

UCUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera en Ingeniería Agronómica

“Identificación de áreas potenciales para incendios forestales, basado en variables climáticas, topográficas y poder calorífico de la vegetación, en la microcuenca del Río Yanuncay”

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo*

Autores:

Edwin Fabián Cobos Mendoza

CI: 010491134-2

Correo electrónico: faco3833@gmail.com

Johanna Karina Viñanzaca Montesdeoca

CI:010522294-7

Correo electrónico: johannitakvm@gmail.com

Director:

Ing. For. Ángel Oswaldo Jadán Maza

CI: 1103298061

Cuenca, Ecuador

17-octubre-2022

RESUMEN

Los incendios forestales son fenómenos de carácter local y global, lo cual está asociado con aspectos socioeconómicos y ambientales. Las indagaciones técnicas y científicas utilizando variables atípicas sobre incendios forestales en el Ecuador son escasas. Para aportar con información sobre este tema se desarrolló la presente investigación cuyo objetivo general fue: delimitar áreas potenciales para incendios forestales basados en variables climáticas, topográficas, poder calorífico en la microcuenca río Yanuncay. **Metodológicamente**, se descargó información digital del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se tomaron 24 muestras de partes vegetativas, tallos y hojas, de cuatro tipos de coberturas priorizadas, para ser analizadas en el laboratorio Físico-química de la Universidad de Cuenca y determinar el poder calorífico. Se diseñó mapas de altitud, pendientes, temperatura, precipitación y poder calorífico, los cuales fueron unidos para obtener una sola capa digital y base de atributos; para determinar áreas que muestran la potencialidad de los incendios forestales. Como **resultado** se registró que los sitios con bajo potencial para incendios forestales presentaron mayor superficie en la microcuenca, a diferencia de los sitios con media alto potencial. Se **concluyó**: el poder calorífico fue mayor en el piso altitudinal alto. Se determinó tres categorías de potencialidad para incendios forestales: alto, medio y bajo, cuyo fenómeno es influenciado por las variables de precipitación baja y temperatura alta.

Palabras clave: Poder calorífico. Incendios forestales. Coberturas vegetales.

ABSTRACT:

Forest fires are local and global phenomena, which are associated with socioeconomic and environmental aspects. Technical and scientific inquiries using atypical variables on forest fires in Ecuador are scarce. To provide information on this topic, the present investigation was developed whose general objective was: to delimit potential areas for forest fires based on climatic, topographical variables, calorific value in the Yanuncay river micro-basin. **Methodologically**, digital information from the Military Geographic Institute (IGM) was downloaded. Twenty-four samples of vegetative parts, stems and leaves were taken, from four types of prioritized covers, to be analyzed in the Physical-chemical laboratory of the University of Cuenca and determine the calorific value. Maps of altitude, slopes, temperature, precipitation and calorific value were designed, which were joined to obtain a single digital layer and base of attributes; to determine areas that show the potentiality of forest fires. As a **result**, it was recorded that the sites with low potential for forest fires had a larger area in the micro-basin, unlike the sites with medium high potential. It was **concluded**: the calorific power was higher in the high-altitude floor. Three categories of potentiality for forest fires were determined: high, medium and low, whose phenomenon is influenced by the variables of low precipitation and high temperature.

Keywords: Calorific power. Forest fires. Vegetation covers.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ABSTRACT:	3
RESUMEN	2
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
LISTA DE ANEXOS	7
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. HIPÓTESIS.....	20
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1 Incendios forestales en la Sierra del Ecuador	21
4.2 Coberturas vegetales mayormente afectadas por incendios forestales	23
4.3 Variables climáticas y su relación con los incendios forestales	25
4.4 El poder calorífico de la vegetación y su determinación.....	27
5. MATERIALES Y MÉTODOS	28
5.1 Área de estudio	28
5.2.2 Metodología para el objetivo específico dos: “Determinar el poder calorífico de las coberturas vegetales con mayor incidencia para incendios forestales en dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay, Azuay Ecuador”	31
5.2.3.1 Variables topográficas	33
5.2.3.2 Variables de climatológicas	34

5.2.3.3 Poder calorífico	36
6. RESULTADOS	40
6.1 Cobertura vegetal (objetivo uno)	40
6.2. Poder calorífico (objetivo dos)	41
6.3 Mapa potencial de incendios forestales (objetivo tres)	43
6.3.1. Mapa de altitud	43
6.3.2. Mapa de pendientes	44
6.3.3 Mapa de temperatura	45
6.3.4 Mapa de precipitación	46
6.3.5 Mapa poder calorífico	47
7. DISCUSIÓN	52
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
8.1 Conclusiones	55
8.2 RECOMENDACIONES	56
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
10. ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Yanuncay. A) Ubicación de la provincia del Azuay en el sur del Ecuador; B) Ubicación de la microcuenca del río Yanuncay en la provincia del Azuay; C) Microcuenca del río Yanuncay y su distribución altitudinal.	29
Figura 2. Esquema metodológico para diseñar el mapa potencial de incendios forestales.	40
Figura 3. Mapa de cobertura vegetal en la microcuenca del río Yanuncay.	41
Figura 4. Promedio del valor del poder calorífico en la microcuenca del Yanuncay: A) Comparación entre los dos pisos altitudinales(alto-bajo); B) Comparación entre coberturas vegetales.	42
Figura 5. Promedio del valor del poder calorífico en la microcuenca del Yanuncay. A) Comparación entre los dos pisos altitudinales(alto-bajo); B) Comparación entre coberturas vegetales.	43
Figura 6. Mapa de pisos altitudinales de la microcuenca del río Yanuncay.	44
Figura 7. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Yanuncay.	45
Figura 8. Mapa de temperatura con los rangos clasificados en la microcuenca del río Yanuncay.	46
Figura 9. Mapa de precipitación de la microcuenca del río Yanuncay.	47
Figura 10. Mapa poder calorífico de la microcuenca del río Yanuncay.	48
Figura 11. Mapa poder calorífico (coberturas y pisos altitudinales) de la microcuenca del río Yanuncay.	50
Figura 12. Mapa potencial de incendios de la microcuenca del río Yanuncay.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hectáreas afectadas por incendios forestales en el Ecuador.	24
Tabla 2. Ejemplo sobre la valoración de los polígonos resultantes para determinar áreas potenciales para incendios forestales.	39

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Toma de muestras en el campo.	61
Anexo 2. Secado de muestras en la estufa.	61
Anexo 3. Bomba calorímetro IKA modelo C200.	61
Anexo 4. Promedios del poder calorífico de las coberturas vegetales	61

Cláusula de Propiedad Intelectual

Johanna Karina Viñanzaca Montesdeoca, autor/a del trabajo de titulación "**Identificación de áreas potenciales para incendios forestales, basado en variables climáticas, topográficas y poder calorífico de la vegetación, en la microcuenca del Río Yanuncay**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de octubre del 2022



Johanna Karina Viñanzaca Montesdeoca

C.I: 0105222947

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Johanna Karina Viñanzaca Montesdeoca en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"Identificación de áreas potenciales para incendios forestales, basado en variables climáticas, topográficas y poder calorífico de la vegetación, en la microcuenca del Río Yanuncay"**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de octubre del 2022



Johanna Karina Viñanzaca Montesdeoca

C.I: 0105222947

Cláusula de Propiedad Intelectual

Edwin Fabian Cobos Mendoza, autor/a del trabajo de titulación **"Identificación de áreas potenciales para incendios forestales, basado en variables climáticas, topográficas y poder calorífico de la vegetación, en la microcuenca del Río Yanuncay"**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de octubre del 2022



Edwin Fabian Cobos Mendoza

C.I: 0104911342

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Edwin Fabian Cobos Mendoza, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"Identificación de áreas potenciales para incendios forestales, basado en variables climáticas, topográficas y poder calorífico de la vegetación, en la microcuenca del Río Yanuncay"**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de octubre del 2022



Edwin Fabian Cobos Mendoza

C.I: 0104911342

Agradecimiento

En la presente sección de este trabajo es un grato honor dejar expresado mis sinceros agradecimientos a grandes personas y a la institución que me vio formar desde sus inicios.

Al Ing. Oswaldo Jadán MSc, una persona que ha sido un pilar fundamental, ya que con sus conocimientos y experiencia supo guiarnos en el proceso de formación y la realización del presente trabajo investigativo. Además, quiero agradecerle a él por cada aspecto e instante dedicado para aclarar cualquier clase de duda que me surgiera, agradecerle por la claridad y precisión con la que enseñó cada clase, alegato y asignatura.

A la facultad de ciencias agropecuarias de la universidad de Cuenca y a toda su administración, les dejo una palabra de agradecimiento por todo el ambiente inspirador y por la oportunidad de completar esta gran carrera.

Fabián.

Agradecimiento

Quiero dejar plasmado mi eterno agradecimiento a:

Al Ing. Oswaldo Jadán, quien, a más de ser nuestro tutor de tesis y llenarnos con su conocimiento, experiencia e inteligencia en todo este proceso formativo, fue fundamental para concluir este trabajo con éxito, debido a la motivación que nos daba, a su paciencia y entrega, por lo cual estaré eternamente agradecida.

A la Universidad de Cuenca, quien fue mi segundo hogar, por impartirme conocimientos y formarme como una buena persona y futura gran profesional.

A mi familia, a mis amigos y a los docentes, que también formaron parte de este gran logro para mí.

Por ultimo quiero agradecerme a mí por no haberme rendido y seguido adelante a pesar de todas las circunstancias suscitadas a lo largo de mi proceso formativo.

¡Infinitas gracias! Johanna.

Dedicatoria

En primer lugar, quiero agradecer infinitamente al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar.

A mis padres; Cecilia Mendoza e Edwin Cobos, quienes han sido el brazo derecho en todo este proceso de formación ya que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Daniela y Adrián por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Fabián.

Dedicatoria

Quiero dedicar el presente trabajo de tesis a las siguientes personas que son muy importantes para mí.

A mi madre Carmen, a quien dedico este trabajo más que a nadie, sé que verme cumplir esta meta, es su mayor anhelo, no me queda más que decirle gracias por su esfuerzo y su gran apoyo.

A mi hija Victoria, por ser mi más grande motivación, por el gran sacrificio que hicimos las dos, al estar separadas por mi paso por la universidad, por enseñarme el amor en su expresión más pura.

A mis hermanos, hermanas, tíos y a mi padre, quienes de una u otra forma me brindaron su apoyo y estuvieron pendientes en este largo trayecto.

A mi novio por darme su apoyo, motivarme, por no dejarme sola y brindarme su cariño y su compañía en todo este tiempo de trabajo de tesis, espero seguir cumpliendo metas a su lado. Johanna.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales actualmente son fenómenos de carácter local y regional, lo cual está asociado con aspectos socioeconómicos y ambientales (Gómez, 2001). Estos fenómenos provocan consecuencias negativas en los ecosistemas nativos o antropogénicos (Barragán & García, 2017). Esto a su vez, es reflejado en el daño directo en los bienes y servicios que prestan los ecosistemas de vegetación natural. Además, estos fenómenos requieren de fuertes inversiones sociales y económicas para la recuperación o restauración ecológica de los ecosistemas nativos afectados (Hernando, 2015). Las coberturas vegetales de mayor incidencia son: bosques, plantaciones, pastizales y sitios de uso agrícola (Bautista 2015).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015) afirma que las mayores causas ligadas a incendios forestales son de origen antropogénico. Se usa el fuego como una práctica cultural para la preparación de los terrenos agrícolas (Gutiérrez, García, & Rosset, 2017). Lamentablemente, en muchas ocasiones, estas prácticas terminan siendo incontrolables provocando los incendios forestales (Zuleta, 2016). Los incendios también son provocados por pirómanos en actos mal intencionados. En la región tropical, el origen de los incendios es raro, por lo tanto, es importante conocer las determinadas regularidades en base al carácter espacio-temporal de los incendios forestales, impuestos principalmente por las condiciones meteorológicas. Esto ayuda a entender el fenómeno para planificar el manejo de áreas de vegetación natural (A. P. Martínez, 2021). las cuales muestran mayor probabilidad de ocurrencia en los meses más secos del año

(Villalobos, 2000).

