

ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

Factores ambientales y antrópicos que determinan la ocurrencia y extensión de incendios en pastizales altoandinos de importancia ganadera en la región de Puno

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Ciencias Biomédicas	Recursos naturales y medio ambiente Sistemas de Información Geográfica	Ciencias Naturales

3. Duración del proyecto (meses)

11

4. Tipo de proyecto

<u>Individual</u>	<input type="radio"/>
<u>Multidisciplinario</u>	<input checked="" type="radio"/>
<u>Director de tesis pregrado</u>	<input type="radio"/>

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	GUTIERREZ FLORES IVON ROCIO
Escuela Profesional	BIOLOGÍA – ECOLOGÍA
Celular	958926894
Correo Electrónico	igutierrez@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	CHURA YUPANCHI ERNESTO JAVIER
Escuela Profesional	INGENIERÍA AGRONÓMICA
Celular	930180868
Correo Electrónico	echuray@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	BELTRÁN BARRIGA PABLO ANTONIO
Escuela Profesional	INGENIERÍA AGRONÓMICA
Celular	999888796
Correo Electrónico	pbeltran@unap.edu.pe

- I. Título (El proyecto de tesis debe llevar un título que exprese en forma sintética su contenido, haciendo referencia en lo posible, al resultado final que se pretende lograr. Máx. palabras 25)**

Factores ambientales y antrópicos que determinan la ocurrencia y extensión de incendios en pastizales de importancia ganadera en la región Puno.

- II. Resumen del Proyecto (Debe ser suficientemente informativo, presentando - igual que un trabajo científico- una descripción de los principales puntos que se abordarán, objetivos, metodología y resultados que se esperan)**

Los incendios de pastizales en la región Puno es una perturbación de origen antrópico cada vez más protagonista en el funcionamiento de este ecosistema. Estos incendios ocurren por la quema de pastizales para ganadería, por la quema de rastrojos de cultivos y de residuos sólidos. Es necesario la identificación de aquellos factores que determinan la ocurrencia y extensión de los incendios, a fin de evitar efectos ambientales, económicos y sociales. Los objetivos son: (a) Identificar los factores climáticos, topográficos y antrópicos que determinan la probabilidad de ocurrencia de incendios en pastizales, (b) Identificar los factores climáticos, topográficos, antrópicos y de combustibilidad que determinan la extensión de incendios de pastizales. La investigación se realizará en las provincias de Melgar, Azángaro y Lampa. Se trabajará con información climática de WorldClim, Pisco y a partir de imágenes DEM se generará variables topográficas de importancia. Se construirá modelos para predecir ocurrencia y extensión de los incendios utilizando los algoritmos glm y Randomforest. Se espera: (a) Identificación de lugares con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios en las provincias de importancia ganadera en la región Puno, (b) Determinación de la importancia de factores ambientales que determinan la ocurrencia y extensión de incendios. Los resultados se traducirán en una mejor gestión de este ecosistema; de modo que, se prevendrán los efectos ambientales, sociales y económicos asociados a esta perturbación.

- III. Palabras claves (Keywords) (Colocadas en orden de importancia. Máx. palabras: cinco)**

Variables bioclimáticas, topografía, cobertura vegetal, combustibilidad, extensión de incendios.

- IV. Justificación del proyecto (Describa el problema y su relevancia como objeto de investigación. Es importante una clara definición y delimitación del problema que abordará la investigación, ya que temas cuya definición es difusa o amplísima son difíciles de evaluar y desarrollar)**

Los pastizales son uno de los ecosistemas de mayor extensión en el planeta, ya que cubre la tercera parte de la superficie terrestre (Bengtsson et al. 2019). En el Perú, los pastizales de alta elevación (3200 – 4500 msnm), más conocidos como pajonales, cubren gran parte de los Andes (Oliver et al. 2017), representando cerca del 11% de su superficie, entre pajonales húmedos y secos (MINAM 2019). Este ecosistema cumple una diversidad de servicios ambientales como alta biodiversidad, suministro de agua y regulación del flujo, almacenamiento de carbono, control de la erosión, valor cultural, polinización y control biológico de plagas agrícolas (Bengtsson et al. 2019), pudiendo ser un mejor sumidero de carbono que los bosques andinos de *Polylepis* (Calderón-Loor et al. 2020).

A pesar de los diversos servicios ecosistémicos que ofrece, este ecosistema está fuertemente amenazado por diversas actividades antrópicas, como la ganadería, agricultura e incendios. Particularmente, los incendios son una de las amenazas cada vez más importantes y de mayor ocurrencia en las regiones del sur del Perú. Esto debido a la disminución de la ganadería (Grau et al. 2020), que implica una mayor acumulación de biomasa y presencia de especies pirogénicas; así como, por el cambio climático, que implica un mayor y prolongado nivel de desecación de la vegetación. Los incendios, que son de origen antrópico, surgen a partir de quemadas inadecuadamente planificadas; de modo que, muchas veces se traducen en desastres, generando una serie de efectos ambientales, económicos y materiales. Aunque no se tiene determinado la proporción de incendios ocasionados de manera intencional (para acelerar el reverdecimiento de la

vegetación) y no intencional (quema de restos de vegetación y residuos sólidos), a partir de comunicaciones personales de pobladores, la mayoría de incendios aparentemente ocurren de una forma no intencional. Entonces, ¿bajo qué condiciones estas quemaduras se traducen en incendios extensos?

Diversos estudios en otros ámbitos geográficos (e.g. Australia, África, Norte América) y en otros ecosistemas (e.g. bosques), han encontrado diversos factores climáticos, topográficos y de combustibilidad como determinantes en la probabilidad de ocurrencia y extensión de incendios. Sin embargo, en el Perú, poco se ha estudiado acerca de los factores que determinan su ocurrencia y extensión (Armenteras et al. 2020); así como, los efectos que ocasionan en el ambiente. Uno de los trabajos más importantes que se tiene es el de Oliveras et al. (2014) quienes evaluaron únicamente a factores climáticos y quienes resaltaron la importancia de evaluar factores más locales como los antrópicos y de combustibilidad de la vegetación. Los pastizales al desarrollarse en climas áridos, y por estar constituidos por elementos vegetales de alta combustibilidad (Parker et al. 2022), son muy propensos de que las quemaduras hechas por la población sin una adecuada planificación, se traduzcan en extensos incendios. Este año, en el que las lluvias se han reducido notablemente, la ocurrencia de incendios fue mayor y en algunos casos implicó áreas extensas quemadas, que implicaron la muerte de personas y de animales.

En este contexto, cabe preguntarse ¿Cuáles son los factores ambientales y antrópicos que determinan la ocurrencia y extensión de incendios en los pastizales altoandinos? Específicamente, ¿Qué factores ambientales y antrópicos determinan la probabilidad de ocurrencia de incendios en pastizales?, ¿Qué características estructurales de la vegetación y factores ambientales y antrópicos influyen en la extensión de incendios de pastizales altoandinos?

