

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para
incendios de pastizales en condiciones altoandinas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Guber Vladimir Meza Torres
Christian Rodrigo Sacaca Mamani

Asesor:

Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla

Juliaca, junio del 2025

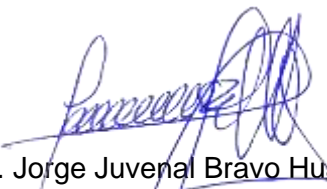
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE VIDRIO COMO FUENTE DE IGNICIÓN PARA INCENDIOS DE PASTIZALES EN CONDICIONES ALTOANDINAS”** de los autores **Guber Vladimir Meza Torres** y **Christian Rodrigo Sacaca Mamani**, tiene un índice de similitud de 9% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 27 días del mes de junio del año 2025.



Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunqui, a 27 día(s) del mes de junio del año 2025 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivas el (la) secretario(a): Msc. Miguel Angel Salazar Enriquez y los demás miembros: Mg. Franklin Claud Zapana Yuna Msc. Leonida Abigail Pando Turpo y el (la) asesor(a) Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualba

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altandinas"

del(los) bachilleres: a) Gaber Vladimir Meza Torres b) Christian Rodrigo Sacaca Mamani c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Gaber Vladimir Meza Torres

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Values: Aprobado, 16, B, Bueno, Muy Bueno

Bachiller (b): Christian Rodrigo Sacaca Mamani

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Values: Aprobado, 16, B, Bueno, Muy Bueno

Bachiller (c):

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Values: (Empty)

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Signatures for Presidente, Asesora, and Bachiller (a)

Signatures for Miembro and Bachiller (b)

Signatures for Secretario/a and Bachiller (c)

Lista de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	8
Metodología.....	9
Sitio de estudio	9
Toma de muestra	9
Diseño Muestral.....	11
Técnica de recolección de datos	11
Técnicas estadísticas para el procesamiento de datos.....	11
Resultados.....	12
Discusión del resultado.....	14
Conclusiones	16
Referencias	17
Tablas.....	21
Figuras	24
Anexos	27

Lista de Tablas

Tabla 1: Materiales y equipos	21
Tabla 2: Diseño factorial para la altura, concavidad y base en el índice ultravioleta	22
Tabla 3: Diseño factorial para la altura, concavidad y base en la temperatura	22
Tabla 4: Diseño factorial para la altura, concavidad y base en la humedad relativa.	23
Tabla 5: Condiciones ideales para la ignición	23

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama de procesos.....	24
Figura 2: Diagrama de efectos estandarizados para UV.....	24
Figura 3: Diagrama de efectos estandarizados para temperatura.	25
Figura 4: Diagrama de efectos estandarizados para la humedad.	25
Figura 5: Focalización de la luz solar mediante concavidad y agua.....	26

Lista de Anexos

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo	27
Anexo 2. Resolución de inscripción de perfil del proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente	28
Anexo 3. Resolución de sustentación del perfil del proyecto de tesis en formato artículo.....	29

Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altoandinas

Evaluation of glass waste as an ignition source for grassland fires in high Andean conditions

Resumen

El estudio examina el potencial de los residuos de vidrio para iniciar incendios en pastizales altoandinos, en el contexto del incremento de incendios en el Perú. Para la medición de temperatura, humedad y radiación UV se utilizaron sensores DTH22 y ML8511 ya que ofrecen precisión y estabilidad en las mediciones, y para la recopilación, análisis y visualización se utilizó la plataforma de almacenamiento de datos ThingSpeak empleó el módulo ESP32 que está diseñado para proyectos de IoT. En el experimento se realizaron 6 tratamientos con 3 repeticiones con un total de 18 unidades experimentales en un tiempo de 30 días.

Seguidamente para la interpretación de datos se realizó un análisis factorial para evaluar el impacto de la altura, la concavidad y la base del vidrio en el índice ultravioleta (UV) y la temperatura. Los resultados mostraron que la concavidad ($p=0.000$) y la base ($p=0.000$) afectan significativamente el índice UV, mientras que la altura no tiene un impacto relevante ($p=0.237$). La interacción entre concavidad y base también fue significativa ($p=0.000$), aumentando el riesgo de ignición. En cuanto a la temperatura, todos los factores ($p=0.000$) y sus interacciones, especialmente la triple interacción entre altura, concavidad y base ($p=0.007$), fueron significativos. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las características del vidrio, como la concavidad y la base, en la gestión de residuos para reducir el riesgo de incendios forestales en áreas altoandinas.

