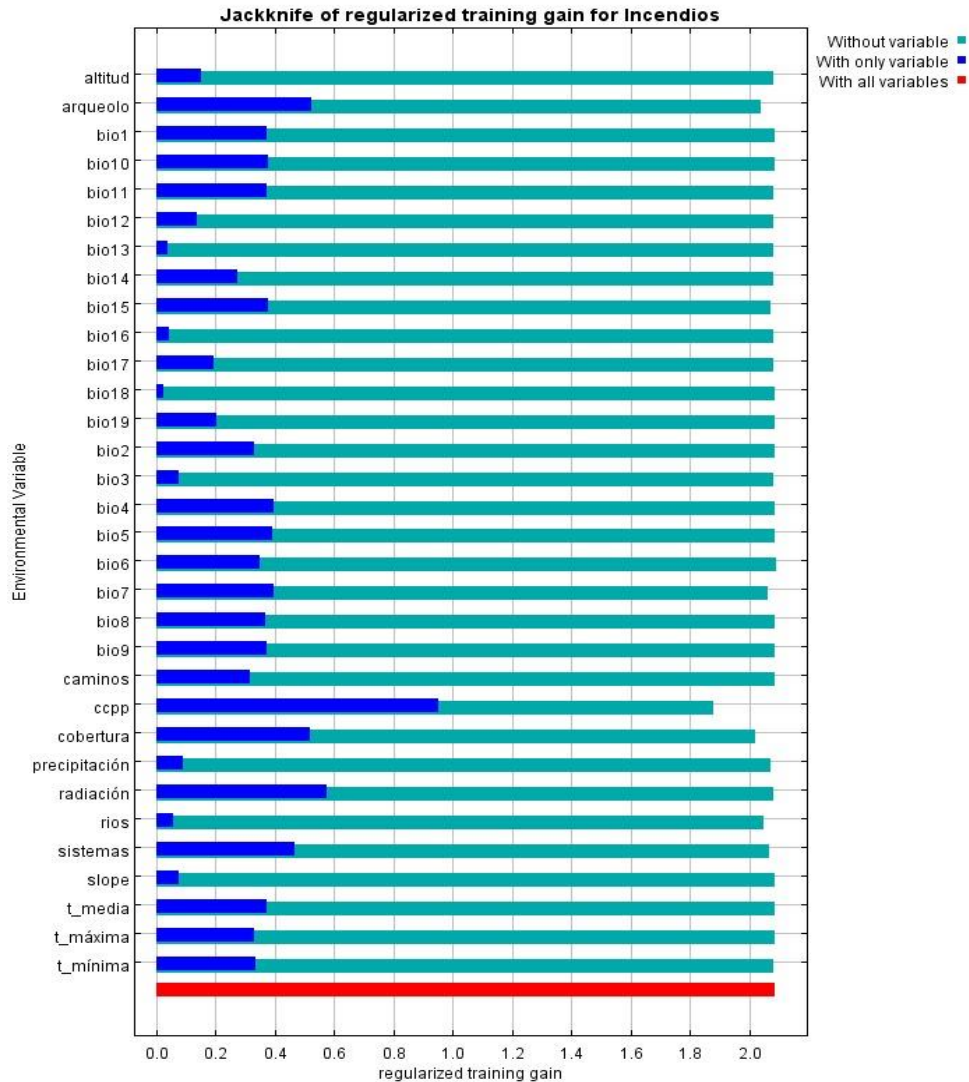


Figura 15. Prueba de “Jackknife” para la importancia de las variables.

En la figura 15, se presenta las variables que más ganancia aportan al modelo generado por MaxEnt. Las barras en color azul son las corridas del modelo usando solo una variable, de tal modo que mientras más crezca, sugiere que la variable posee información más útil para la estimación de áreas potenciales a incendios forestales. De ello obtenemos que la variable con mayor influencia

para el modelo fueron los centros poblados, las otras variables que aportan son radiación y cobertura vegetal.