En Ecuador los incendios forestales han sido muy intensos ya que se han quemado 27326,43 hectáreas de pajonales y bosques durante el año 2020, según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE). Las provincias que han registrado mayor número de hectáreas quemadas de cobertura vegetal son: Loja, Pichincha y Azuay. Sin embargo, de julio a septiembre de 2021 se presentó la mayor frecuencia de incendios forestales en el Ecuador lo que ocasionó la pérdida de 2959,93 hectáreas de cobertura vegetal en 498 eventos registrados. Las provincias más afectadas fueron Loja, Guayas y Azuay. En el Cantón Cuenca, parroquia San Joaquín posee la mayor cantidad de áreas quemadas con 686,36 has (Martínez, 2017).

La información técnica y científica sobre incendios forestales en el Ecuador son escasas por falta de iniciativas locales y nacionales las cuales no están respaldadas por políticas públicas que se basen en investigaciones rigurosas sobre este fenómeno (Rodriguez, 2012). Además, las pocas investigaciones no están registradas en un sistema de información geográfico cuyo registro permitiría hacer una mejor gestión por parte de instancias institucionales. Por ejemplo, se podría establecer metodologías claras con enfoque local y con potencial de réplica, para determinar y analizar zonas de mayor ocurrencia de incendios forestales en todo el país. También, nos servirían para la elaboración de planes de contingencia al

identificar futuras zonas de riesgo y así poder contribuir estrategias de prevención como la concientización humana, asociada con una intensa educación ambiental (Calero, 2020).

Existen variables propias de la vegetación que se enlazan con los factores que provoca el fuego. Una de estas es el poder calorífico que se constituye como el poder del combustible que tiene la vegetación (Hernando, 1990). Esta variable se relaciona con otros atributos como la densidad de la madera, los contenidos secos y húmedos (Suárez & Hernández, 2010). Estos contenidos también guardan íntima relación con variables del clima tanto la temperatura como la precipitación (Moreno, Spavento, & Monteoliva, 2022). Estas dos variables son altamente condicionantes para que el oxígeno sea más eficiente como factor externo y que incida directamente sobre los combustibles y que se provoque el fuego (Cacho & Sendra Ferrer, 2009). Estas variables de clima están relacionadas con procesos meteorológicos asociados a la temporalidad que es propio de cada sitio, lugar o región. En los Andes esta temporalidad no es muy marcada; sin embargo, existen temporadas que se han evidenciado en ciertos años en donde la temperatura provocada por una larga estacionalidad de verano ha sido muy intensa, lo cual ha provocado la quema de grandes superficies en la región andina (Perez, 2021). A estas variables se suma la pendiente que si un factor de riesgo en la región andina en donde se asientan grandes superficies de ecosistemas de

vegetación nativa .Esta variable es una de las que mayor incidencia marca para la propagación del fuego, sumado a la presencia de vientos que cargan grandes cantidades de oxígeno (Estrela, Pastor, Valiente, & Alloza, 2005). También se convierte en una variable que favorece al fuego cuando no se maneja adecuadamente el fuego como herramienta de gestión en la agricultura (Badia, Pèlachs, Vera, Tulla, & Soriano, 2014).

Con estos antecedentes, la presente investigación elaboró un mapa potencial el cual permita identificar las potenciales áreas en donde puedan generarse incendios forestales. Esto se lo realizó considerando variables climáticas, topográficas y en el potencial calorífico de las coberturas vegetales en la microcuenca del Río Yanuncay del cantón Cuenca. Además, este estudio sería uno de los pioneros para ser utilizado con fines específicos en la prevención y mitigación de los incendios forestales en el Austro ecuatoriano.

2. OBJETIVOS

A continuación, se describen los objetivos planteados en el presente estudio.

2.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Delimitar áreas potenciales para incendios forestales basados en variables climáticas, topográficas, potencial calorífico de la vegetación en la microcuenca río Yanuncay, cantón Cuenca.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la cobertura vegetal en dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay, Azuay Ecuador.
2. Determinar el poder calorífico de las coberturas vegetales con mayor incidencia para incendios forestales en dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay, Azuay Ecuador.
3. Elaborar un mapa potencial de incendios forestales mediante la combinación de las variables topográficas, climáticas y el potencial calorífico de las coberturas vegetales en la zona de estudio.

3. HIPÓTESIS

- a. El poder calorífico es diferente en las coberturas vegetales existentes en dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay.
- b. Existen tipos de coberturas vegetales entre dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay.
- c. Las coberturas vegetales existentes en diferentes pisos altitudinales tienen diferente potencial para la ocurrencia de incendios forestales.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Incendios forestales en la Sierra del Ecuador

En el Ecuador una de las zonas de mayor incidencia de incendios forestales ocurre en la región de la Sierra ecuatoriana (Pazmiño, 2019). Machuca & Vélez (2021), considera que esto se produce debido a la presencia de la cordillera de los Andes, la misma que posee una variada orografía lo cual produce diferentes microclimas locales. Es así que en ciertos sectores de Los Andes en temporadas de verano las temperaturas máximas superan los 25°C siendo áreas muy susceptibles para que ocurran incendios forestales (Malpartida, 2016). suceden en ecosistemas altamente vulnerables como son los ecosistemas secos o estacionales, conocidos en el Ecuador como Bosques Secos (A. Aguirre, Granda, 2018). A estas particularidades naturales se suma las causas antropogénicas en

donde los agricultores tienen una alta incidencia cuando no realizan un manejo adecuado del fuego como herramienta dentro de las actividades agrícolas (Z. Aguirre & Delgado, 2005; Cueva Toalombo, Caiza Criollo, & Salguero, 2021). En los Andes más del 70% de los incididos son provocados antropogénicamente, lo cual ha destruido gran parte de vegetación natural e incluso plantaciones forestales implementadas (Bussmann, 2005).

Sobre incendios forestales en el Ecuador, Pazmiño (2019) realizó un estudio en donde determinó que en los Andes del Ecuador tienen mayor incidencia. Aquí, se empleó el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI) de McArthur para plantaciones de *Eucalyptus*, los cuales resultaron muy vulnerables y eficientes para la ocurrencia de incendios forestales por las características propias de la especie. También se mostró que el peligro de los incendios forestales empieza a elevarse desde el mes de julio y el peligro asciende hasta alcanzar sus máximos valores en septiembre y octubre. Al contrario, en el período mensual de noviembre a abril, el peligro de incendios forestales empieza a decrecer de forma constante. En los meses de mayo y junio el nivel de peligro se estabiliza antes de iniciar la temporada de incendios forestales.

En la provincia de Pichincha durante los años de 2015, 2018 y 2019 se reportaron 12003 incendios forestales con un total de 8533,7 ha quemadas (Cedeño, 2020). Aquí se registró una media anual de 2000,5 incendios. Estos

fenómenos han acontecido en parroquias tanto rurales como urbanas, entre los meses de junio y octubre, siendo agosto y septiembre en donde más sobresalen, lo cual corresponde a los porcentajes de ocurrencias de incendios y de hectáreas quemadas de 86,7 y 92,4%, respectivamente.

4.2 Coberturas vegetales mayormente afectadas por incendios forestales

Los incendios que afectan directamente a la cobertura vegetal son catalogados como perturbaciones ecológicas, cuyas consecuencias pueden llegar a ser destructivas para el medio ambiente (Bernal, 2021). En este caso, la principal fuente de combustible es el tipo de vegetación y el estado del material vegetativo (vivo o muerto) que forma parte de la triada del fuego. El problema de los incendios se torna grave cuando alteran de manera definitiva los procesos naturales de un ecosistema dejando así daños irreparables en sus componentes estructurales, sus dinámicas y sus interrelaciones ecológicas (Bond & Keeley, 2005).

Las coberturas vegetales más afectadas por incendios forestales tienen que ver con la producción agrícola (Estacio & Narváez, 2012). También otras coberturas como la vegetación herbácea (páramos), arbustiva (matorrales), arbórea, bosques húmedos y secos (Estacio & Narváez, 2012) se ven afectadas. Con respecto a los ecosistemas de vegetación natural son de gran importancia,

puesto que son hábitats de otros organismos biológicos (Rodríguez, 2012).

Reyes & Balcazar (2021) afirman que en el cantón Loja de toda la cobertura natural, el 20,5% tiene una alta probabilidad de incendios con una incidencia del 50% hasta el 80%, en donde las coberturas de vegetación arbustiva y herbácea representan el 21,3% y 51,3% respectivamente. La cobertura forestal arbórea es la menos susceptible a incendios forestales, con un área que representa el 2,9%. A continuación, se detalla (Tabla 1) la cantidad de hectáreas de coberturas vegetales quemadas desde el año 2018 hasta el 2021 y las provincias más afectadas.

Tabla 1. Hectáreas afectadas por incendios forestales en el Ecuador.

Áreas de coberturas vegetales quemadas.	Provincias	Año
13452,6 hectáreas	Loja, Pichincha, Chimborazo y Azuay	2018
21336,2 hectáreas	Loja, Imbabura, Pichincha, Carchi, Guayas, El Oro y	2019

	Chimborazo.	
27904,91 hectáreas	Loja, Pichincha, Azuay, Guayas y Chimborazo.	2020
1820,3 hectáreas	Azuay, Guayas, Pichincha, Cañar, Imbabura y Loja	2021

Fuente: SNGRE (<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-por-incendios-forestales/>, consultado: 08/01/2022)

4.3 Variables climáticas y su relación con los incendios forestales

El clima y el conjunto de variables ambientales son las que más influyen para que se genere un incendio forestal, debido a que crean condiciones óptimas para que se produzca este evento (Peña, 2019). Esto a su vez trae consigo variables específicas como: temperatura, humedad relativa, precipitación y la velocidad del viento (Huaman, 2018). El comportamiento de todas estas variables son determinantes al momento de un incendio debido a que este fenómeno requiere de elevadas temperaturas, baja humedad relativa, y niveles muy bajos de precipitación. El comportamiento de estas variables climáticas conlleva a que la

vegetación pierda humedad llegando a un punto en donde sea más propensa a inflamarse (Hern, 2013). Además, es importante recalcar que para la existencia de ignición se requiere acciones que pueden ser naturales o causadas por el hombre (Castro, 2014).

Bradstock, Williams, & Gill (2012) indican que la velocidad del viento también contribuye en la intensidad de un incendio forestal cuando se reduce la cantidad de humedad en la vegetación ya que el viento provee de oxígeno para la combustión. De la misma manera en la propagación de un incendio, el viento interviene y es capaz de cambiar el sentido del avance del incendio (Bonilla, 2001). Otras variables que determinan la intensidad de los incendios forestales son los suelos y la topografía (Keetch & Byram, 1968). Los suelos secos y con pendientes positivas, por ejemplo las laderas, estas hacen que la propagación del fuego sea intensa y más rápida (Bradstock et al., 2012).