V. Antecedentes del proyecto (Incluya el estado actual del conocimiento en el ámbito nacional e internacional. La revisión bibliográfica debe incluir en lo posible artículos científicos actuales, para evidenciar el conocimiento existente y el aporte de la Tesis propuesta. Esto es importante para el futuro artículo que resultará como producto de este trabajo)

Importancia de los pastizales

Los pastizales son uno de los ecosistemas de mayor extensión en el planeta, ya que cubre la tercera parte de la superficie terrestre (Bengtsson et al. 2019). En el Perú, los pastizales de alta elevación (3200 – 4500 msnm), más conocidos como pajonales, cubren gran parte de los Andes (Oliver et al. 2017), representando cerca del 11% de su superficie, entre pajonales húmedos y secos (MINAM 2019). Este ecosistema cumple una diversidad de servicios ambientales como alta biodiversidad, suministro de agua y regulación del flujo, almacenamiento de carbón, control de la erosión, valor cultural, polinización y control biológico de plagas agrícolas (Bengtsson et al. 2019), pudiendo ser un mejor sumidero de carbono que los bosques andinos de *Polylepis* (Calderón-Loor et al. 2020).

El clima de este ecosistema va desde húmedo a árido - seco, con una estación lluviosa que está entre noviembre a abril, siendo corto el periodo de crecimiento. En la estación seca, la oscilación diaria de la temperatura es muy alta, pudiendo variar en más de 7°C (Sylvester et al. 2014). En estas condiciones climáticas, son diversas las adaptaciones que las especies han desarrollado para poder establecerse, como la reducción del área específica foliar, aumento del grosor de las hojas (mayor esclerofilia) (Homeier et al. 2021) o mayor pubescencia (Arzac et al. 2019). En ecosistemas altoandinos, los factores climáticos (precipitación y temperatura) tienen una fuerte influencia en diversas propiedades ecosistémicas. Por ejemplo, modula las adaptaciones de las especies (Llerena-Zambrano et al. 2021), determina la amplitud de nicho de las especies (Cuesta et al. 2020), determina la tasa de descomposición de la materia orgánica (Ostertag et al. 2022).

Las familias botánicas más representativas de este ecosistema son Poaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae y Brassicaceae. Los géneros más dominantes son *Deyeuxia*, *Senecio*, *Poa*, *Nototriche* y *Calamagrostis* (Cuesta et al. 2017). Las especies que conforman a los pastizales son palatables para el ganado; de modo que, históricamente han sido ampliamente utilizados para la ganadería (Grau et al. 2020). Este es uno de los principales usos de este ecosistema.

Amenazas de los pastizales

La agricultura y la ganadería son una de las actividades antrópicas que más amenazan a la biodiversidad y funcionalidad de los pastizales, debido a que es muy frecuente el sobrepastoreo (Fedrigo et al. 2018) y el desbroce para el establecimiento de cultivos. Sin embargo, un fenómeno que estaría ocurriendo en diversas partes de Latinoamérica, es la migración de la gente rural hacia las ciudades (Aide y Grau 2004; Grau y Aide 2007; Carilla y Grau 2010), posibilitando la recuperación de la cobertura (Grau y Aide 2007; Fedrigo et al. 2018; Jimenez et al. 2021) y de los herbívoros nativos desplazados por el ganado (Izquierdo et al. 2018; Grau et al. 2020). La disminución del ramoneo por el ganado, está posibilitando la acumulación de biomasa (Aráoz y Grau 2010; Carilla y Grau 2010; Grau et al. 2020), conduciendo a una mayor ocurrencia y severidad de incendios, siendo esta otra amenaza de este ecosistema. En el Perú y otros países de Latinoamérica, a diferencia de otros países, los incendios en este ecosistema no son de origen natural; sino, son de origen antrópico (Scott 1977). Una práctica común asociado a la agricultura, es la quema del material seco de la cosecha anterior (Oliveras et al. 2014; Oliver et al. 2017). Así mismo, quienes se dedican a la ganadería suelen quemar los pastizales para aumentar el reverdecimiento y palatabilidad de la vegetación (Kirkpatrick et al. 2011). Estas prácticas, han conducido a una mayor ocurrencia de incendios en regiones como Puno; ya que, se realizan sin una adecuada planificación, saliéndose de control, ocasionando importantes pérdidas económicas y daños ecosistémicos. En el año 2020, se han reportado hasta 2500 y en el 2021 hasta 500 ocurrencias de incendios, siendo las provincias de la zona centro – sur de Puno las más afectadas (CENEPRED 2021).

Por otro lado, el cambio climático también es otra amenaza de este ecosistema (Rolando et al. 2017) y que potenciaría la ocurrencia de incendios (Marques et al. 2011). Diversos estudios han evidenciado el aumento de la temperatura (Michelutti et al. 2015), la disminución de la precipitación y aumento de la evaporación (Wongchuig et al. 2018), favoreciendo la propagación de los incendios negligente y accidentalmente ocasionados. Este año, por ejemplo, las precipitaciones están muy retrasadas. Así mismo, el cambio climático está conduciendo a un proceso de tropicalización, en el que especies arbustivas y arbóreas están invadiendo a los páramos y pastizales (Arzac et al. 2019).

Factores que influyen en la ocurrencia y extensión de incendios

Los factores que pueden influir en la ocurrencia incluyen factores climáticos, topográficos, sociales y factores propios de la vegetación sobre la cual ocurre un incendio; así como, de la interacción de estos factores.

El clima es uno de los factores que mayor influencia tiene en la ocurrencia de incendios. La mayor ocurrencia de incendios está propiciada por mayores niveles de precipitación, particularmente en la estación de crecimiento (Hudak et al. 2004; Aráoz and Grau 2010; Buthelezi et al. 2016; Abdi et al. 2018; Montti et al. 2021), que implica una mayor generación de combustible (biomasa) (Makhaya et al. 2022), acentuada si la ganadería es restringida (Aráoz and Grau 2010; Kirkpatrick et al. 2011; Montti et al. 2021). Así mismo, en condiciones mayor temperatura (Cardille et al. 2001; Achard et al. 2008; Mahdavi et al. 2012; Buthelezi et al. 2016; Mpakairi et al. 2019; Makhaya et al. 2022), la ocurrencia de incendios es mayor; mientras que la temperatura diaria determina el área del incendio (Abdi et al. 2018). De este modo, bajo los efectos del cambio climático la ocurrencia de incendios sería mayor. Si el incendio ocurre a favor del viento, la tasa de propagación es mayor (Snyman 2004). En condiciones donde la ganadería no es una actividad importante, los incendios básicamente están regulados por el clima (Aráoz y Grau 2010). A mayor carga de combustible mayor es la altura e intensidad del fuego, que implica una disminución de la tasa de propagación, debido a una mayor flotabilidad asociada a la combustión de mayores cantidades de biomasa que conduce a llamas más altas y erectas, limitando así el precalentamiento de los combustibles no quemados por la transferencia de calor advectiva y el contacto entre las llamas (Cruz et al. 2018). Entonces, lugares de mayor combustible estaría asociado a menores áreas de afectación.

Respecto a factores topográficos, la elevación, el aspecto, pendiente, índice de humedad topográfica (TWI) influyen en la ocurrencia de incendios (Krawchuk et al. 2016; Makhaya et al. 2022). El efecto que pueden tener los factores topográficos sobre la ocurrencia de

incendios es variable, probablemente asociado al tipo de vegetación y a la interacción de estos factores. Algunos estudios, encuentran que la ocurrencia de incendios es mayor en zonas planas o con pendientes suaves (e.g. Yang et al. 2007; Abdi et al. 2018); mientras que, otros estudios reportan en zonas de alta pendiente (e.g. Murphy et al. 2008; Marques et al. 2011; Oliveras et al. 2014). No obstante, el nivel de predictibilidad de la ocurrencia en sitios planos es muy bajo (Krawchuk et al. 2016). En mayores elevaciones, la ocurrencia de incendios sería mayor en sitios con menor TWI (Krawchuk et al. 2016; Kim et al. 2019), que son sitios menos húmedos y de mayor exposición solar. Del mismo modo, sitios de mayor exposición solar (e.g. este, noroeste en el hemisferio sur), está asociado a mayor ocurrencia de incendios (Murphy et al. 2008; Abdi et al. 2018; Mpakairi et al. 2019).