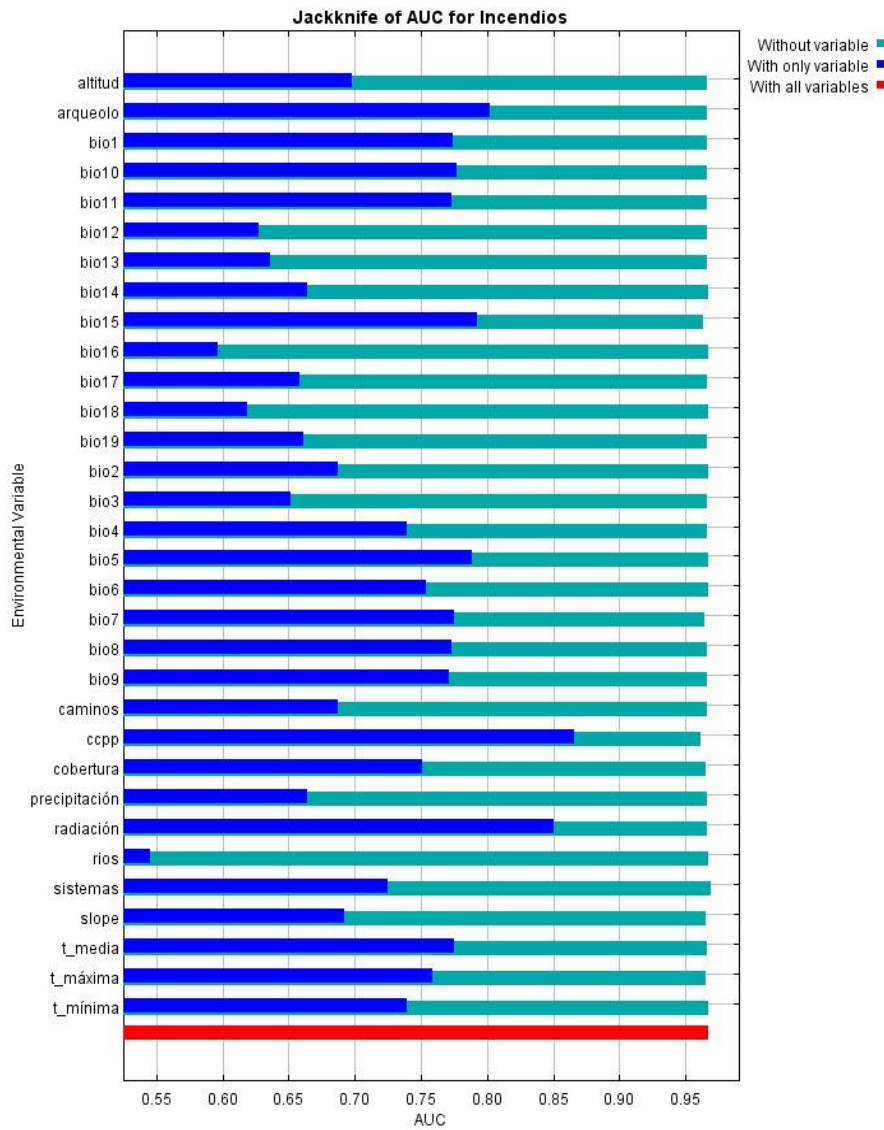


Figura 16. Prueba de “Jackknife” con AUC

La figura 16 nos muestra el aporte que tuvieron las variables para el desarrollo de la gráfica del área bajo la curva – AUC, mostrada en la figura 16. Detallando que las variables que más aportan son los centros poblados, la radiación, los demás tienen un aporte casi homogéneo para la realización y validación del modelamiento de áreas potenciales a incendios forestales.

V. DISCUSIÓN

Ibarra & Huerta (2015), indica que la capacidad de predicción de datos se fundamenta en la robustez del modelo mediante Análisis de área bajo la curva – AUC, para el modelo se obtuvo un 0.967, lo que nos indica que la robustez del modelo para áreas potenciales a incendios forestales fue muy buena, así mismo se utilizó la prueba de Jackknife para todas las variables analizadas en la que se determinó que algunas variables muestran mayor contribución al modelo, caso de centros poblados, radiación y cobertura vegetal, con ello confirmamos que el desarrollo del análisis del AUC junto a la prueba de Jackknife, son estadísticos fiables en el desarrollo de modelos de predicción.