Reyes-Bueno & Balcazar-Gallegos (2021) demostraron que cuando hay bajas temperaturas entre 9,2 y 12,5 °C y una precipitación de 75 mm, existe mayor probabilidad de que suceda un incendio forestal. Ávila, Pompa, & Vargas (2010) afirman que los factores más importantes que inciden en la ocurrencia de los incendios son: la susceptibilidad de la vegetación al fuego, intensidad en el cambio de uso del suelo y la precipitación. Otro estudio realizado por Pérez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz, & Salmerón-Macías (2013) afirman que la

baja precipitación tiene una influencia directa en el número de incendios. Además, expresan que los incendios no sólo están influenciados por factores ambientales (precipitación, temperatura y altitud) sino también por factores antropogénicos tales como: índice de gravedad de población, distancia a caminos, distancia a localidades, distancia áreas deforestadas, y que además su efecto es variable en función de la ubicación de los incendios.

Ocampo & Beltrán (2018), en su estudio de modelación demuestran que la disminución de la precipitación se da en el periodo de verano y por el fenómeno de El Niño. Esto a su vez hace que aumente la necro masa por ende exista mayor cantidad de material inflamable cual está asociado directamente con los incendios forestales.

4.4 El poder calorífico de la vegetación y su determinación

El poder calorífico es la cantidad de energía liberada en forma de calor, cuando una unidad de combustible se quema completamente en un calorímetro o bomba (Gravalos et al., 2016). En el calorímetro se produce combustiones o circunstancias concretas. Para ello, se incluye en el recipiente de disgregación una muestra de combustible previamente pesada, se enciende la muestra y se mide el aumento de temperatura que se desarrolla en el calorímetro (Morán, 2018).

Para determinar el valor calorífico bruto (H_o) de la muestra se produce mediante de la siguiente formula: $H_o = (C \cdot DT - Q_{Ext1} - Q_{Ext2})/m$; en donde m = peso de la muestra, C = capacidad térmica del calorímetro, DT = aumento de la temperatura del agua calculado en la caldera interna de la celda de medición, Q_{Ext1} = Valor de corrección para la energía térmica que procede de la fibra de algodón como ayuda para el encendido, Q_{Ext2} = valor de corrección para la energía térmica procedente de adyuvantes de combustión adicionales (Morán, 2018)

Núñez, Rodríguez, Proupín, & Diz (2002). considera que existen otras variables para determinar la capacidad que tienen las especies vegetales para influir en los incendios forestales, y es la resistencia que tienen dichas especies para controlar y propagar el fuego. Esta variable es conocida como “flamabilidad”; sin embargo, esta depende de la naturaleza de los combustibles y el nivel de humedad, ambos influenciados por el material y el ambiente.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El área de estudio fue la microcuenca del Río Yanuncay que se encuentra ubicada en la provincia del Azuay al sur del Ecuador (Figura 1A, 1B), la cual posee una marcada distribución altitudinal que va desde los 2480 hasta 4320 msnm (Figura

1C). Esta microcuenca posee una superficie de 41485 ha. Según ETAPA – EP (<https://www.etapa.net.ec/noticias/detalle/id/1390/contenido/etapa-ep-realiza-recorrido-a-la-subcuenca-del-rio-yanuncay>) la microcuenca del río Yanuncay posee un clima que va desde templado hasta frío, con lluvias en los meses de marzo, abril y mayo. También presenta fuertes vientos en agosto, posee clima templado entre septiembre a febrero y clima completamente frío que va desde los meses de noviembre y diciembre.

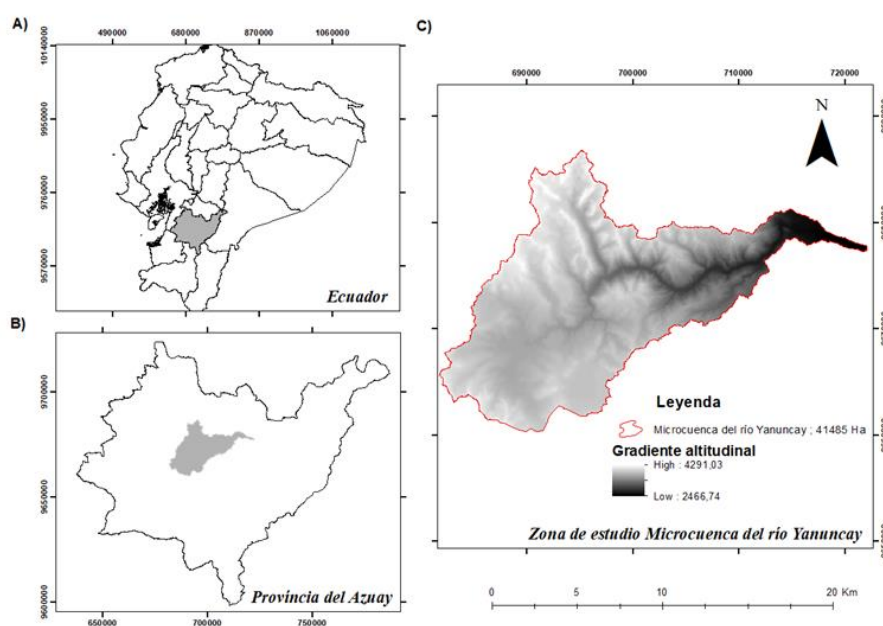


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Yanuncay. A) Ubicación de la provincia del Azuay en el sur del Ecuador; B) Ubicación de la microcuenca del

río Yanuncay en la provincia del Azuay; C) Microcuenca del río Yanuncay y su distribución altitudinal.

5.2 Metodología

5.2.1 Metodología para el objetivo específico uno: “Identificar la cobertura vegetal en dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay, Azuay Ecuador”

Para el desarrollo de este objetivo se buscó y descargó la información en formato “shapefile” del año 2018 sobre la cobertura vegetal a una escala de 1:25 000 del área de estudio, del portal del Instituto Geográfico Militar (IGM) (<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>). Se seleccionó cuatro coberturas de interés por ser las de mayor incidencia según reportes locales, nacionales y regionales para incendios forestales, las cuales fueron: páramo, matorral, plantación y bosque (Guerra, 2021) Todos los polígonos pertenecientes a estas cuatro coberturas fueron unificados para determinar su área total (ha).

Las coberturas vegetales de interés y antes mencionadas fueron estratificadas en dos categorías o pisos altitudinales. Para el manejo de la información geográfica obtenida, se utilizó el programa ARCGIS de escritorio con licencia académica.

5.2.2 Metodología para el objetivo específico dos: “Determinar el poder calorífico de las coberturas vegetales con mayor incidencia para incendios forestales en dos pisos altitudinales en la microcuenca del río Yanuncay, Azuay Ecuador”

Para determinar el poder calorífico se seleccionó tres muestras por cada cobertura vegetal en cada piso altitudinal, dando un total de 24 muestras (3 muestras $\times$ 4 coberturas vegetales $\times$ 2 pisos altitudinales = 24) (Anexo 1). Para la toma de las muestras en cada cobertura analizada se seleccionaron los siguientes biotipos: árboles para bosque y plantación; arbustos para matorral y hierbas para páramo. Para los árboles se cortaron y tomaron partes vegetativas del tallo, ramas gruesas (> 2 cm de diámetro) y hojas. Para el matorral se utilizaron partes del tallo, hojas y ramas, y para el páramo herbáceo se consideraron plantas completas. Para cada cobertura se tomó partes vegetativas de al menos cinco individuos.

Las muestras recolectadas fueron cortadas y trituradas para formar una sola muestra de 1 g. Estas muestras inicialmente fueron pesadas y secadas en la estufa del Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias a 80°C por 48 horas; luego que se obtuvo el peso en seco se la volvió a pesar (Anexo 2). Para el análisis del poder calorífico se utilizó una bomba calorímetra IKA modelo C200 del Laboratorio Fisicoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca (Anexo 3). Este análisis consistió en someter de 0,5 a 0,7 g de la muestra o

biomasa a una reacción de combustión, en donde el valor del poder calorífico fue la cantidad de calor que se desprendió por unidad de masa de la biomasa en función de la capacidad de ebulir en 10 ml de agua (Herrera, Carrillo, López, & Rutiaga, 2017).

5.2.2.1 Diseño experimental para el objetivo específico dos

El diseño que se utilizó fue en bloques completamente al azar BCA. El factor de bloqueo fueron los pisos altitudinales. Dentro de cada bloque estuvieron todas las coberturas vegetales de interés que fueron considerados como tratamientos. El modelo del diseño fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$, donde; μ corresponde a la media general, τ_i el efecto del i-ésimo tratamiento, β_j el efecto del j-ésimo bloque ($j=1,b$) y ε_{ij} es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} .

Previo las pruebas de medias de la variable evaluada (poder calorífico), se comprobó el supuesto de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilks ($p < 0,05$); los resultados obtenidos fueron normales. Luego se comprobó la homocedasticidad mediante gráficos de dispersión entre los residuos y predichos. La variable evaluada fue analizada utilizando un ANDEVA (Fisher, $p < 0,05$), considerando el efecto del bloque, los tratamientos (coberturas) y sus interacciones. Para mejorar la exactitud del modelo e incrementar la potencia de las pruebas de los factores se utilizó el peso húmedo y el peso seco como

covariables, de manera independiente (el cálculo del peso seco, ver metodología del objetivo dos). Los datos fueron analizados con el programa estadístico Infostat (Rienzo, 2009).

5.2.3 Metodología para el tercer objetivo específico: “Elaborar un mapa potencial de incendios forestales mediante la combinación de las variables topográficas, climáticas y el potencial calorífico de las coberturas vegetales en la zona de estudio”

Para cumplir con este objetivo se procedió de manera secuencial considerando las variables correspondientes:

5.2.3.1 Variables topográficas

Se diseñó un **mapa altitudinal** diferenciado en dos pisos altitudinales siguiendo el siguiente procedimiento:

- 1) Se utilizó como insumo digital principal, el modelo de elevación digital (DEM), el mismo que adquirido en el Laboratorio de Geomática de la Universidad de Cuenca Facultad Ciencias Agropecuarias. Luego este modelo fue convertido en un ráster de altitudes.
- 2) La capa ráster de pisos altitudinales fue reclasificada en dos categorías: piso altitudinal bajo - C1a) 2480 msnm a 3400 msnm; piso altitudinal alto – C2a) 3400 msnm a

4320 msnm. La letra a significa el piso altitudinal. El procedimiento aplicado fue el siguiente: ArcToolbox > Spatial Analysis Tools > Reclass > Reclassify > Input raster (DEM) > Classify > Method > Equal interval (Agregar pisos altitudinales 2480 msnm a 3400 msnm).

3) El ráster de altitudes luego de ser reclasificado fue convertido a formato shapefile - polígono de la siguiente manera: ArcToolbox > conversion Tools > From raster > Raster to polygon.

Dentro de las variables topográficas también se diseñó un mapa de pendientes bajo el siguiente procedimiento:

1) Para realizar el mapa de pendientes se utilizó el DEM realizado en el mapa anterior. El detalle informático fue el siguiente: ArcToolbox > Analysis Tools > Surface > Slope > Input raster (DEM) > Output measurement (percer_rise). Este procedimiento permitió obtener una capa ráster de pendientes (Slope).

2) Luego, la capa raster del Slope fue reclasificada siguiendo el siguiente procedimiento: ArcToolbox > Analysis Tools > Reclass > Reclassify > Input raster (slope) > Classify > Method > Equal Interval. Se consideraron tres rangos de clasificación los cuales se describen a continuación: 1) 0 – 25: Pendiente Baja (C1pe); 2) 25 – 45%: Pendiente Media (C2pe) y 3) > 45%: Pendiente Alta (C3pe).