La composición y biomasa de la comunidad vegetal también son factores influyentes (Mpakairi et al. 2019; Parker et al. 2022); ya que, determina la disponibilidad de combustible. De hecho, algunas veces, la ocurrencia de incendios está limitado por la cantidad de combustible y no por la falta de desecación (altas temperaturas) (Carilla y Grau 2010). La respuesta de pastizales de regiones áridas al fuego debe ser evaluada en función a las especies dominantes (Killgore et al. 2009). De este modo, una comunidad dominada por elementos finos (pastos, ramas, ramitas, espesor < 6mm) (Morvan et al. 2009; Buthelezi et al. 2016; Dewar et al. 2021; Parker et al. 2022) y por elementos escleromórficos, cuya naturaleza es pirogénica (Kirkpatrick et al. 2011), está asociado a una mayor ocurrencia de incendios (Sühs et al. 2020). Del mismo modo, elementos vegetales de mayor altura (e.g. arbustos o hierbas leñosas), están asociados a una mayor tasa de propagación, debido a que el alcance vertical del fuego sería mayor (Sühs et al. 2020). En comunidades en las que elementos escleromórficos y pastos no palatables son dominantes, el efecto que puede tener la ganadería sobre la disponibilidad de combustible se reduce (Kirkpatrick et al. 2011), aumentando la probabilidad de ocurrencia de incendios.

Factores antrópicos como la densidad poblacional, cercanía a caminos o sitios urbanos, también influyen en la ocurrencia de incendios, pudiendo tener un patrón de distribución aglomerado (Yang et al. 2007) o aleatorio (Pereira et al. 2013). Que el patrón sea aleatorio implica mayores áreas de afectación y una falta de planificación (Pereira et al. 2013). Mayor ocurrencia de incendios en zonas próximas a caminos (Yang et al. 2007; Mahdavi et al. 2012; Abdi et al. 2018) y a centros urbanos (Kim et al. 2019). Sin embargo, la presencia de caminos, podría actuar como una barrera en la propagación del fuego (Buthelezi et al. 2016; Dewar et al. 2021), haciendo que el área de afectación sea menor.

VI. Hipótesis del trabajo (Es el aporte proyectado de la investigación en la solución del problema)

Hipótesis general:

La ocurrencia y extensión de los incendios de pastizales altoandinos está determinado por factores ambientales y antrópicos.

Predicciones

- (1) Los factores climáticos y antrópicos tendrán un efecto más determinante en la probabilidad de ocurrencia de incendios en pastizales.
- (2) Mayor presencia de elementos esclerófilos y elementos finos estructurales y menor cobertura de suelo/roca determinarán una mayor extensión de incendios de pastizales.
- (3) En sitios de mayor elevación, con laderas de exposición norte – este y de mayor temperatura, la extensión de incendios será mayor.

VII. Objetivo general

Identificar los factores bióticos y abióticos que determinan la probabilidad de ocurrencia y extensión de incendios en pastizales altoandinos de la región Puno.

VIII. Objetivos específicos

- (1) Identificar los factores climáticos, topográficos y antrópicos que determinan la probabilidad de ocurrencia de incendios en pastizales.
- (2) Identificar los factores climáticos, topográficos, antrópicos y de combustibilidad que determinan la extensión de incendios de pastizales.

IX. Metodología de investigación (Describir el(los) método(s) científico(s) que se empleará(n) para alcanzar los objetivos específicos, en forma coherente a la hipótesis de la investigación. Sustentar, con base bibliográfica, la pertinencia del(los) método(s) en términos de la representatividad de la muestra y de los resultados que se esperan alcanzar. Incluir los análisis estadísticos a utilizar)

Datos de incendio

Para el **primer objetivo**, se utilizarán la información proporcionada por el SERFOR y el INDECI quienes tienen mapeados y georreferenciados los sitios de ocurrencia de incendios. Se trabajará con los incendios comprendidos entre el periodo 2000 al 2022. A la base de datos proporcionada, se le agregará los resultados de la clasificación con las imágenes Landsat (Objetivo 2).

Para el **segundo objetivo**, se utilizarán imágenes satelitales de Landsat 8 y 9 a fin de identificar y determinar la extensión de los incendios. Aunque existen otros sensores que dan información de la ocurrencia de incendios activos (e.g. MCD14ML, MCD45A1 del sensor MODIS), estos tienden a subestimar la cantidad y área de incendios, debido a que los incendios en zonas de pastizales tienen corta duración (Oliveras et al. 2014). Debido a que la mayor ocurrencia de incendios se da entre los meses de junio a setiembre (estación seca) (Oliveras et al. 2014; Buthelezi et al. 2016; CENEPRED 2021), se espera la obtención de imágenes con bajo nivel de nubosidad para una adecuada clasificación de las imágenes. Las imágenes descargadas serán entre el path 1 a 3 y entre el row 69 a 72.

Sólo se trabajarán con imágenes satelitales del 2023, debido a que el segundo objetivo implica la evaluación del efecto de variables de combustibilidad en la extensión de los incendios, debiéndose evaluar de manera inmediata luego de su ocurrencia. Además, la recuperación de la cobertura es rápida (Pereira et al. 2013; Torres Vargas et al. 2016; van Gerrevink y Veraverbeke 2021), perdiéndose los indicios de los incendios para la validación de la clasificación.

Para la clasificación se considerarán las siguientes categorías: sitios quemados, suelo desnudo, vegetación (pastizal, bofedal), sombras y nubes. Para una adecuada identificación de los sitios quemados, se utilizará la siguiente combinación de bandas: 741. La clasificación de las imágenes satelitales se realizará utilizando el método Random Forest (Cutler et al. 2007), en el que para su validación se construirá matrices de confusión y el índice de Kappa. Se aceptará como válida la clasificación en caso el índice resulte mayor a 0.8 (Sühs et al. 2020), debiendo corregir de forma manual si fuera necesario. Previo a la clasificación, se realizarán todas las acciones de preprocesamiento habituales, como: corrección atmosférica con el método DOS (Dark Object Substraction) y corrección topográfica. Todos los procedimientos de clasificación y validación se realizarán en el programa R, con el uso de las librerías "raster", "care" y "randomForest".

Datos bioclimáticos

Las variables bioclimáticas se descargarán de WorldClim, con la mayor resolución espacial (~1 km²). Así mismo, se trabajará con la información de PISCO V1P1 (resolución espacial de ~ 5km) que brinda información de la temperatura máxima diaria y mensual, y evapotranspiración. A partir de los antecedentes revisados, se trabajará con las siguientes variables: temperatura media anual (BIO1) (Mpakairi et al. 2019), temperatura media del trimestre más frío (BIO11), precipitación del mes más cálido (Bio13), isoterma (BIO2/BIO7*100) (Buthelezi et al. 2016; Makhaya et al. 2022), precipitación anual (Hudak y Brockett 2004; Dewar et al. 2021), temperatura máxima diaria y evapotranspiración. Todas las variables estarán a una escala espacial de ~ 1km.