Palabras clave: *Ignición, Pastizales, Vidrio, altoandino, residuos y riesgo*

Abstract

The study examines the potential of glass waste to start fires in high Andean grasslands, in the context of the increase of fires in Peru. For the measurement of temperature, humidity and UV radiation, DTH22 and ML8511 sensors were used as they offer precision and stability in the measurements, and for the collection, analysis and visualization the data storage platform ThingSpeak used the ESP32 module which is designed for IoT projects. In the experiment, 6 treatments were performed with 3 replications with a total of 18 experimental units in a time of 30 days. Then for data interpretation, a factorial analysis was performed to evaluate the impact of height, concavity and glass base on the ultraviolet (UV) index and temperature. The results showed that concavity ($p=0.000$) and base ($p=0.000$) significantly affect the UV index, while height has no relevant impact ($p=0.237$). The interaction between concavity and base was also significant ($p=0.000$), increasing the risk of ignition. As for temperature, all factors ($p=0.000$) and their interactions, especially the triple interaction between height, concavity and base ($p=0.007$), were significant. These findings underscore the importance of considering glass characteristics, such as concavity and base, in waste.

Keywords: *Ignition, Grasslands, Glass, high Andean, waste, risk*

Introducción

El cambio en el clima y el aumento de las temperaturas globales están incrementando la frecuencia y gravedad de eventos naturales relacionados con el clima (Abbas et al., 2022). El incremento de las concentraciones de CO₂ en el siglo XX han incrementado rápidamente, ya que en los últimos 1000 años la concentración se mantuvo constante en ± 10 ppmv de 275 (Kabir et al., 2023). Las concentraciones de GEI genera el aumento de la temperatura, aumentando 1.01 °C desde 1880 y un suceso anómalo en 2002 con 1.02 °C (Valentin & Caballero, 2022). Este fenómeno ha aumentado la temperatura media y máxima, afectando diversos aspectos del clima (Shahzad et al., 2021).

El calentamiento global está resultando en estaciones cálidas más largas y sequías más severas, favoreciendo la propagación de incendios forestales (Barberini et al., 2022). Los pastizales, que son más inflamables debido a su rápida respuesta a cambios de temperatura, representan el 54% de la superficie terrestre, con una alta proporción en latitudes medias y altas (Yajuan et al., 2022).

En Argentina, más del 1,000 km² de los pastizales han sido degradados, y en Chile, 3.500.00 ha del territorio con pastizales enfrenta un alto riesgo de incendios debido a temperaturas extremas (Huertas et al., 2021; Saucedo, Perucca, y Kurtz, 2023)

En Perú, los pastizales andinos cubren aproximadamente el 13,04% del país, y la incidencia de incendios afecta al 14.89% de los pastizales, particularmente entre los 80 cm de altura, denominados “ichu” (Aronés et al., 2024). En 2020, la Región Apurímac reportó 432 incendios forestales (Samamé, 2023)

Aproximadamente el 17% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) se deben a la degradación de los bosques, y en Perú, la deforestación es responsable del 60 – 80% de estas emisiones (López, 2024; Calmet, 2023). Entre 2013 y 2020, la Amazonía peruana perdió más de 100 millones de toneladas métricas de carbono, principalmente debido a la deforestación por agricultura y minería (MAPP, 2021).

En 2003, el número de incendios se disparó debido al fenómeno del Niño, afectando 9,242 hectáreas, y se observaron patrones similares en 2005 y 2008 (GORE, 2017). A nivel local, los incendios forestales causados por fragmentos de vidrio no han sido suficientemente investigados. En Perú, se producen 11,790 toneladas de vidrio al año, de las cuales el 28% se valoriza y el 72% restante se dispone en rellenos sanitarios (Díaz et al., 2021). En Puno, los

incendios forestales aumentaron más del 70% en 2022 comparado con 2021, afectando 67,000 hectáreas de pastizales (Gobierno Regional de Puno, 2022).