5.2.3.2 Variables de climatológicas

Se diseñaron mapas de distribución espacial de temperatura y precipitación, mediante el siguiente procedimiento:

- 1) El mapa de distribución espacial de temperatura y de precipitación fueron realizados a partir de datos históricos anuales de los años de 1970 hasta el 2000 estos datos fueron extraídos de la base mundial Worldclim (<https://www.worldclim.org/>). En este sitio web se encuentra disponible información de tipo ráster (.tif) con resolución espacial de 1 km² (Hijmans et al., 2005). Se aplicó este procedimiento debido a que no existen estaciones meteorológicas en la microcuenca de estudio.
- 2) El ráster (.tif) de temperatura y precipitación fueron recortados al límite al área de estudio de la microcuenca del río Yanuncay. El proceso informático correspondiente fue: ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask.
- 3) El ráster (.tif) recortado a la zona de estudio fue reclasificado en tres categorías de acuerdo a los valores mínimos y máximos. Se consideraron los siguientes rangos de clasificación según la metodología de Jerónimo & Gómez (2006), para el **mapa de distribución espacial temperatura**: 1) Temperatura baja (C1t); 2) Temperatura media (C2t) y 3) Temperatura alta (C3t). Para el **mapa de distribución espacial de precipitación** 1) Precipitación baja (C1p); 2)

Precipitación media (C2p); 3) Precipitación alta (C3p). Para las dos variables se aplicó el siguiente procedimiento: ArcToolbox > Analysis Tools > Reclass > Reclassify > Input raster (.tif) > Classify > Method Equal Interval.

4) Las capas raster (.tif) resultantes de las dos variables fueron transformadas a formato shapefile tipo polígono de la siguiente manera: ArcToolbox > conversion Tools > From raster > Raster to polygon.

5.2.3.3 Poder calorífico

Para levantar la capa digital del poder calorífico, se utilizó las coberturas de interés como capa base. Luego se procedió de la siguiente manera:

1) A la capa de cobertura vegetal en formato shapefile, en su tabla de atributos se le agregó un campo (columna). En esta columna se colocaron los datos del poder calorífico provenientes de los resultados de laboratorio (Anexo 4). Estos resultados fueron el promedio de las muestras analizadas que corresponden a cada cobertura y piso altitudinal.

2) Luego, los valores del poder calorífico, según los valores máximos y mínimos fueron categorizados según la metodología de (Poveda, Gualotuña, Jara, & Escanta, 2009). en tres categorías: 1) poder calorífico bajo (C1pc); 2) poder calorífico medio (C2pc) y; 3) poder calorífico alto (C3pc).

5.2.3.4. Poder calorífico diferenciado por coberturas vegetales y pisos altitudinales

Para realizar un mapa que represente el poder calorífico según las coberturas vegetales y pisos altitudinales, se utilizó la capa de cobertura vegetal y poder calífico unificados (ver subcapítulo anterior) diferenciada por los pisos altitudinales.

- 1) A la capa de poder calorífico y cobertura vegetal (unificada) diferenciada por los pisos altitudinales (formato shapefile) en su tabla de atributos se le agregó un campo (columna). En esta columna se codificaron las coberturas y los pisos altitudinales.
- 2) Las codificaciones que correspondieron a ocho polígonos resultantes que representaron a las cuatro coberturas vegetales en dos pisos altitudinales fueron las siguientes: Bosque C1a, Bosque C2a, Páramo C1a, Páramo C2a, Plantación C1a, Plantación C2a, Matorral C1a, Matorral C2a (4 coberturas x 2 pisos altitudinales). Se calculó el área de los polígonos resultantes, se realizó la respectiva edición para el mapa respectivo.

5.2.3.5 Mapa potencial de incendios forestales

Las capas digitales resultantes en formato shapefile de las variables topográficas, de clima y poder calorífico fueron unidas mediante la herramienta unión del programa Arcgis. Este procedimiento permitió obtener una sola capa digital en formato shapefile con una sola tabla de atributos. Luego se añadió un nuevo campo (columna) para unificar los códigos que corresponden a cada una de las variables categorizadas. Esta unificación fue realizada mediante la suma automática de la calculadora digital del programa Arcgis.

Para la valoración de los polígonos resultantes de la unificación de las variables utilizadas, se sumó cada categoría de cada variable considerando solo el valor numérico de los códigos provienes de cada capa digital. Para la precipitación se consideró una valoración inversa, es decir la precipitación baja (C1p) tomó un valor de 3, la precipitación media (C2p) un valor de 2 y para la precipitación alta (C3p) un valor de 1. Esto se lo realizó debido a que las áreas con mayor lluvia son menos susceptibles al calor lo que provoca incendios forestales. La valoración de todos los polígonos fue ingresada en un nuevo campo, el cual es el definitivo para considerar las áreas con mayor potencial para incendios forestales. También se calculó el área de cada uno de los polígonos finales. No se consideró la categorización de los pisos altitudinales, porque la interacción entre las coberturas vegetales y pisos altitudinales, el poder calorífico como variable determinante no fue estadísticamente diferente. A continuación, se

describe un ejemplo de valoración de capas resultantes (Tabla 2). En la figura 2 se muestra un esquema sobre las variables utilizadas para generar el mapa potencias de incendios forestales.

Tabla 2. Ejemplo sobre la valoración de los polígonos resultantes para determinar áreas potenciales para incendios forestales.

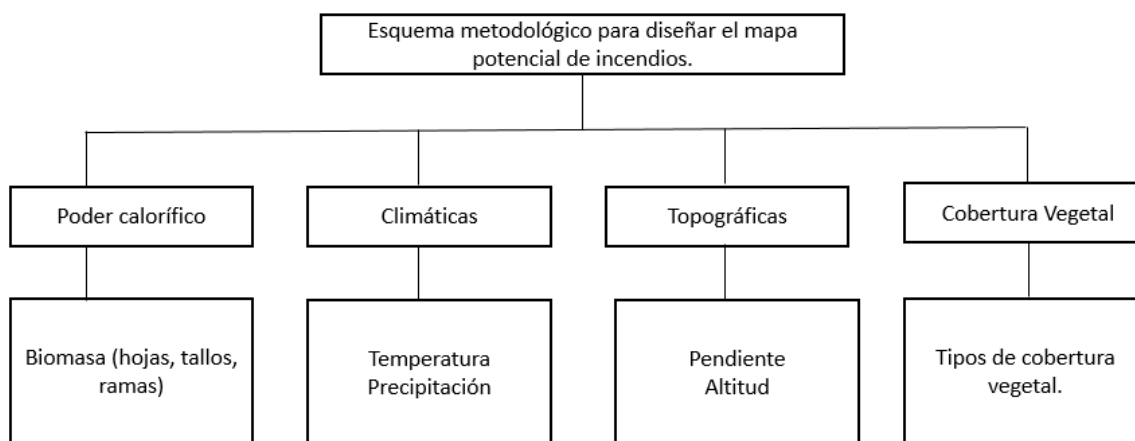
Código resultante	Valor numérico de los códigos provenientes	Valoración	Área (ha)
C1a- C1pe+C1t+C1p+C1pc	1+1+3+1	6	2,6
C2a- 3pe+C1t+C1p*+C3pc	3+1+3+3	8	0,5

C: Categoría de las variables consideradas; a: pisos altitudinales; pe: pendiente; t: temperatura; p*: precipitación (considerando un valor inverso de valoración); pc: poder calorífico.

Finalmente se realizó un mapa final mediante una categorización de la valoración de todos los polígonos basada en los límites superior e inferior, controlando tres niveles o categorías: C1) bajo potencial para incendios

forestales; C2) medio potencial para incendios forestales; C3) alto potencial para incendios forestales.

Figura 2. Esquema metodológico para diseñar el mapa potencial de



incendios forestales.

6. RESULTADOS

6.1 Cobertura vegetal (objetivo uno)

Con respecto a las coberturas vegetales de interés, el páramo fue la que registró la mayor cantidad de superficie dentro de la microcuenca del río Yanuncay con 28821,9 ha que representa el 69,5% de las coberturas de interés. Luego la cobertura de vegetación arbustiva registró 2764,1 ha (6,7%) seguido de la cobertura de la plantación forestal con 1836,1 ha que representa el 4,4%. La cobertura vegetal de bosque nativo registró la menor superficie con 239,6 ha (0,5%).

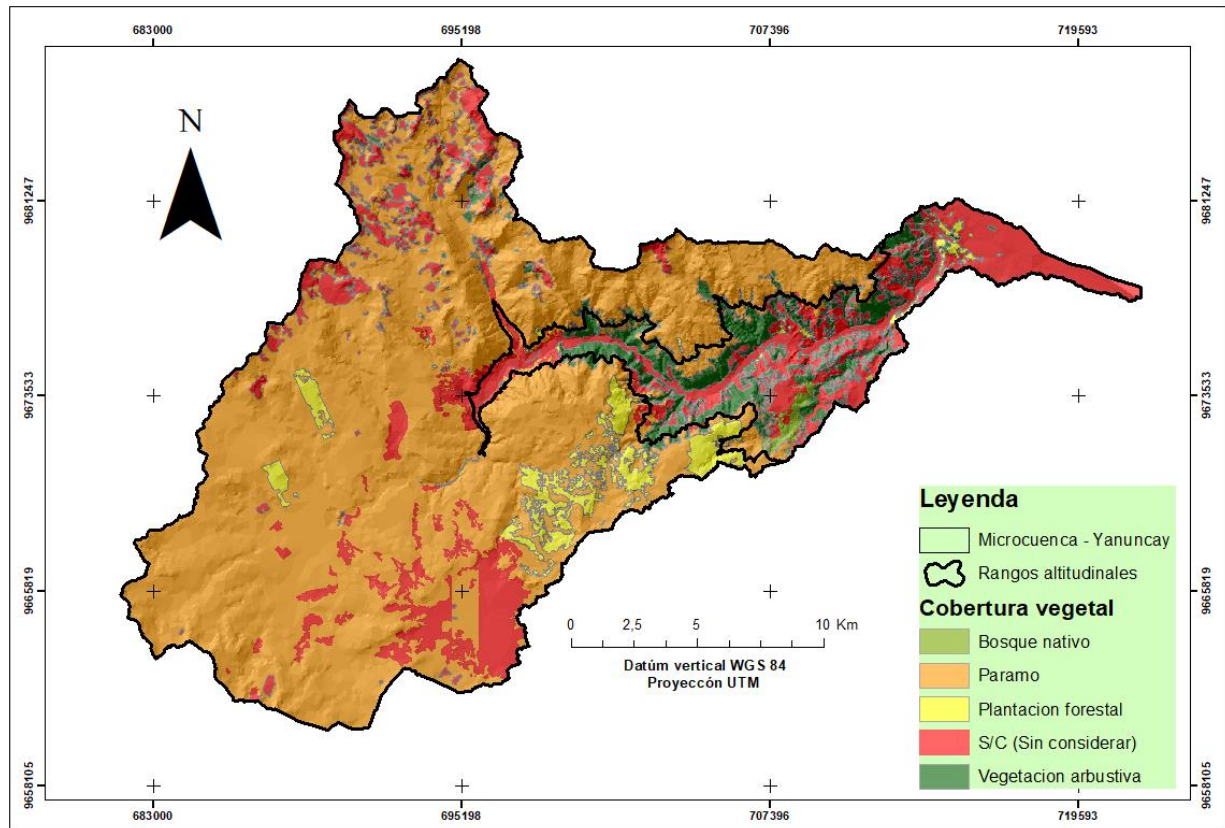


Figura 3. Mapa de cobertura vegetal en la microcuenca del río Yanuncay.