Variables topográficas

Se obtendrán modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) a partir del

satélite ASTER Global DEM de la colección Terra ASTER de la Japan Space System. Puesto que la resolución espacial es 30m, los DEMs serán re - muestreados a ~1km de resolución espacial. Sobre la base de la revisión de antecedentes, las variables topográficas a utilizar en el modelo serán: la pendiente, la exposición, la elevación, el índice de humedad topográfica (TWI, por sus siglas en inglés), posición topográfica (TP, por sus siglas en inglés) (Pereira et al. 2013; Makhaya et al. 2022). En el caso de TP, será calculado usando pixeles de elevación dentro de los 2000 m (Harris y Taylor 2017). El cálculo de las variables topográficas se realizará en el programa R, con la librería “raster”.

Variables antrópicas

Las variables antrópicas con las que se trabajarán serán: distancia a caminos, distancia a centros poblados, densidad poblacional e intensidad de pastoreo. La obtención de la información será a partir del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (red vial departamental y vecinal), del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI densidad poblacional) y del Ministerio de Educación (Centros poblados). En el caso de centros poblados y vías de acceso, la información será actualizada a través de imágenes de alta resolución de Google Earth. Se aplicará la distancia euclídea en el programa QGIS, a una resolución espacial de 1km. Para determinar la intensidad de pastoreo, se determinará un índice de abundancia de fecas (Carilla y Grau 2010). Para ello, se establecerán cuatro transectos alrededor de cada cicatriz de incendio. En cada transecto se establecerá 40 cuadrantes de 1m², distanciados por 2m, en el que se registrará la presencia o no de fecas. A partir de ello, se determinará la frecuencia de cuadrantes con presencia de fecas. Con el promedio de los cuatro transectos se realizarán los análisis posteriores.

De manera complementaria, se aplicará una encuesta al poblador más cercano al incendio, a fin de recabar la siguiente información: causa del incendio, frecuencia del incendio, entre otros.

Variables de vegetación

Para el primer objetivo, la única variable de vegetación que se utilizará será el índice de diferencia normalizada de la vegetación (NDVI); ya que, es la única variable disponible para todos los años que abarca los datos de ocurrencia de incendios. El NDVI es una medida indirecta de la carga de combustible y ha sido utilizada en varios estudios (e.g. Mpakairi et al. 2019; van Gerrevink y Veraverbeke 2021). El NDVI se determinará en el mes de abril por ser un buen indicador de incendios de ecosistemas dominados por poáceas y que contribuye a la carga anual de combustible (Mpakairi et al. 2019). Para ello, se utilizará las bandas 4 y 5 de Landsat 8 y 9, y las bandas 3 y 4 para Landsat 7. Debido a que el segundo objetivo contempla la determinación del efecto de las características de la vegetación en la extensión de los incendios, se realizará una evaluación de campo en al menos 90 sitios quemados para un adecuado tamaño de muestra y validar adecuadamente el modelo que se construirá (Morales et al. 2017). Para ello, alrededor de cada cicatriz de incendio se establecerán cuatro parcelas de 30m² (misma resolución que las imágenes satelitales) (Delcourt et al. 2021; van Gerrevink y Veraverbeke 2021), las mismas que serán ubicadas en lugares homogéneos, orientados hacia los cuatro puntos cardinales y distanciados por al menos 30 m del sitio quemado. Así mismo, deberán estar ubicados a más de 100 m de cualquier camino o vía de acceso. Para ello, su ubicación se realizará a través de imágenes satelitales, debiéndose validar en campo. En el centro de cada parcela se registrará las coordenadas geográficas. Con el método punto de intercepto, en el contorno de cada parcela y cada 1m de distancia, se registrará: especies según la forma de crecimiento (pastos, hierbas, hierbas leñosas), suelo desnudo, roca y hojarasca. A partir de estos registros se determinará el porcentaje de cada tipo de cobertura. Con el promedio de las cuatro parcelas se trabajará para los análisis posteriores.

Para la determinación de la carga de combustible se establecerán cinco cuadrantes de 0.5 x 0.5m, ubicados en las esquinas y en la parte central de cada parcela. Dentro de cada cuadrante se medirá la altura promedio (no se considerará la altura de inflorescencias que superen la altura del follaje), para posteriormente cortar toda la vegetación al ras del suelo. Las muestras serán colectadas en bolsas ziploc adecuadamente rotuladas y serán secadas a 105°C por 24 h para la estimación de la

masa seca. Para los análisis se trabajará con el promedio de los cinco cuadrantes y de las cuatro parcelas.

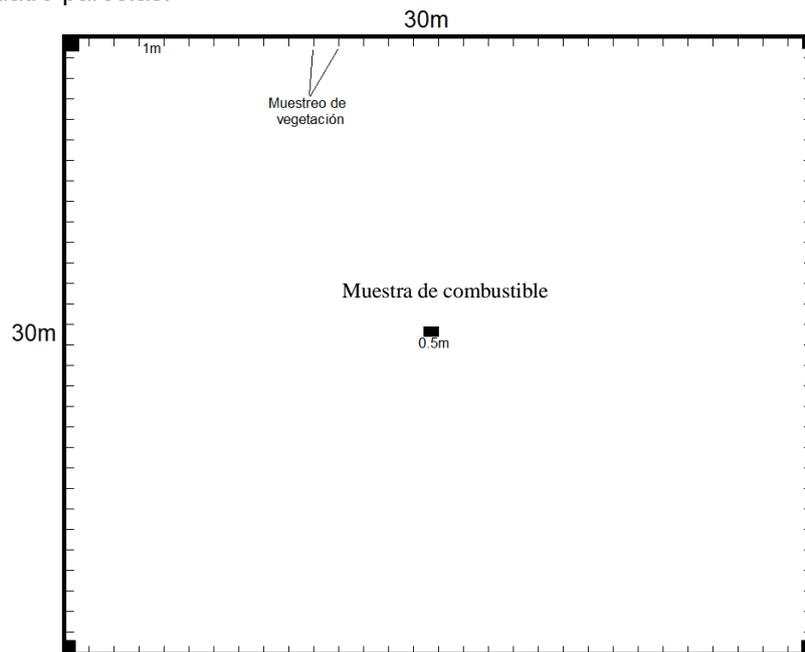


Figura 1. Diseño de evaluación de combustible en los sitios quemados

Tabla 1. Variables a ser consideradas en la probabilidad de ocurrencia y extensión de incendios

Variable respuesta	Factor	Variable
Probabilidad de ocurrencia de incendios	Climático	(1) temperatura media anual, (2) temperatura media del trimestre más frío, (3) precipitación del mes más cálido, (4) isothermalidad, (5) precipitación anual, (6) temperatura máxima diaria, (7) evapotranspiración.
	Topográfico	(1) pendiente, (2) exposición, (3) elevación, índice de humedad topográfica, (4) posición topográfica.
	Vegetación	(1) Índice de diferencia normalizada de la vegetación.
	Antrópico	(1) distancia a caminos, (2) distancia a centro poblado, (3) densidad poblacional.
Extensión de incendios	Climático	(1) temperatura media anual, (2) temperatura media del trimestre más frío, (3) precipitación del mes más cálido, (4) isothermalidad, (5) precipitación anual, (6) temperatura máxima diaria, (7) evapotranspiración.
	Topográfico	(1) pendiente, (2) exposición, (3) elevación, índice de humedad topográfica, (4) posición topográfica.
	Vegetación	(1) cobertura de pastos, (2) cobertura de hierbas, (3) cobertura de hierbas leñosas, (4) cobertura de suelo desnudo, (5) cobertura de roca, (6) cobertura de hojarasca, (7) masa seca.
	Antrópico	(1) distancia a caminos, (2) distancia a centro poblado, (3) densidad poblacional, (4) intensidad de pastoreo.