Amaya & Armenteras (2012), establecieron en el análisis realizado que los periodos secos fueron los que más registraron incendios forestales, analizando el registro de incendios forestales del SHM, corroboramos que los incendios con mayor frecuencia se dan en temporada de secas, así mismo mediante la hipótesis se pudo comprobar que la cercanía a poblaciones tiene gran influencia en la ocurrencia y en la predicción de incendios forestales dentro de un ANP. Acerca de la correlación entre variables ambientales ante la incidencia de incendios forestales, tenemos que la única variable que pudo aportar al modelo fue la radiación, aunque se tenía estimado que la temperatura tuviese alguna correlación, ante esto se descarta a la temperatura como una causa directa de incendios forestales.

Muñoz, Treviño, Verastegui, Jimenez & Aguirre (2005), determinaron que las condiciones meteorológicas representaron el 60% de aporte al modelo elaborado, para la investigación realizada dentro del SHM el aporte fue menor a 40%, lo cual difiere mucho, quizá debido a la gran variabilidad de condiciones presentes en ambos trabajos.

Carrillo, Rodriguez, Tchikoué, Monterroso & Santillan (2012), determino que la mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales se da en regiones con baja densidad de localidades, caso contrario a la presente investigación en la cual, se determinó que la variable que más aporta en la caracterización y

modelamiento de incendios forestales, son los centros poblados. También se logró determinar que las áreas con registro de incendios también vienen a ser parte de las áreas potenciales de ocurrencia de incendios forestales.

VI. CONCLUSIONES

1. En base al trabajo de caracterización espacial de incendios forestales mediante análisis estadísticos, fue posible determinar que 50% de incendios forestales se produjo en un rango 453 m a 1 721.5 m con respecto a caminos, centros poblados y sitios arqueológicos, estos resultados muestran que los incendios forestales fueron dados cercanos a la población, por lo cual se sostiene que la mayor influencia ante la ocurrencia de incendios forestales es la variable antrópica. Así mismo la temperatura (variable meteorológica) muestra que el 50% de los valores hallados representan rangos muy bajos como 4.5 °C y máximos 23 °C, lo que indica que la T° puede o no ser un factor determinante a la hora de generarse un incendio forestal.
2. Del análisis multitemporal evaluando los índices NBR y NDVI mediante análisis de Tukey se obtuvo:
 - En el NBR, hubo 2 cambios brusco uno del 2009 (0.05 unidades) al 2010(0.16 unidades) y otro del 2017 (0.04 unidades) al 2018 (0.16 unidades), en ambos casos el cambio de áreas degradadas a área en plena regeneración se puede deducir principalmente al tema de sucesión ecológica donde la vegetación de rápido crecimiento (cobertura herbácea) supone un proceso de regeneración vista mediante imágenes satelitales.
 - En el NDVI, se tienen cambios bruscos en el 2009 (0.2 unidades), 2010 (0.1 unidades) y 2011 (0.2 unidades), acerca del cambio brusco se presume que en el 2011 no se presentó ningún incendio forestal dentro del SHM, mientras que el mayor promedio de NDVI se dio en el 2019 (0.25 unidades), debido a que no se presentaron incendios forestales. Los demás años presentaron grupos homogéneos mostrando valores entre 0.22 a 0.24 unidades.
3. El método de máxima entropía – MaxEnt, es fiable para modelar áreas potenciales de incendios forestales y estos se demostró con corroboración de trabajo en campo y pruebas estadísticas realizadas; los resultados en el presente estudio constituyen una línea de base muy importante y antecedente para la realización de más investigaciones en el tema. No obstante, se debe

realizar una serie de estudios adicionales, pudiendo estos mostrar mejores resultados. La realización del trabajo de campo tuvo que hacer frente a condiciones de inseguridad, caso de accesibilidad, geografía y riesgo por mordedura de animales, lo cual limitó el alcance de muestreos en algunas zonas.