6.2. Poder calorífico (objetivo dos)

Considerando al peso húmedo como covariable (la cual resultó ser significativa $p = 0,0001$) el poder calorífico fue superior estadísticamente ($p = 0,0037$) en el piso altitudinal alto (Figura 3A). También fue superior significativamente en la plantación y bosque ($p = 0,0031$) a diferencia de la vegetación arbustiva - matorral y páramo que presentaron los menores valores (Figura 3B). La interacción entre el efecto del

bloque (pisos altitudinales) y las coberturas vegetales no registró diferencias significativas ($p = 0,6555$).

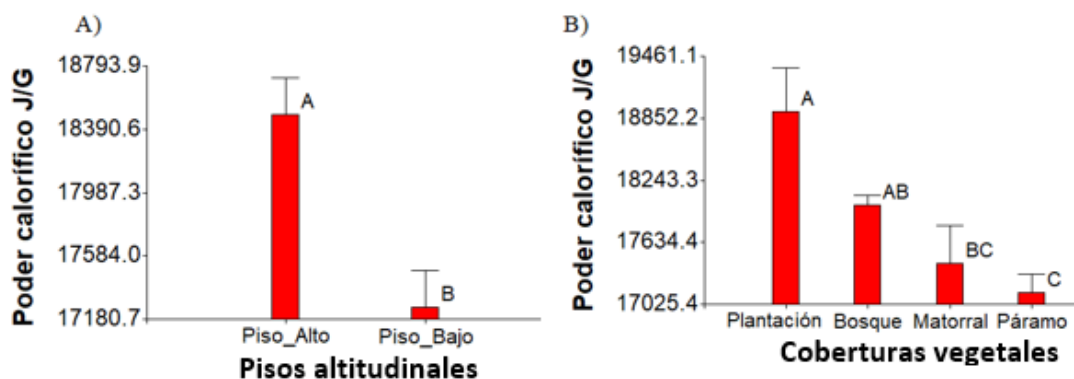


Figura 4. Promedio del valor del poder calorífico en la microcuenca del Yanuncay: A) Comparación entre los dos pisos altitudinales(alto-bajo); B) Comparación entre coberturas vegetales.

Considerando al peso seco como covariable (la cual resultó ser significativa; $p = 0,0001$) se obtuvo resultados similares que con el peso húmedo. El poder calorífico fue superior significativamente en la plantación y bosque ($p = 0.0001$) a diferencia de la vegetación arbustiva - matorral y páramo que presentaron los menores valores (Figura 4A). También fue superior estadísticamente ($p = 0,0029$) en el piso altitudinal alto (Figura 4B). La interacción entre el efecto del bloque (pisos altitudinales) y las coberturas no registró diferencias significativas ($p = 0,3279$).

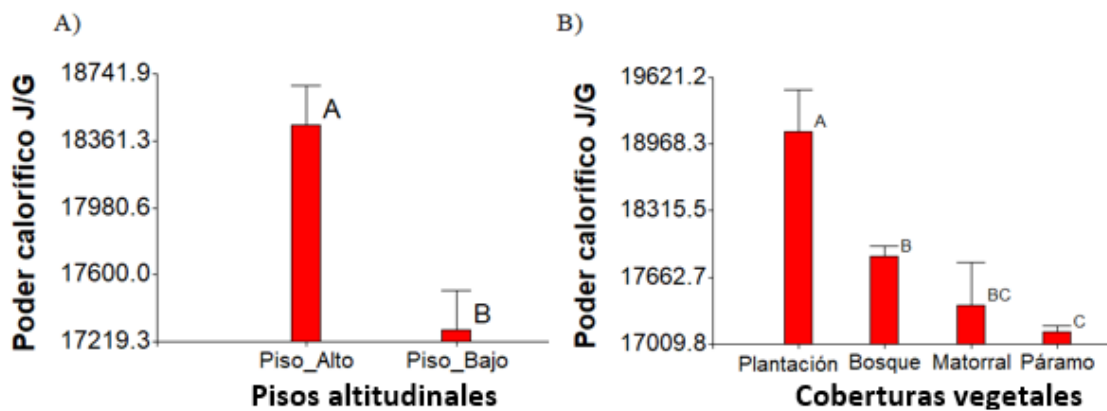


Figura 5. Promedio del valor del poder calorífico en la microcuenca del Yanuncay.

A) Comparación entre los dos pisos altitudinales(alto-bajo); B) Comparación entre coberturas vegetales.

6.3 Mapa potencial de incendios forestales (objetivo tres)

6.3.1. Mapa de altitud

El piso altitudinal de nivel alto presentó la mayor superficie con 34053,9 ha que representa el 82% de la microcuenca del río Yanuncay (Figura 5). Luego el piso altitudinal bajo presentó 7431,4 ha, el cual representa el 18% de toda la microcuenca.

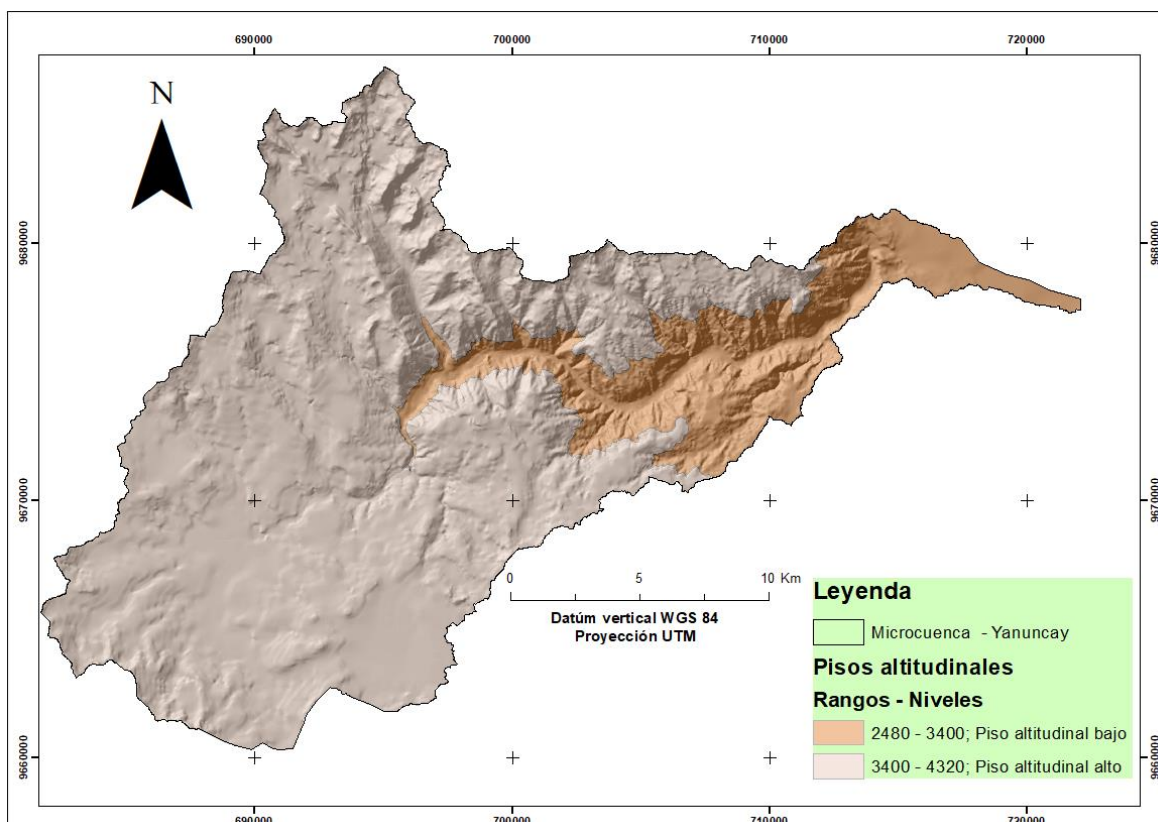


Figura 6. Mapa de pisos altitudinales de la microcuenca del río Yanuncay.

6.3.2. Mapa de pendientes

La pendiente baja que va desde 0 a 25% fue la que presentó mayor superficie en la microcuenca del río Yanuncay con el 80% que representan 33365 ha (Figura 6). Luego la pendiente media que está dentro de 25-45% posee 7753 ha que

equivale al 19% de superficie. La pendiente alta que contiene a las pendientes > 45%, registró la menor superficie con 241 ha (1%).

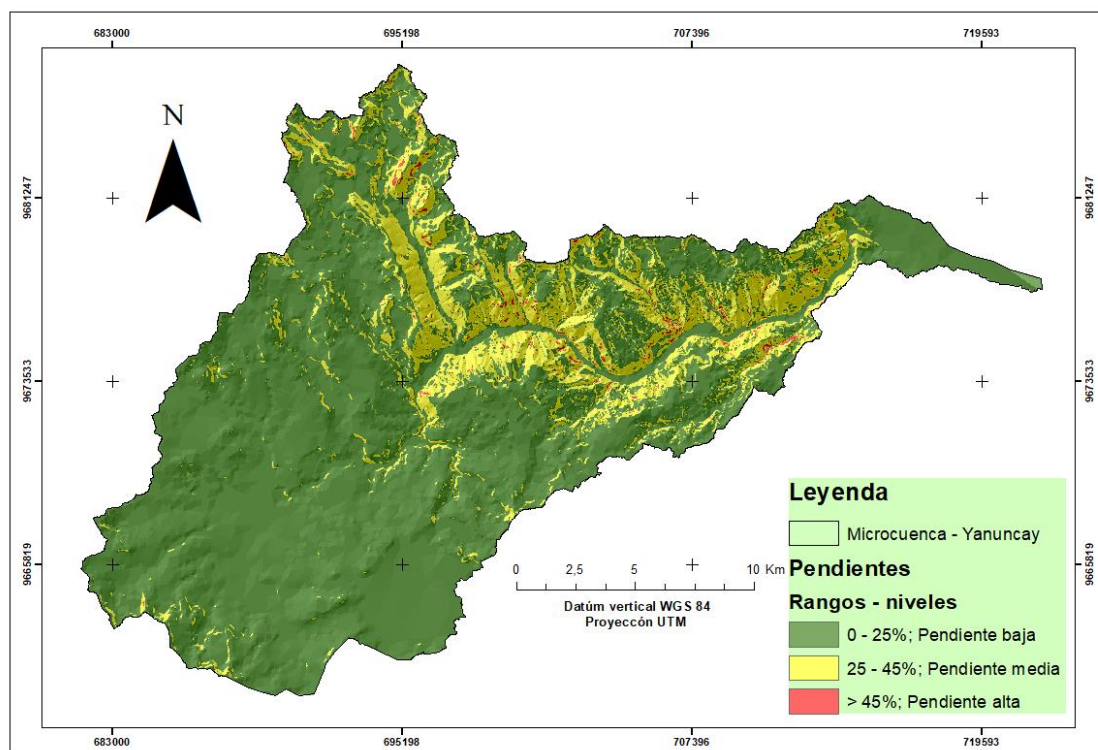


Figura 7. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Yanuncay.