Modelación y evaluación del modelo de ocurrencia y extensión de incendios

Para disminuir el problema de multicolinealidad, todas las variables serán

correlacionadas a fin de identificar variables altamente correlacionados. Sólo se trabajarán con las variables que tengan una correlación < 0.6 . Posteriormente, se aplicará el Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés), a fin de eliminar aquellas variables que sean la combinación lineal de otras variables.

Son varios los algoritmos disponibles para la determinación de ocurrencia y/o extensión de incendios (e.g. Random Forest, Maxent, glm, regresiones múltiples, etc). En este trabajo, para la construcción de ambos modelos (ocurrencia y extensión de incendios), se aplicará el método de Random Forest y glm (Cardille et al. 2001; Harris y Taylor 2017; Kim et al. 2019), debido a que manejan bien relaciones no lineales entre la variable respuesta y predictoras. Además, se podrá identificar la importancia de las variables en la ocurrencia y extensión de incendios. En ambos casos, la construcción de los modelos se realizará con el 70% de los datos, dejando el resto para su evaluación con el método validación cruzada. En RandomForest, se obtendrá una estimación insesgada del error de generalización (OOB). Así mismo, para evaluar la influencia relativa de los factores determinantes de la ocurrencia de los incendios, se reportará la importancia de las variables como la disminución media de la precisión que resulta cuando una variable determinada se permuta en el modelo. Para el caso del glm, se construirá una regresión por pasos con eliminación por retroceso (backward), partiendo de un modelo completo. La significancia de cada modelo se realizará mediante una prueba chi-cuadrado del estadístico likelihood-ratio utilizando el número de coeficientes estimados. El análisis se realizará en el programa R, con las librerías “randomForest” y “sdm”.

Con el 30% de los datos no utilizados en la construcción de ambos modelos se realizará la validación, se elegirá al mejor modelo a partir del AUC. Se elegirá el modelo que tenga un AUC > 0.7 .