Este estudio se enfocó en evaluar los residuos de vidrio como potencial fuente de ignición para incendios en pastizales altoandinos.

Metodología

Sitio de estudio

Este trabajo de investigación se desarrolló en un área de tres hectáreas situadas en la Universidad Peruana Unión, ubicada en el distrito de Juliaca, en el departamento de Puno, Perú. Con coordenadas WGS84 Norte 8284646.72 / Este: 373790.27 Zona 19S. La zona seleccionada comprende pastizales que han registrado antecedentes de incendios forestales, lo que proporciona un contexto relevante para la investigación sobre la inflamabilidad y el riesgo de incendios en estas condiciones específicas.

Toma de muestra

El experimento se llevó a cabo en un área de tres hectáreas situadas en la Universidad Peruana Unión considerando cómo las variaciones en el relieve afectan las condiciones climáticas como, la temperatura y la humedad relativa y los índices de radiación solar, influyendo en la propagación del fuego. Para realizar esta metodología se usaron residuos de vidrios (base de la botella) de diferentes características como: (color, concavidad y tamaño de base), posiciones de altura de (0 y 5 cm), como también la paja Ichu (*Stipa ichu*) para así poder determinar la temperatura de ignición. Se aplicaron 6 tratamientos con 3 repeticiones, sumando 18 unidades experimentales. Los datos se monitorearon con sensores de radiación UV, temperatura y humedad ML8511 y DTH22, para el tiempo de medición se consideró las horas con mayor índice de radiación solar, que fueron entre las 11:00 am de la mañana hasta la 13:00 horas.

Recolectando información cada 2 minutos durante un periodo de 2 horas con la finalidad de tener una mayor precisión a la hora de la interpretación de datos en un tiempo de medición de 30 días. Al utilizar residuos de vidrio de diferentes características.

En una prueba anterior demostró que la posición de la base de las botellas y sus diferentes concavidades, tamaños, y colores fueron de mucha influencia para la generación de un efecto lupa el cual puede llegar a ser una fuente de ignición importante, así mismo para generar el efecto lupa que es la concentración de radiación solar en un solo punto se añadieron 5 ml de agua en cada muestra. Para el almacenamiento de datos se utilizó el servidor IoT, ThingSpeak empleando el módulo SP32 con conexión Wifi y Bluetooth. El esquema electrónico incluye sensores ML8511 para radiación UV y DHT22 para temperatura y humedad, ambos cuentan con una precisión y estabilidad en la medición, los sensores ML8511 fueron fundamentales para cuantificar los niveles de radiación UV en las zonas de prueba, validar científicamente si los fragmentos de vidrio pueden concentrar suficiente radiación solar como para elevar significativamente la temperatura del pastizal y así mismo respaldar estadísticamente la hipótesis del efecto lupa como un mecanismo potencial de ignición en áreas altoandinas, por otro lado los sensores DHT22 sirvieron para medir la temperatura y humedad relativa en el entorno y evaluar cómo estas variables afectan la probabilidad de ignición en combinación con el efecto lupa generado por vidrios y así sustentar con datos empíricos la relación entre las condiciones climáticas locales y el comportamiento térmico de los residuos de vidrio, y para la recopilación, análisis y visualización fueron alimentados por una batería de litio de 3.7V tal como se detalla en la figura 1. Para realizar el encendido de estos componentes electrónicos se tuvo como fuente de alimentación las baterías de litio, y un tiempo de activación de por lo menos 5 minutos antes de la evaluación diaria para evitar cualquier percance al momento de la toma o recepción de los datos de medición, las cuales pueden ser visualizada mediante gráficos y barras en tiempo real mediante una plataforma digital.

En la distribución base, se contó con 6 bases de triplay con una medida de 0.65 x 0.35 cm. individualmente, divididas en grupos de 3 de 0.25 x 0.15 cm. por separado, para dar forma cuadrilátera de cada una de estas, así mismo estas fueron divididas en grupos de 2 de (0 cm y 5 cm). Para el soporte de 5 cm, se fabricó una base utilizando una malla de acero, sin que esto afectara la precisión en la medición de los datos. En la base del triplay se colocó paja Ichu (*Stipa ichu*).