6.3.3 Mapa de temperatura

La temperatura baja correspondió al intervalo entre 4 - 8°C y presentó la mayor superficie en la microcuenca del río Yanuncay con 32103 ha que representa el 77% (Figura 7). Luego, la temperatura media que va desde 8 – 11,4°C presentó 6793,2

ha (17%). La temperatura alta que tiene un intervalo entre 11,4 – 15,2°C presentó la menor superficie dentro de la microcuenca con 2588,3 ha (7%).

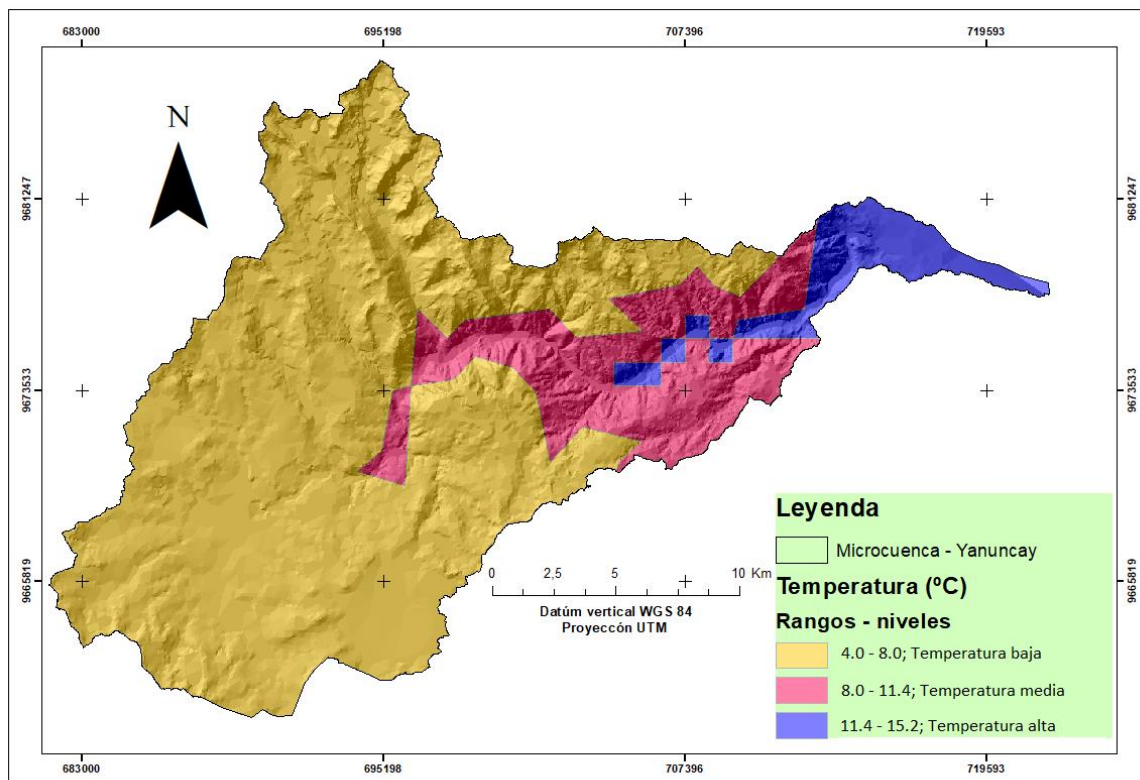


Figura 8. Mapa de temperatura con los rangos clasificados en la microcuenca del río Yanuncay.

6.3.4 Mapa de precipitación

La precipitación media presentó la mayor superficie en la microcuenca del río Yanuncay con 16391,5 ha que representa el 40% (Figura 8). Luego la precipitación

baja presentó 16368,9 ha (39%). La precipitación alta presentó la menor superficie dentro de la microcuenca del río Yanuncay con 9340 ha (21%).

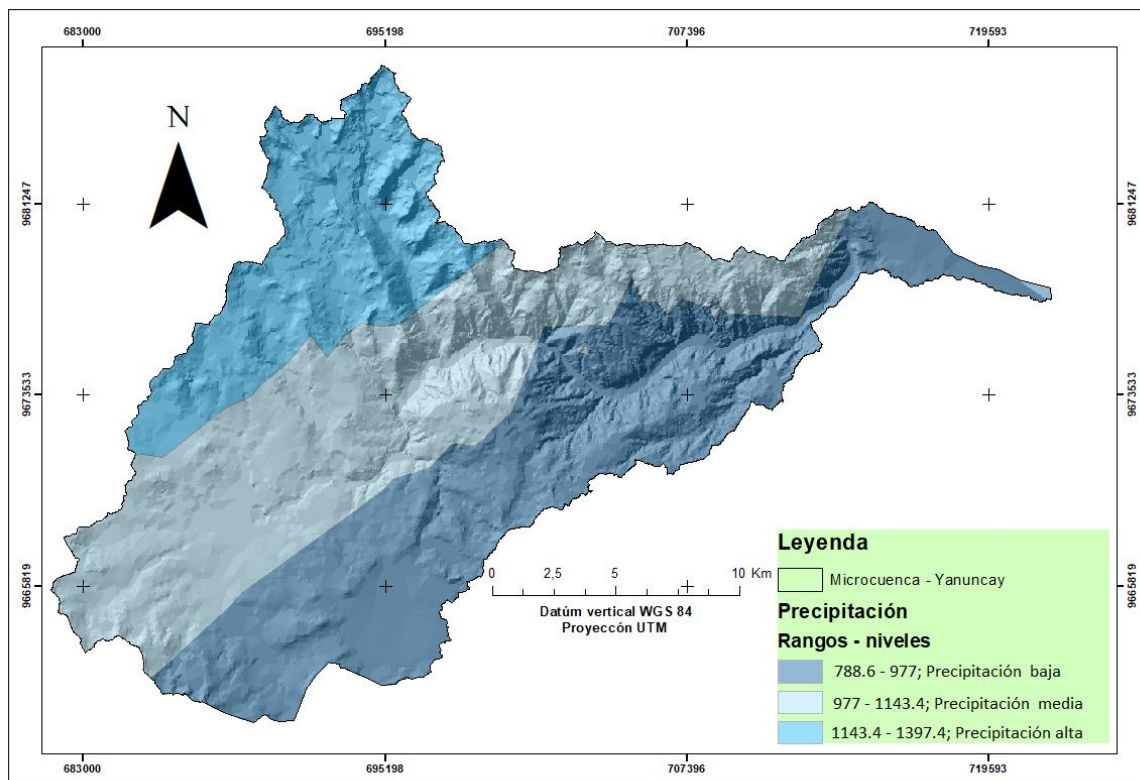


Figura 9. Mapa de precipitación de la microcuenca del río Yanuncay.

6.3.5 Mapa poder calorífico

El resultado de las coberturas vegetales y los valores del poder calorífico mostraron que el poder calorífico alto posee un área de 1835,9 ha que representa 5,5% de las coberturas vegetales de interés (Figura 9). El poder calorífico medio

registró una superficie de 696,4 ha, que representa el 2%, y el poder calorífico bajo con un área de 31126,3 ha con el 92,5%.

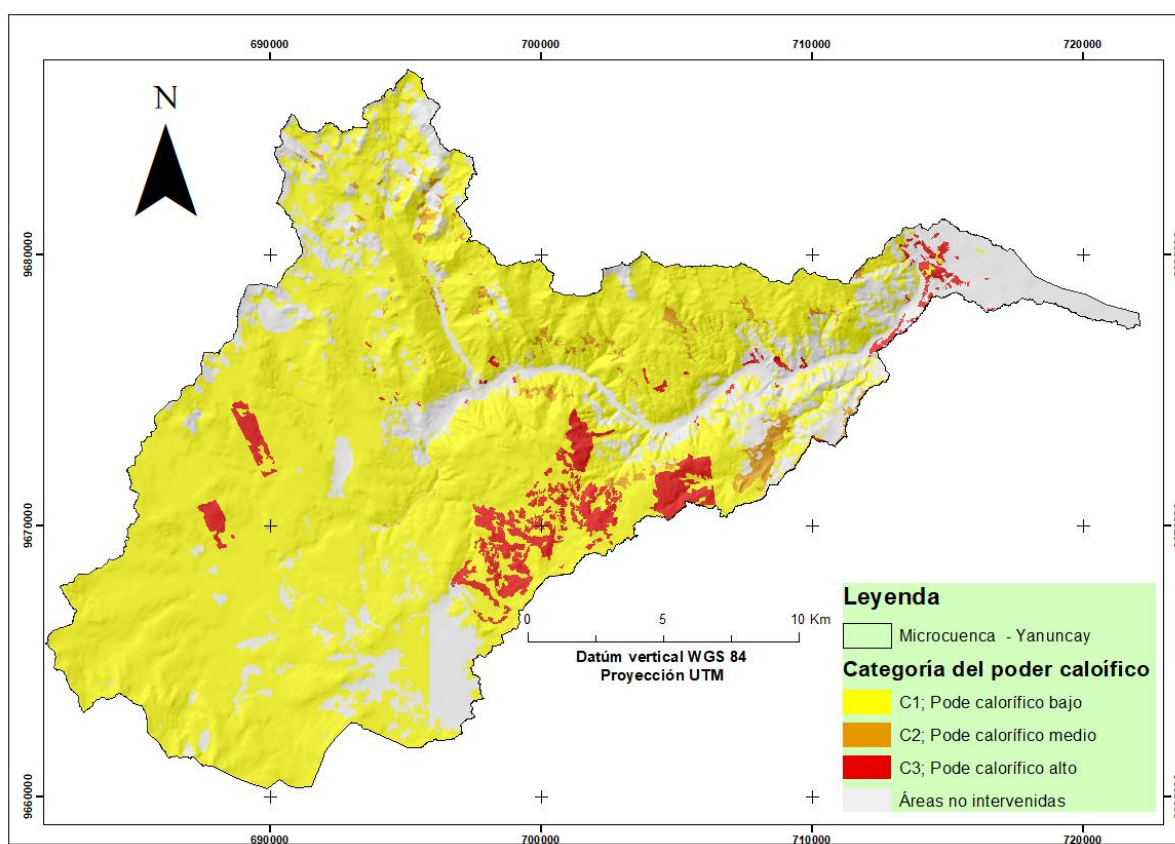


Figura 10. Mapa poder calorífico de la microcuenca del río Yanuncay.

6.3.6. Mapa poder calorífico diferenciado con coberturas vegetales y pisos altitudinales

La plantación forestal en el piso altitudinal bajo fue la cobertura vegetal con mayor poder calorífico con 18556 J/g en un área de 251,6 ha (Figura 10). Luego, la cobertura de plantación forestal en el piso altitudinal alto decreció con 18519,3 J/g en una superficie de 1584,3 ha. La siguiente cobertura vegetal con menos superficie fue el matorral en el piso altitudinal alto con 18096 J/g en 456,9 ha. Continúa decrecientemente el bosque en el piso altitudinal alto con 18004,7 J/g en un área de 7,9 ha. Luego la misma cobertura de bosque en el piso altitudinal bajo desciende con 17815,3 J/g en 231,5 ha. Después, la cobertura de páramo en el piso altitudinal bajo registró 17430 J/g en una superficie de 829,5 ha. Luego el mismo páramo en el piso altitudinal alto presentó 17333,3 J/g en 27989,7 ha. Al final con menor poder calorífico fue el matorral en el piso altitudinal bajo con 17199,7 J/g con un área de 2307 ha.