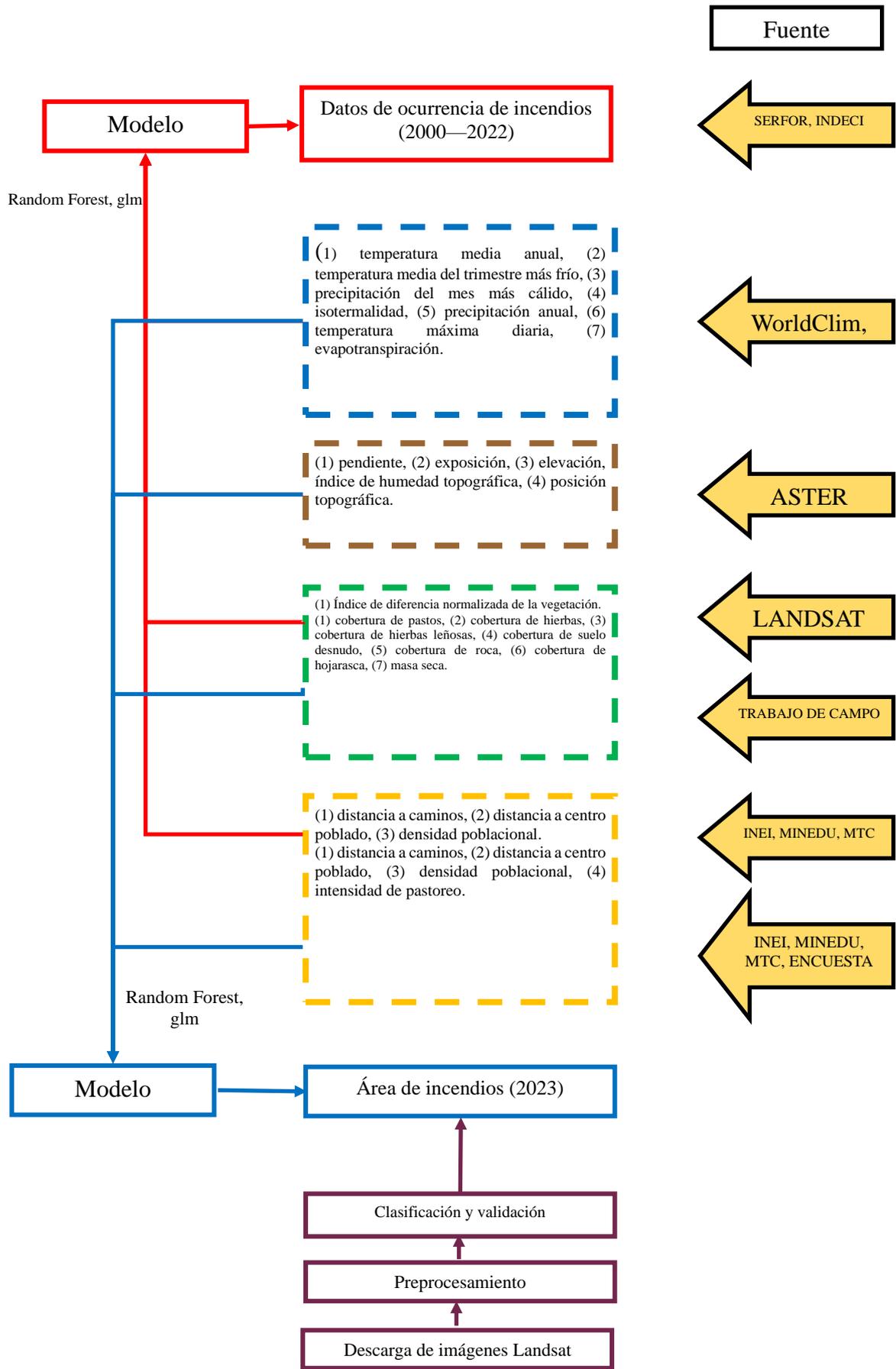


Figura 2. Flujograma de trabajo

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

- Abdi O, Kamkar B, Shirvani Z, Da Silva JAT, Buchroithner MF (2018) Spatial-statistical analysis of factors determining forest fires: A case study from Golestan, Northeast Iran. *Geomatics, Nat Hazards Risk* 9:267–280. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1206629>
- Achard F, Eva HD, Mollicone D, Beuchle R (2008) The effect of climate anomalies and human ignition factor on wildfires in Russian boreal forests. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 363:2331–2337. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2203>
- Aide TM, Grau HR (2004) Globalization, migration and Latin American Ecoystems. *Science* 305:1915–1916
- Aráoz E, Grau HR (2010) Fire-Mediated Forest Encroachment in Response to Climatic and Land-Use Change in Subtropical Andean Treelines. *Ecosystems* 13:992–1005. <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9369-7>
- Arzac A, Llambí LD, Dulhoste R, Olano JM, Chacón-Moreno E (2019) Modelling the effect of temperature changes on plant life-form distribution across a treeline ecotone in the tropical Andes. *Plant Ecol Divers* 12:619–631. <https://doi.org/10.1080/17550874.2019.1655108>
- Bengtsson J, Bullock JM, Egoh B, Everson C, Everson T, O'Connor T, O'Farrell PJ, Smith HG, Lindborg R (2019) Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* 10. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Buthelezi NLP, Mutanga O, Rouget M, Sibanda M (2016) A spatial and temporal assessment of fire regimes on different vegetation types using MODIS burnt area products. *Bothalia* 46:1–9. <https://doi.org/10.4102/abc.v46i2.2148>
- Calderón-Loor M, Cuesta F, Pinto E, Gosling WD (2020) Carbon sequestration rates indicate ecosystem recovery following human disturbance in the equatorial Andes. *PLoS One* 15:1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230612>
- Cardille JA, Ventura SJ, Turner MG (2001) Environmental and Social Factors Influencing Wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecol Appl* 11:111. <https://doi.org/10.2307/3061060>
- Carilla J, Grau HR (2010) 150 years of tree establishment, land use and climate change in montane grasslands, northwest Argentina. *Biotropica* 42:49–58. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00565.x>
- CENEPRED (2021) Escenario de Riesgo por Incendios Forestales de la Región Cusco. *Bib SIGRID* 1–49
- Cruz MG, Sullivan AL, Gould JS, Hurley RJ, Plucinski MP (2018) Got to burn to learn: The effect of fuel load on grassland fire behaviour and its management implications. *Int J Wildl Fire* 27:727–741. <https://doi.org/10.1071/WF18082>
- Cuesta F, Muriel P, Llambí LD, Halloy S, Aguirre N, Beck S, Carilla J, Meneses RI, Cuello S, Grau A, Gámez LE, Irazábal J, Jácome J, Jaramillo R, Ramírez L, Samaniego N, Suárez-Duque D, Thompson N, Tupayachi A, Viñas P, Yager K, Becerra MT, Pauli H, Gosling WD (2017) Latitudinal and altitudinal patterns of plant community diversity on mountain summits across the tropical Andes. *Ecography (Cop)* 40:1381–1394. <https://doi.org/10.1111/ecog.02567>
- Cuesta F, Tovar C, Llambí LD, Gosling WD, Halloy S, Carilla J, Muriel P, Meneses RI, Beck S, Ulloa Ulloa C, Yager K, Aguirre N, Viñas P, Jácome J, Suárez-Duque D, Buytaert W, Pauli H (2020) Thermal niche traits of high alpine plant species and communities across the tropical Andes and their vulnerability to global warming. *J Biogeogr* 47:408–420. <https://doi.org/10.1111/jbi.13759>
- Cutler R, Lawler J, Thomas Edwards J, Beard KH, Cutler A, Hess KT, Gibson J (2007) Random Forests for Classification in Ecology. *Ecology* 88(11):2783–2792
- Delcourt CJF, Combee A, Izbicki B, Mack MC, Maximov T, Petrov R, Rogers BM, Scholten RC, Shestakova TA, van Wees D, Veraverbeke S (2021) Evaluating the differenced normalized burn ratio for assessing fire severity using sentinel-2 imagery in northeast siberian larch forests. *Remote Sens* 13:1–20. <https://doi.org/10.3390/rs13122311>
- Dewar JJ, Falk DA, Swetnam TW, Baisan CH, Allen CD, Parmenter RR, Margolis EQ, Taylor EJ (2021) Valleys of fire: historical fire regimes of forest-grassland ecotones across the montane landscape of the Valles Caldera National Preserve, New Mexico, USA. *Landsc Ecol* 36:331–352. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01101-w>
- Fedrigo JK, Ataíde PF, Filho JA, Oliveira L V., Jaurena M, Laca EA, Overbeck GE, Nabinger C (2018) Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. *Restor Ecol* 26:677–685. <https://doi.org/10.1111/rec.12635>
- Grau HR, Aide TM (2007) Are rural-urban migration and sustainable development compatible in

- mountain systems? *Mt Res Dev* 27:119–123. <https://doi.org/10.1659/mrd.0906>
- Grau HR, Aráoz E, Navarro CJ, Nanni AS, Malizia A (2020) Pathways of megaherbivore rewilding transitions: Typologies from an Andean gradient. *Elementa* 8. <https://doi.org/10.1525/ELEMENTA.415>
- Harris L, Taylor AH (2017) Previous burns and topography limit and reinforce fire severity in a large wildfire. *Ecosphere* 8. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2019>
- Homeier J, Seeler T, Pierick K, Leuschner C (2021) Leaf trait variation in species-rich tropical Andean forests. *Sci Rep* 11:1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89190-8>
- Hudak AT, Brockett BH (2004) Mapping fire scars in a southern African savannah using landsat imagery. *Int J Remote Sens* 25:3231–3243. <https://doi.org/10.1080/01431160310001632666>
- Hudak AT, Fairbanks DHK, Brockett BH (2004) Trends in fire patterns in a southern African savanna under alternative land use practices. *Agric Ecosyst Environ* 101:307–325. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.010>
- Izquierdo AE, Grau HR, Navarro CJ, Casagrande E, Castilla MC, Grau A (2018) Highlands in transition: Urbanization, pastoralism, mining, tourism, and wildlife in the Argentinian Puna. *Mt Res Dev* 38:390–400. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00075.1>
- Jimenez YG, Aráoz E, Grau HR, Paolini L (2021) Linking forest transition, plant invasion and forest succession theories: socioeconomic drivers and composition of new subtropical andean forests. *Landsc Ecol* 36:1161–1176. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01192-z>
- Killgore A, Jackson E, Whitford WG (2009) Fire in Chihuahuan Desert grassland: Short-term effects on vegetation, small mammal populations, and faunal pedoturbation. *J Arid Environ* 73:1029–1034. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.016>
- Kim SJ, Lim CH, Kim GS, Lee J, Geiger T, Rahmati O, Son Y, Lee WK (2019) Multi-temporal analysis of forest fire probability using socio-economic and environmental variables. *Remote Sens* 11. <https://doi.org/10.3390/rs11010086>
- Kirkpatrick JB, Marsden-Smedley JB, Leonard SWJ (2011) Influence of grazing and vegetation type on post-fire flammability. *J Appl Ecol* 48:642–649. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01962.x>
- Krawchuk MA, Haire SL, Coop J, Parisien MA, Whitman E, Chong G, Miller C (2016) Topographic and fire weather controls of fire refugia in forested ecosystems of northwestern North America. *Ecosphere* 7. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1632>
- Llerena-Zambrano M, Ordoñez JC, Llambí LD, van der Sande M, Pinto E, Salazar L, Cuesta F (2021) Minimum temperature drives community leaf trait variation in secondary montane forests along a 3000-m elevation gradient in the tropical Andes. *Plant Ecol Divers* 14:47–63. <https://doi.org/10.1080/17550874.2021.1903604>
- Mahdavi A, Fallah Shamsi SR, Nazari R (2012) Forests and rangelands' wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. *CJES Casp J Environ Sci Casp J Env Sci* 10:43–52
- Makhaya Z, Odindi J, Mutanga O (2022) The influence of bioclimatic and topographic variables on grassland fire occurrence within an urbanized landscape. *Sci African* 15:e01127. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01127>
- Marques S, Borges JG, Garcia-Gonzalo J, Moreira F, Carreiras JMB, Oliveira MM, Cantarinha A, Botequim B, Pereira JMC (2011) Characterization of wildfires in Portugal. *Eur J For Res* 130:775–784. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0470-4>
- Michelutti N, Wolfe AP, Cooke CA, Hobbs WO, Vuille M, Smol JP (2015) Climate change forces new ecological states in tropical Andean lakes. *PLoS One* 10:1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115338>
- Montti L, Velazco SJE, Travis JMJ, Grau HR (2021) Predicting current and future global distribution of invasive *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton: Assessing emerging risks to biodiversity hotspots. *Divers Distrib* 27:1568–1583. <https://doi.org/10.1111/ddi.13303>
- Morales NS, Fernández IC, Baca-González V (2017) MaxEnt's parameter configuration and small samples: Are we paying attention to recommendations? A systematic review. *PeerJ* 2017:1–16. <https://doi.org/10.7717/peerj.3093>
- Morvan D, Hoffman C, Rego F, Mell WE (2009) Numerical Simulation of the Interaction Between Two Fire Fronts in the Context of Suppression Fire Operations. *Proc 8th Symp Fire For Meteorol*
- Mpakairi KS, Tagwireyi P, Ndaimani H, Madiri HT (2019) Distribution of wildland fires and possible hotspots for the Zimbabwean component of Kavango-Zambezi Transfrontier Conservation Area. *South African Geogr J* 101:110–120. <https://doi.org/10.1080/03736245.2018.1541023>
- Murphy KA, Reynolds JH, Koltun JM (2008) Evaluating the ability of the differenced Normalized