Las áreas con alto riesgo de incendios forestales del modelamiento son similares a las áreas donde se produjeron incendios forestales años anteriores, a ellos se debe resaltar que la proximidad a centros poblados es un factor que marca con mayor incidencia la probabilidad de incendios forestales dentro del SHM.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con investigaciones similares dentro del ANP, de modo que pueda ratificar los resultados de la presente investigación, así como la metodología empleada en la investigación podría tomarse como base para estudios posteriores dentro del mismo SHM o ser aplicado a otras ANPs.
2. En base al conjunto de acciones, normas y documentos de gestión para evitar incendios forestales es necesario evitar la integración de cualquiera de los elementos del triángulo de fuego.
3. Tomar en cuenta las áreas potenciales con muy alto y alto riesgo de incendio forestal como áreas de interés para prevención de incendios forestales, así como la focalización de estrategias y recursos económicos por parte de las instituciones correspondientes.
4. En base al CENEPRED sobre el estudio realizado, se tiene que hacer de conocimiento a las entidades con competencia en gestión de riesgos como SERNANP - SHM y Municipalidad Distrital de Machupicchu y DDC, para la ejecución de acciones correspondientes a los procesos de prevención y reducción de incendios forestales. así mismo se recomienda a las entidades competentes realizar capacitaciones y educación ambiental a niños, jóvenes y adultos en temas sobre el valor de los recursos naturales y culturales, así como los ecosistemas presentes dentro del SHM, vistos desde un enfoque sostenible y conservacionista, involucrando información relacionado a incendios forestales entre ellas técnicas de quema a la población.

Implementar un cronograma para el caso de realizar roce para la ampliación de áreas de cultivo en los centros poblados, con el fin de prevenir incendios forestales y permitir a personal capacitado apoyar en la actividad como medio de prevención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya Villabona, Diego y Dolores Armenteras, Pascual. 2012. Incidencia de incendios sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá D.C. [En línea] junio de 2012. [Citado el: 05 de febrero de 2021.] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Biología.

Carrillo García, Rosa Laura, y otros. 2012. 9, Puebla : s.n., setiembre de 2012, Revista de ciencia y tecnología de América, Vol. 37, págs. 678-683.

CENEPRED. 2018. *Caracterización del peligro por incendios forestales.* 2018.

—. **2018.** Escenario de riesgo por Incendios Forestales. [En línea] 2018. [Citado el: 05 de febrero de 2021.] <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5619>.

Chuvieco, Emilio. 2010. *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio.* 1. s.l. : Ariel, 2010. pág. 528.

CRUZ ESPINDOLA, Miguel Ángel, y otros. 2017. Factores sociales de uso del suelo y vegetación asociados a los incendios forestales en Hidalgo. [En línea] 2017. [Citado el: 12 de febrero de 2021.] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000300139&lng=es&nrm=iso. ISSN 2007-1132.

CRUZ NÚÑEZ, Xochitl y BULNES AQUINO, Estefanía. 2019. Emission impact of wildfires: El Tepozteco 2016. [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Marzo de 2021.] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362019000200085&lng=es&nrm=iso. ISSN 0187-6236.

Environmental Systems Research Institute - ESRI. 2020. Learn ArcGIS. [En línea] 2020. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] <https://learn.arcgis.com/es/arcgis-book/chapter5/>.

Escalante Valencia, Ernesto, y otros. 2014. *Plan Maestro del Santuario Histórico de Machupicchu 2015-2019.* [En línea] Diciembre de 2014.

https://www.culturacusco.gob.pe/dmdocuments/machupicchu/DIAGNOSTICO_FINAL.pdf.

—. **2014.** *Plan Maestro del Santuario Histórico de Machupicchu 2015-2019*. [En línea] Diciembre de 2014. [Citado el: 05 de febrero de 2021.] https://www.culturacusco.gob.pe/dmdocuments/machupicchu/DIAGNOSTICO_FINAL.pdf.

Esteban Nieto, Nicomedes Teodoro. TIPOS DE INVESTIGACIÓN. [En línea] [Citado el: 28 de febrero de 2021.] <http://repositorio.usdg.edu.pe/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf>.

Geoinnova. 2019. Geoinnova Formación. [En línea] 2019. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] <https://geoinnova.org/cursos/como-crear-modelos-predictivos-con-maxent/>.

González Ulibarry, Paco . 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile . *Departamento de Estudios, Extenciones y Publicaciones* . [En línea] 24 de abril de 2017. [Citado el: 2 de febrero de 2021.] <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUE NTA&prmID=39186>.

Hamish Kimmins, J.P. 2003. FAO. [En línea] 2003. [Citado el: 05 de marzo de 2021.] http://www.fao.org/3/xii/ms18-s.htm#P7_184.

Hernandez Sampieri, Roberto, Fernandez Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. MC. Graw Hill Education. [En línea] [Citado el: 5 de Marzo de 2021.] <https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

IBARRA MONTOYA, Jose Luis y HUERTA MARTINEZ, Francisco Martín. 2016. 1, Jalisco : s.n., 2016, Revista Ambiente & Agua, Vol. 11, págs. 35-49. ISSN 1980-993X.