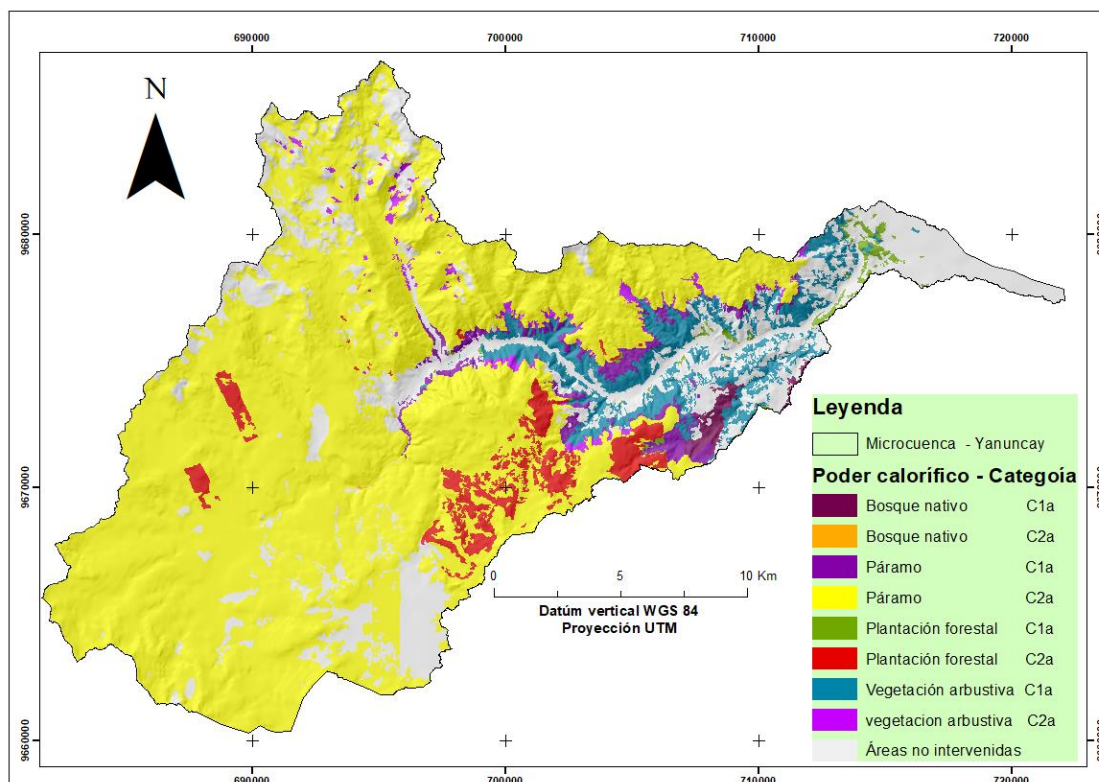


Figura 11. Mapa poder calorífico (coberturas y pisos altitudinales) de la microcuenca del río Yanuncay.

6.3.7 Mapa potencial de incendios forestales

El área que tiene alto potencial para incendios forestales tiene una superficie de 276,2 ha que representa 0,8% de las coberturas utilizadas. Luego el área que representa medio potencial para incendios forestales posee una superficie de 6210,2 ha que corresponde al 18,5%. Por último, el área con bajo potencial para

incendios forestales posee 27096,8 ha que representa el 80,7%.

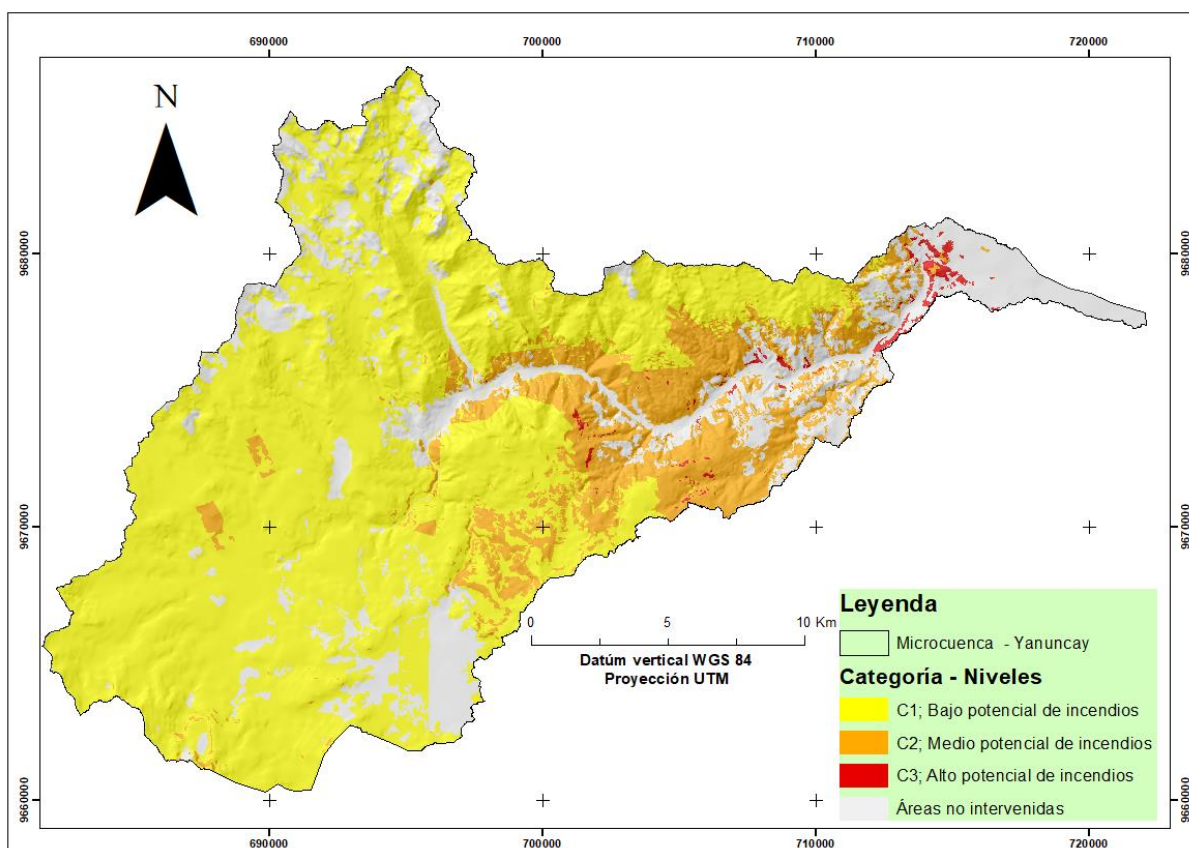


Figura 12. Mapa potencial de incendios de la microcuenca del río Yanuncay.

7. DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos, el peso húmedo y el peso seco de las muestras obtenidas de cada cobertura vegetal de interés fueron importantes para ajustar los modelos en el análisis de varianza. Esto permitió obtener diferencias significativas en el efecto del bloque (pisos altitudinales) y las coberturas vegetales. El peso húmedo y seco están condicionados por los atributos de la vegetación, como la densidad de la madera u otros componentes morfológicos y anatómicos (densidades, tamaños de ramas, formas de las hojas entre otras), en la vegetación o biotipos más importantes en cada cobertura vegetal (Ahrens et al., 2020).

El poder calorífico y su mayor resultado obtenido en el piso altitudinal alto se debe posiblemente a que en este piso la vegetación leñosa presente en las plantaciones, bosque y matorral son más duras en densidad. Esta mayor densidad se debe posiblemente a aspectos ecológicos y fisiológicos de adaptación. Mazón et al. (2020) afirman que la densidad de la madera se incrementa con la elevación (piso altitudinal) lo cual es consistente con nuestra afirmación. Con respecto a la adaptación, las partes organológicas de los vegetales a menores temperaturas se endurecen para evitar los daños mecánicos en sus tejidos provocados por las bajas temperaturas e intensas precipitaciones (Ahmad et al., 2016).

Los mayores valores de poder calorífico registrados en las plantaciones y bosque se deben a que las especies leñosas poseen mayor densidad en sus partes principales de indagación que son las ramas y tronco. Estas partes organológicas poseen mayor densidad de la madera, la cual está directamente relacionada con el poder calorífico. También el material vegetal de las plantaciones y bosque presentan menor contenido de humedad lo cual incide notablemente en el poder calorífico. Salazar (2016) y Santos (2020) afirman que cuando la biomasa de la vegetación presenta mayor humedad, el calor generado en la combustión es utilizado en parte para evaporar el agua, lo que provoca directamente disminución en el poder calorífico.

Este estudio es una aplicación técnica para determinar zonas potenciales de incendios utilizando sistemas de información geográfica (SIG). Aquí se pudo integrar variables climáticas como temperatura, precipitación, coberturas vegetales, pendiente, altitud y el poder calorífico como algo singular del presente trabajo. Varias variables han sido sugeridas en el modelo conceptual de la ocurrencia de incendios descrito por Chibinda, Arada, & Pérez (2017). Con respecto al poder calorífico de cada cobertura vegetal, corresponde a una variable elemental, no común en otros trabajos para determinar estos escenarios de predicción de incendios forestales. De manera específica altos índices de poder calorífico indica alta combustión e índices de bajo poder calorífico indica baja

combustión La pendiente es otra variable importante como lo afirman quienes demuestran que el riesgo de incendios se incrementa proporcional y positivamente con la pendiente, es decir en pendientes altas existe mayor probabilidad de incendios forestales a diferencia en sitios con pendientes bajas (Ruiz, 2004)

Otros estudios realizados Ibarra (2016) y Pazmiño (2019) acerca del comportamiento de los incendios forestales, causas y prevención, sugieren el uso de modelamientos espaciales, con imágenes satelitales, variables climáticas y fisiográficas similares a las que se utilizaron en este estudio. No obstante, ninguno utiliza la variable del poder calorífico dentro de sus modelamientos. Es por ello que este estudio se lo puede considerar como pionero en el Sur de Ecuador para determinar zonas con alta incidencia a incendios forestales en una escala local, como es en este caso la microcuenca del río Yanuncay para poder replicarlo a nivel regional.

Integrando todas las variables consideradas en la presente investigación se puede argumentar y proponer un protocolo técnico para determinar áreas potenciales para incendios forestales. Esta argumentación se basa en los resultados obtenidos, los cuales ya han sido expuestos, descritos y analizados previamente. No obstante, estos resultados pueden ser similares o diferentes a otros contextos en donde se pueda replicar esta investigación, lo cual estará condicionada por las variables circundantes en regiones o provincias altamente

diversos en ecosistemas, como lo es la región sur del Ecuador no se puede dar mayor prioridad a las variables consideradas ya que en conjunto forman los factores externos que provocan los incendios forestales. Sin embargo, en tema sociocultural debe ser considerado, ya que como se lo ha mencionado anteriormente es uno de los factores más determinantes para que se dé la potencialidad de incendios forestales. Esto ocurre en distintos ecosistemas de la región tropical y particularmente en nuestro país (Keating, 2007).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se seleccionaron cuatro coberturas vegetales por considerarlas como las más susceptibles para los incendios forestales. De estas coberturas dentro de la microcuenca del río Yanuncay el páramo registró la mayor cantidad de superficie a diferencia del bosque nativo que presentó la menor superficie. Con respecto al páramo es un ecosistema que históricamente ha sido quemado lo que ha provocado alternaciones ecológicas mediante la destrucción de su estructura y funcionalidad.

El poder calorífico entre los dos pisos altitudinales fue diferente, siendo el piso altitudinal alto el que registró mayor valor. Además, las coberturas vegetales de plantación forestal y bosque fueron las que presentaron mayores valores en comparación con el páramo y matorral que registraron los menores valores. En

cuanto a la plantación forestal y bosque los mayores valores pueden ser atribuidos a las características morfológicas y anatómicas que presentan la vegetación o biotipos principales que forma parte de estos ecosistemas de vegetación.