- Burn Ratio (dNBR) to predict ecologically significant burn severity in Alaskan boreal forests. *Int J Wildl Fire* 17:490–499. <https://doi.org/10.1071/WF08050>
- Oliver V, Oliveras I, Kala J, Lever R, Arn Teh Y (2017) The effects of burning and grazing on soil carbon dynamics in managed Peruvian tropical montane grasslands. *Biogeosciences* 14:5633–5646. <https://doi.org/10.5194/bg-14-5633-2017>
- Oliveras I, Anderson LO, Malhi Y (2014) Application of remote sensing to understanding fire regimes and biomass burning emissions of the tropical Andes. *Global Biogeochem Cycles* 28:480–496. <https://doi.org/10.1002/2013GB004664>. Received
- Ostertag R, Restrepo C, Dalling JW, Martin PH, Abiem I, Aiba S ichiro, Alvarez-Dávila E, Aragón R, Ataroff M, Chapman H, Cueva-Agila AY, Fadrique B, Fernández RD, González G, Gotsch SG, Häger A, Homeier J, Iñiguez-Armijos C, Llambí LD, Moore GW, Næsberg RR, Poma López LN, Pompeu PV, Powell JR, Ramírez Correa JA, Scharnagl K, Tobón C, Williams CB (2022) Litter decomposition rates across tropical montane and lowland forests are controlled foremost by climate. *Biotropica* 54:309–326. <https://doi.org/10.1111/btp.13044>
- Parker NJ, Sullins DS, Haukos DA, Fricke KA, Hagen CA (2022) Recovery of working grasslands following a megafire in the southern mixed-grass prairie. *Glob Ecol Conserv* 36:e02142. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02142>
- Pereira AA, De Barros DA, Acerbi FW, Alves Pereira JA, Dos Reis AA (2013) Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. *Sci For Sci* 41:445–455
- Rolando JL, Turin C, Ramírez DA, Mares V, Monerris J, Quiroz R (2017) Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes. *Agric Ecosyst Environ* 236:221–233. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.010>
- Scott GAJ (1977) The Role of Fire in the Creation and Maintenance of Savanna in the Montana of Peru. *J Biogeogr* 4:143. <https://doi.org/10.2307/3038159>
- Snyman HA (2004) Short-term influence of fire on seedling establishment in a semi-arid grassland of South Africa. *South African J Bot* 70:215–226. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30238-6](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30238-6)
- Sühs RB, Giehl ELH, Peroni N (2020) Preventing traditional management can cause grassland loss within 30 years in southern Brazil. *Sci Rep* 10:1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57564-z>
- Sylvester SP, Sylvester MDPV, Kessler M (2014) Inaccessible ledges as refuges for the natural vegetation of the high Andes. *J Veg Sci* 25:1225–1234. <https://doi.org/10.1111/jvs.12176>
- Torres Vargas DL, Quiroz Guerra R, Juscamaita Morales J (2016) Efecto De Una Quema Controlada Sobre La Población Microbiana En Suelos Con Pasturas En La Sais Tupac Amaru – Junín, Perú. *Ecol Apl* 3:139. <https://doi.org/10.21704/rea.v3i1-2.283>
- van Gerrevink MJ, Veraverbeke S (2021) Evaluating the hyperspectral sensitivity of the differenced normalized burn ratio for assessing fire severity. *Remote Sens* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13224611>
- Wongchuig SC, Mello CR, Chou SC (2018) Projections of the impacts of climate change on the water deficit and on the precipitation erosive indexes in Mantaro River Basin, Peru. *J Mt Sci* 15:264–279. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4418-8>
- Yang J, He HS, Shifley SR, Gustafson EJ (2007) Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *For Sci* 53:1–15

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

A través del desarrollo de la investigación, se identificará a los factores que influyen a gran escala (clima) y factores locales (antrópicos, combustibilidad y topográficos) que determinan la ocurrencia y extensión de los incendios en pastizales altoandinos. Esta información será relevante para organizaciones como el SERFOR o el INDECI a la hora de establecer estrategias de prevención y mitigación de incendios. Así mismo, será de mucha utilizada a los pobladores que se dedican a la agricultura, quienes, al realizar la quema de rastrojos, ocasionan incendios accidentales que causan daños ambientales, económicos y sociales.

Los resultados de la investigación tendrán un impacto en todas las regiones altoandinas del Perú, en el que los incendios están teniendo un mayor protagonismo en la dinámica de los ecosistemas. Este es uno de los primeros trabajos a gran escala orientados a la identificación de factores gatillantes de incendios, junto a la determinación de los efectos

sobre la biodiversidad y suelos.

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

La ecología del fuego es una rama de la ecología pobremente desarrollada en nuestro país, a pesar de que es una perturbación de importancia en diversos ecosistemas que incluyen a los pastizales altoandinos. A partir del desarrollo de la investigación, se abrirá un nuevo campo para el desarrollo de diversas investigaciones que aborden el estudio de sus efectos, en la estructura y función de los pastizales; así como, sobre la actividad ganadera. Se espera evaluaciones a largo plazo de los efectos de los incendios; puesto que, mucha de la bibliografía se centra en efectos en el corto plazo.

ii. Impactos económicos

Tal como se vio en este año, debido a la ocurrencia de incendios accidentales o no, mucho ganado murió incinerado. Al ser este el principal sustento de las familias rurales de las provincias a intervenir, se traduce en pérdidas económicas. Entonces, identificando los factores que determinan la ocurrencia de incendios se podrá prevenir; y con ello, los efectos mortales asociados a la actividad ganadera.

iii. Impactos sociales

Este año, en el que los incendios fueron más numerosos, muchos de ellos estuvieron asociados a la muerte de personas y destrucción de bienes inmuebles. Entonces, con la identificación de los factores ambientales y antrópicos que determinan su ocurrencia y extensión, se podrá prevenir la ocurrencia de sus efectos, beneficiando a toda la población susceptible de ser afectada.

iv. Impactos ambientales

A través de la identificación de los factores climáticos, topográficos, antrópicos y de combustibilidad que determinan la ocurrencia y extensión de los incendios, se podrá determinar aquellas zonas que tienen una mayor probabilidad de ser afectados por los incendios, junto con aquellos de sufrir incendios más extensos. De este modo, a través de la socialización de los resultados con la población con la que se trabajará, se podrá prevenir la ocurrencia de incendios, y con ello, la emisión de gases de efecto invernadero y los efectos sobre la biodiversidad asociados a ellos.