International Business Machines - IBM. 2021. IBM SPSS Statistics. [En línea] IBM, 2021. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] <https://www.ibm.com/pe-es/products/spss-statistics>.

MANRIQUEZ ZAPATA, Héctor Miguel. 2019. Especies forestales afectadas en incendios ocurridos en Amazonas: Un análisis de la información fiscal de los casos de Chachapoyas y Luya.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000300007&lng=es&nrm=iso . [En línea] 2019. [Citado el: 27 de febrero de 2021.] <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26307>.. ISSN 1815-8242.

MANRIQUEZ ZAPATA, Héctor Miguel y RASCON, Jesús. 2020. La atipicidad legal medioambiental y el daño a los recursos naturales: El caso de los incendios forestales ocurridos en Chachapoyas y Luya, Perú. [En línea] 2020. [Citado el: 25 de 02 de 2021.] http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992020000100351&lng=es&nrm=iso. ISSN 1815-8242.

MANZO DELGADO, Lilia L y LOPEZ GARCIA, José. 2020. 1, Mexico : Bosque (Valdivia), 2020, Vol. 41. ISSN 0717-9200.

Marroquin Peña, Roberto. 2012. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN ENRIQUE GUZMÁN Y VALLE. [En línea] 2012. [Citado el: 5 de Marzo de 2021.] http://www.une.edu.pe/Sesion04-Metodologia_de_la_investigacion.pdf.

Matellanes, Roberto. 2017. Gis and Beers. [En línea] 28 de Mayo de 2017. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] <http://www.gisandbeers.com/teledeteccion-para-el-analisis-de-incendios-forestales/>.

Matellanes, Roberto. 2018. Gis and Beers. [En línea] 30 de Abril de 2018. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] <http://www.gisandbeers.com/analisis-severidad-incendios-indice-nbr/>.

Matellanes, Roberto. 2016. Gis and Beers. [En línea] 08 de Diciembre de 2016. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-ndvi/>.

Nasi, Robert , y otros. 2002. 2, s.l. : Unasyuva, febrero de 2002, Revista internacional de silvicultura e industrias forestales, Vol. 53.

Ocampo zuleta, Korina. 2019. 1, Bogota : s.n., 2019, DIALNET, Vol. 24, págs. 1-12. ISSN 0120-548X.

OCAMPO ZULETA, Korina y BELTRAN VARGAS, Julio. 2018. 3, Bogota : Madera bosques [online], 8 de Noviembre de 2018, Vol. 24. ISSN 2448-7597.

Quezada Lucio, Nel. 2014. *Estadística con SPSS 22*. Lima : Macro E.I.R.L., 2014. pág. 337.

SARDUY DOMINGUEZ, Yanetsys. 2007. 3, 2007, Rev Cubana Salud Pública, Vol. 33, págs. 5-11. ISSN 0864-3466.

SERFOR. 2020. SERFOR INSTA A POBLADORES DE PUNO EVITAR LA QUEMA DE RESIDUOS AGRICOLAS Y PASTOS PORQUE OCASIONAN INCENDIOS FORESTALES. [En línea] 5 de junio de 2020. <https://www.serfor.gob.pe/portal/noticias/serfor-insta-a-pobladores-de-puno-evitar-la-quema-de-residuos-agricolas-y-pastos-porque-ocasionan-incendios-forestales>.

SERFOR y MIDAGRI. 2018. PLAN DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS DE INCENDIOS FORESTALES. [En línea] 17 de Diciembre de 2018. [Citado el: 6 de MARZO de 2021.] <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1267623/plan-incendios-forestales.pdf>.

SERNANP. 2018. *Procedimiento para realizar investigaciones en el Santuario Histórico de Machupicchu*. Lima : s.n., 2018.

SERNANP, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado -. 2015. Sistema Nacional de Información Ambiental. [En línea] 24 de abril de 2015. [Citado el: 08 de febrero de 2021.] <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-plan-maestro-periodo-2015-2019-santuario-historico-machupicchu>.

SERNANP; Frankfurt Zoological Society. 2016. Biblioteca Ambiental BIAM Koha. [En línea] Setiembre de 2016. [Citado el: 05 de marzo de 2021.] <http://catalogobiam.minam.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8115.363.379/S42>.