En el mapa final como resultado de la unión de todas las variables: climáticas (temperatura y precipitación), topográficas (pendiente y altitud), poder calorífico y coberturas vegetales de interés se determinó tres categorías; alto, medio y bajo potencial para incendios forestales. Las áreas que pertenecen al piso altitudinal bajo están directamente relacionadas con las áreas con mayor potencialidad a incendios forestales, cuyo fenómeno es influenciado por las variables de precipitación baja y temperatura alta.

8.2 RECOMENDACIONES

Es importante que este estudio sea replicado como una nueva herramienta para generar estrategias para la prevención y control de incendios forestales en las zonas que presenten alto riesgo o mayor potencialidad. Además, se recomienda en futuros estudios considerar variables adicionales como la velocidad del viento, el tiempo de combustión de las coberturas vegetales, y aún más importante la determinación del poder calorífico que sea más específica, es decir a nivel de especies.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A., Granda. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(2).
- Aguirre, Z., & Delgado, T. (2005). Vegetación de los bosques secos de Cerro Negro-Cazaderos, Occidente de la Provincia de Loja. *Biodiversidad en los bosques secos de la zona de Cerro Negro-Cazaderos, occidente de la provincia de Loja: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*, 9-24.
- Ahmad, K. S., Hameed, M., Fatima, S., Ashraf, M., Ahmad, F., Naseer, M., & Akhtar, N. (2016). Morpho-anatomical and physiological adaptations to high altitude in some Aveneae grasses from Neelum Valley, Western Himalayan Kashmir. *Acta physiologiae plantarum*, 38(4), 1-14.
- Ahrens, C. W., Andrew, M. E., Mazanec, R. A., Ruthrof, K. X., Challis, A., Hardy, G., . . . Rymer, P. D. (2020). Plant functional traits differ in adaptability and are predicted to be differentially affected by climate change. *Ecology and evolution*, 10(1), 232-248.
- Ávila, D., Pompa, M., & Vargas, E. (2010). Spatial analysis of forest fire occurrence in the state of Durango. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2), 253-260.
- Badia, A., Pèlachs, A., Vera, A., Tulla, A. F., & Soriano, J. M. (2014). Cambios en los usos y cubiertas del suelo y los efectos en la vulnerabilidad en las comarcas de montaña de Cataluña. Del rol del fuego como herramienta de gestión a los incendios como amenaza. *Pirineos*, 169, e001-e001.
- Barragán, I. A., & García, C. E. (2017). *Evaluación del riesgo de incendios forestales y su efecto en el ecosistema. Bosque los arrayanes. Parroquia San Pablo. cantón San Miguel, Bolívar. 2017.* Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser ...,
- Bautista, F. S. (2015). Emisiones totales anuales de CO₂ por incendios forestales en el periodo 1999-2010 en México y estimación de índice de riesgo.
- Bernal, F. H. (2021). Propuesta de un índice de dificultad de extinción de incendios de la cobertura vegetal. Caso municipio de Santiago de Cali, Departamento del Valle del Cauca-Colombia.
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), 387-394.
- Bonilla, R. (2001). Guía técnica en prevención y control de incendios forestales. *PROPETEN-Conservación Internacional. 2001. Guatemala. GT.*
- Bradstock, R. A., Williams, R. J., & Gill, A. M. (2012). *Flammable Australia: fire regimes, biodiversity and ecosystems in a changing world*: CSIRO publishing.
- Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista peruana de Biología*, 12(2), 203-216.
- Cacho, C., & Sendra Ferrer, J. (2009). *Análisis meteorológico y del comportamiento del fuego del gran incendio forestal de Zuera (Zaragoza) de 5 de agosto de 2008.* Paper presented at the Congresos Forestales.

- Calero, F. (2020). *Análisis documental de la gestión del riesgo de incendios forestales o de vegetación y actividades de educación ambiental en el departamento del Valle del Cauca*. Universidad Santiago de Cali,
- Castro, J. M. (2014). Historia reciente de la vegetación y dinámica de fuego de la Isla Grande de Chiloé inferidos a través del análisis de polen y partículas de carbón en sedimentos de turberas de origen natural y antropogénico.
- Cedeño, X. C. (2020). *Análisis espacio-temporal de los incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, en el período 2014–2019*. Jipijapa. UNESUM,
- Chibinda, C., Arada, M., & Pérez, N. (2017). Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera. *Revista cubana de química*, 29(2), 303-321.
- Cueva Toalombo, J., Caiza Criollo, E., & Salguero, M. (2021). Valoración social económica ambiental de los incendios forestales. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), 226-231.
- Estacio, J., & Narváez, N. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*(11), 27-52.
- Estrela, M. J., Pastor, F., Valiente, J. A., & Alloza, J. A. (2005). Integración de una cartografía de vientos en situaciones meteorológicas de riesgo de incendios forestales en la Comunidad Valenciana mediante un SIG. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*(5), 94-114.
- Gómez, J. J. (2001). *Vulnerabilidad y medio ambiente*. Retrieved from
- Gravalos, I., Xyradakis, P., Kateris, D., Gialamas, T., Bartzialis, D., & Giannoulis, K. (2016). An experimental determination of gross calorific value of different agroforestry species and bio-based industry residues. *Natural Resources*, 7(1), 57-68.
- Guerra, E. F. (2021). Susceptibilidad de incendios forestales en el cantón Quito, Ecuador, y su relación con el capital simbólico presente en la población del sector.
- Gutiérrez, García, V., & Rosset, P. (2017). De la supresión al manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas: perspectivas campesinas. *Región y sociedad*, 29(70), 31-70.
- Hern, Y. C. (2013). Influencia de las variables humedad, estrato y forma del combustible en la inflamabilidad de algunas especies vegetales asociadas a ecosistemas de pinares. *Ciencias Forestales y Ambientales*, 1(2).
- Hernando, C. (1990). *Inflamabilidad y poder calorífico de especies del sotobosque (Zona Centro, Levante y Andalucía)*. Universidad Politécnica de Madrid,
- Hernando, C. (2015). Prevención de incendios forestales:¿ qué estudiamos?¿ cómo transferimos el conocimiento? *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*(39), 237-248.
- Herrera, A., Carrillo, A., Pedraza, F Correa, F Herrera, R, López, P., & Rutiaga, J. (2017). Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encinos (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*). *Ciencia Nicolaita*(72).
- Huaman, C. I. (2018). Relación de las variables meteorológicas y la concentración de PM10 y PM2.5 en el distrito de Puente Piedra en el mes de diciembre 2017.

- Ibarra, H., Martín. (2016). Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. *Revista Ambiente & Água*, 11, 35-49.
- Jerónimo, G., & Gómez, J. (2006). Promedios de temperatura y salinidad sobre una superficie isopícnica en la capa superior del océano frente a Baja California. *Ciencias marinas*, 32(4), 663-671.
- Keating, P. L. (2007). Fire ecology and conservation in the high tropical Andes: observations from northern Ecuador. *Journal of Latin American Geography*, 43-62.
- Keetch, J. J., & Byram, G. M. (1968). *A drought index for forest fire control* (Vol. 38): US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment
- Machuca, M. A., & Vélez, J. J. (2021). *Análisis del nicho ecológico del Cóndor Andino (Vultur Gryphus) en los Andes Sur del Ecuador*. Universidad del Azuay,
- Malpartida, R. C. (2016). Riesgo a incendios forestales en la provincia de Satipo–Junín.
- Martínez. (2017). Estimación de indicadores de desinformación climática para el mejoramiento de la gestión de riesgos en el Ecuador.
- Martínez, A. P. (2021). *Ocurrencias de incendios forestales en el cantón Bolívar, Manabí, Ecuador (2010–2019)*. Jipijapa. UNESUM,
- Mazón, M. M., Klanderud, K., Finegan, B., Veintimilla, D., Bermeo, D., Murrieta, E., . . . Sheil, D. (2020). How forest structure varies with elevation in old growth and secondary forest in Costa Rica. *Forest ecology and management*, 469, 118191.
- Morán, F. X. (2018). Caracterización de la biomasa de residuos madereros de pino, teca y raquis de palma africana como combustible térmico.
- Moreno, K. G., Spavento, E. M., & Monteoliva, S. E. (2022). Evolución del color y de la aparición de defectos en la madera de Eucalyptus globulus expuesta a intemperismo natural. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 24.
- Núñez, L., Rodríguez, J., Proupín, J., & Diz, A. V. (2002). Calorimetry as a tool to design campaigns to prevent and fight forest fires originating from shrub species. *Thermochimica Acta*, 394(1-2), 279-289.
- Ocampo, K., & Beltrán, J. (2018). Modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia. *Madera y bosques*, 24(3).
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 10-18.
- Peña, J. (2019). Sustentabilidad de los sistemas agroforestales en la provincia de Tambopata, Madre de Dios.
- Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A., & Salmerón-Macías, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y bosques*, 19(2), 37-58.
- Perez, L. M. (2021). Análisis cronológico y de riesgo por incendios forestales en páramos y bosques altoandinos en Colombia desde los años 70.
- Poveda, Á. H. V., Gualotuña, E. R. G., Jara, C. A. C., & Escanta, P. M. T. (2009). CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE CACAO CCN51 PARA OBTENCIÓN DEL PODER CALORÍFICO MEDIANTE PROCESOS DE GASIFICACIÓN ANAERÓBICO Y TERMOQUÍMICO.

- Reyes-Bueno, F., & Balcazar-Gallegos, C. (2021). factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 50-60.
- Reyes, F., & Balcazar, C. (2021). factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 50-60.
- Rienzo, J. (2009). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Rodriguez, A. (2012). Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio. *Ecología en Bolivia*, 47(1), 53-71.
- Ruiz. (2004). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. _____. *Incendios forestales en Mexico. Metodos De Evaluación. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico*.
- Salazar, E. (2016). Influencia de altas densidades de plantación en el poder calorífico y propiedades físicas de la madera para la especie Gmelina arborea Roxb. ex Sm. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 51-56.
- Santos, J. M. (2020). *Determinación del poder calorífico de tres especies de coníferas de bosque templado de México Pinus cooperi C. Blanco, Pinus durangensis Ehren y Pinus engelmannii Carr.* Universidad Autónoma de Nuevo León,
- Suárez, J. C. P., & Hernández, G. (2010). Poder calorifico de Acacia dealbata Link crecida en Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 16(3), 353-379.
- Villalobos, J. A. A., Anselmo. (2000). El Niño y los incendios forestales en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr*, 7(1), 1-20.
- Zuleta, K. O. (2016). Valoración económica de incendios forestales en las principales ciudades de América Latina y el Caribe: una lección para Bogotá. *Revista de investigaciones de Uniagraria*, 4(1), 75-89.

10. ANEXOS



Anexo 1. Toma de muestras en el campo.



Anexo 2. Secado de muestras en la estufa.



Anexo 3. Bomba calorímetra IKA modelo C200

Bloque	Cobertura	PC (J/G)
Piso_Bajo	Paramo	17430
Piso_Bajo	Matorral	17199,67
Piso_Bajo	Plantación	18566
Piso_Bajo	Bosque	17815,33
Piso_Alto	Páramo	17333,33
Piso_Alto	Matorral	18096
Piso_Alto	Plantación	18519,33
Piso_Alto	Bosque	18004,67

Anexo 4. Promedios del poder calorífico de las coberturas vegetales