XIII. Recursos necesarios (Infraestructura, equipos y principales tecnologías en uso relacionadas con la temática del proyecto, señale medios y recursos para realizar el proyecto)

Para el desarrollo de la investigación se hará uso de los laboratorios de análisis de suelos de la Facultad de Ingeniería Agronómica y del Laboratorio de Ecología Acuática de la Facultad de Biología – Ecología. Ambos laboratorios se encuentran reconocidos por la universidad y cuentan con el mobiliario e instalaciones (energía eléctrica, agua y desagüe) adecuadas para el desarrollo de los análisis requeridos para el cumplimiento de los objetivos. Por otra parte, ambos laboratorios cuentan con persona capacitado para el procesamiento de muestras. En el laboratorio de análisis de suelos se encuentra el Sr. Benito Fernández Calloapaza y en el laboratorio de ecología acuática se encuentra la Srta. Margoth Reyes Orihuela

Equipos y materiales del laboratorio de ecología acuática

- Estufa
- Balanza analítica
- GPS Garmin

Equipos y materiales del laboratorio de análisis de suelos

- Estufa
- Balanza analítica
- Mufia
- Hidrómetro Bouyoucos
- Conductímetro
- Horno de secado 80L

XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

La investigación se realizará en las provincias de importancia ganadera y los que más fueron afectados por incendios en la región Puno, como son Melgar, Azángaro y Lampa. El área de estudio se encuentra entre los 14 a 15° de latitud sur, y entre los 69 a 71° de longitud oeste, y entre los 3800 a 4700 msnm. En el área de estudio se encuentra dos climas de acuerdo al sistema de clasificación de Werren Thornthwaite. El clima B (o, i) D'H3, caracterizado por ser un clima semifrío lluvioso, con deficientes lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda; y el clima C (o, i) C'H2, caracterizado por ser un clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como seca (SENAMHI 2020).

Son dos los ecosistemas de importancia en el área de estudio: pajonal de puna húmeda y pajonal de puna seca. Las especies que caracterizan a estos ecosistemas son de alta combustionalidad, por estar constituido por elementos finos (e.g. especies del género *Festuca*, *Stipa*, *Calamagrostis*, *Poa*, *Bromus*, entre otros); así como, elementos esclerófilos (e.g. especies del género *Baccharis*, *Parastrephia*, *Tetraglochin*, *Chersodoma*, entre otros).

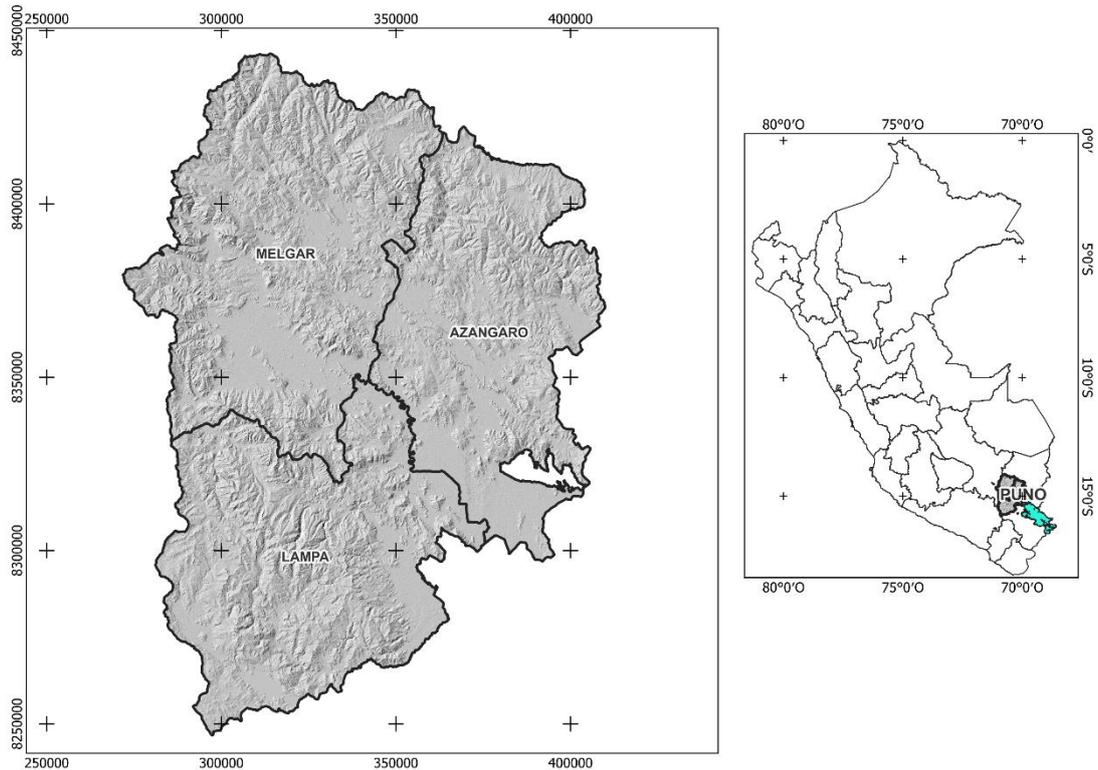


Figura 3. Mapa del área de estudio

XV. Cronograma de actividades

Objetivo 1	Identificar los factores climáticos, topográficos y antrópicos que determinan la probabilidad de ocurrencia de incendios en pastizales										
Actividades	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Trámite de solicitud de permiso ante SERFOR	X										
Elaboración y presentación de perfil de investigación de pregrado	X	X	X	X							
Solicitud de información respecto a ocurrencia de incendios antes SERFOR, INDECI	X	X									
Descarga y verificación de información bioclimática	X	X	X	X							
Descarga de DEM y generación de variables topográficas		X	X	X							
Elaboración de base de datos, análisis de datos	X	X	X	X	X						
Objetivo 2	Identificar los factores climáticos, topográficos, antrópicos y de combustibilidad que determinan la extensión de incendios de pastizales										
Actividades	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Búsqueda y descarga de imágenes satelitales Landsat 8 y 9					X	X	X	X			
Validación en campo de cicatrices de incendios						X	X	X			
Encuesta a pobladores						X	X	X			
Evaluación del combustible (vegetación)						X	X	X			
Determinación de masa seca de la vegetación						X	X	X	X		
Elaboración de base de datos, análisis preliminar						X	X	X	X		
Elaboración, revisión y envío de artículo científico (Scopus o Wos)								X	X	X	X



XVI. Presupuesto

Descripción	UM	Costo unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Viáticos	Días	60.00	120	7,200.00
Barreno	Unidad	75.00	1	75.00
Conductímetro	Unidad	299.00	1	299.00
Estacas de fierro	Unidad	3.50	12	42.00
Soga	Metro	2.50	125	312.50
Bolsas ziplot	Paquete	14.39	8	115.12
Tijera de podar tramontina	Unidad	23.90	2	47.80
Tijera poda manos de hoja pesada	Unidad	37.90	2	75.80
Cooler 14L	Cooler	116.00	1	116.00
Alquiler de vehículo	Alquiler	500.00	33	16,500.00
Combustible	Galón	23.5	320	7,520.00
Útiles de oficina	Meses	80.00	11	880.00
Total				33,183.22