Ugalde Binda, Nadia y Balbastre Benavent, Francisco . 2013. 2, Costa Rica : s.n., 7 de octubre de 2013, Revista de Ciencias Economicas, Vol. 31. ISSN: 0252-9521.

UNESCO. 2011. Organizacion de las Naciones Unidad para la Educacion de la Ciencia y la Cultura . [En línea] 06 de julio de 2011. [Citado el: 02 de febrero de 2021.] http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/one_hundred_years_of_machu_picchu/.

Vargas Cordero, Zoila Rosa . 2009. San Jose : s.n., 2009, Revista Educación, págs. 155-165. ISSN: 0379-7082, 2009.

ZAVALA, VALDEZ, PENA, BRAVO y DELGADO, MANZO. 2019. Chihuahua : s.n., 2019, Acta univ., Vol. 29. ISSN 2007-9621.



Imagen 1. Instalación de parcelas sector Chachabamba



Imagen 3. Registro de datos en Sector Chachabamba



Imagen 2. Instalación de Parcelas en el Sector Torrepatá



Imagen 4. Medición de estratos de Vegetación en el Sector de Torrepatá



Imagen 5. Vista amplia de Cerro Calvario



Imagen 6. Instalación de Parcelas en Sector de Cerro Calvario



Imagen 7. Instalación de Parcelas en Sector Aobamba



Imagen 8. Vista panorámica del Sector Cerro Viscachani



Imagen 9. Instalación de Parcelas en Cerro Viscachani



Imagen 10. Medición de Estratos de Vegetación Cerro Viscachani



Imagen 11. Registro de datos en Sector Cerro Calvario



Imagen 12. Instalación de Parcelas en Sector Patallaq`ta



Imagen 13. Registro de datos en Sector Patallaqta



Imagen 14. Instalación de Parcela en Sector Toronto



Imagen 15. Instalación de parcelas en Sector de Pinchaunuyoc



Imagen 16. Muestra de Parcela a evaluar en Sector de Pinchaunuyoc



Imagen 17. Parcela instalada y toma de datos en Sector Qanabamba



Imagen 18. Instalación de parcela en Sector Retamal



Imagen 19. Evaluación de parcela en Sector Retamal



Imagen 20. Medición de estratos de vegetación en Sector Chakimayo



Imagen 21. Medición de Circunferencia de tronco en Sector Chakimayo



Imagen 22. Reforestación en Sector Musqayoc/Pacaymayo bajo

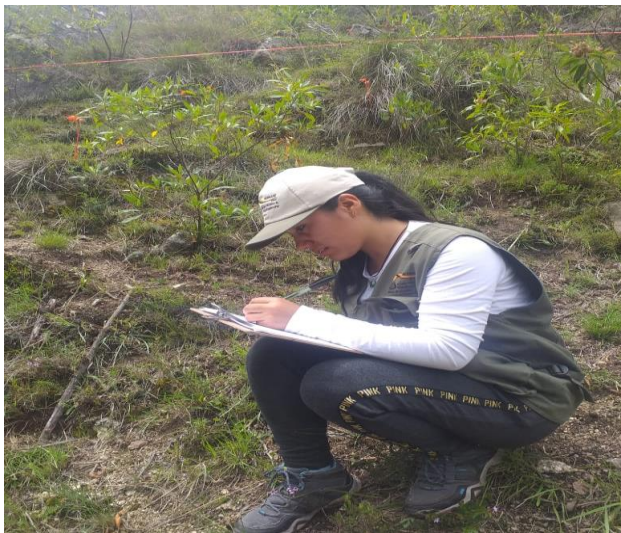


Imagen 23. Registro de datos de parcela evaluada en Sector Musqayoc



Imagen 24. Instalación de parcela en Sector Pampacahua



Imagen 25. Medición de estratos de vegetación Sector Pampacahua



Imagen 26. Área incendiada en Sector Lulluchapampa



Imagen 27. Parcela de evaluación en Sector Lulluchapampa



Imagen 28. Medición de estrato arbóreo Sector Lullucha



Imagen 29. Instalación de parcelas en Torrepatá



Imagen 30. Medición de cobertura vegetal



Imagen 31. Verificación de áreas incendiadas



Imagen 32. Zona de incendio en sector de Torrepatá