Para la instalación de los módulos, se utilizaron 4 trípodes a una altura de 0.70 cm, cada una, con una caja de 0.20 x 0.15 cm para utilizarlo como medio de protección en los módulos. Cada sensor transmite su información mediante un cable STP, estas llegan al módulo para ser emitidas mediante una conexión Wifi, y pueden ser visualizadas en el software ThingSpeak.

Diseño Muestral

La población para la prueba incluyó un área específica de la Universidad Peruana Unión, Chullunquiani – Juliaca. Por ende, esta fue delimitada considerando como punto estratégico para la instalación de los sensores y el procedimiento experimental, para ello, los criterios de inclusión tomados implican con presencia de pastizales y con antecedentes de incendios forestales.

Técnica de recolección de datos

Se aplicó una técnica de observación para recolectar datos sobre factores meteorológicos, como: la temperatura ambiente y la humedad relativa, en un contexto natural. También se realizó una simulación de incendios utilizando fragmentos de vidrio y un monitoreo con Arduino. El área de estudio se delimitó usando un Sistema de Información geográfica (SIG) para identificar tres parcelas de 1 hectárea cada una, seleccionando un punto para el muestreo probabilístico georreferenciado con GPS. El estudio se centró en los umbrales de ignición para pastos con el fin de desarrollar estrategias que permitan prevenir los incendios forestales. Para ello se evaluaron tres tipos de residuos de vidrio de botella, considerados como potenciales fuentes de ignición.

Técnicas estadísticas para el procesamiento de datos

Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el software Excel, mediante el cual se logró interpretar los registros obtenidos en campo con los sensores de radiación, siendo estos la temperatura y humedad. Así mismo, se aplicó estadística descriptiva con el objetivo de comparar los valores de los indicadores asignados, esto mediante tablas y gráficos que permitieron una interpretación clara y detallada. Además, se empleó el software SPSS para realizar pruebas estadísticas inferenciales con el fin de contrastar la hipótesis inicial planteada.

Resultados

Según los resultados obtenidos, en la tabla 2 se muestran los resultados del análisis factorial en el que se analizó la base, la concavidad y la altura y cómo interactúan con el índice UV. Con valores p inferiores a 0,05, los resultados indican que la altura, la concavidad y la base afectan de manera muy significativa en el índice UV, lo que evidencia su importancia.

Por otro lado, con valores p superiores a 0,05 los resultados indican que las interacciones entre altura y base y entre altura y concavidad no son significativas, evidenciándose que estas combinaciones no tienen un impacto significativo en el índice UV. Sin embargo, cuando se tienen en cuenta estos dos factores combinados, la interacción entre concavidad y base es muy significativa, con un valor p de 0,000, lo que sugiere un impacto considerable. La interacción entre las tres variables (altura, concavidad y base) tampoco resulta significativa, con un valor p de 0.758.

El diagrama de efectos estandarizados obtenido en el análisis muestra la influencia relativa de los factores evaluados en la variable de respuesta UV, con un nivel de significancia de 0.05. En la gráfica, se observa que los factores Concavidad, interacción entre Concavidad y Base, y Base presentan los efectos estandarizados más altos, superando el umbral crítico de 2.03, lo que indica que tienen una influencia significativa sobre la variable de respuesta; asimismo, el factor Altura también supera el umbral de significancia, aunque su efecto es menor en comparación con los factores anteriores. A diferencia de las interacciones de segundo y tercer orden (AC, AB y ABC) presentan valores por debajo del umbral de significancia, lo que sugiere que su impacto sobre la variable de respuesta no es estadísticamente relevante (Figura 3).

En la figura 3 se muestra la influencia de los factores evaluados en la temperatura, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, mediante la cual se observa que el factor Concavidad presenta el efecto estandarizado más alto, seguido de la interacción concavidad - base y el factor base, los cuales superan el umbral crítico de 2.028, lo que indica que tienen un impacto significativo sobre la temperatura; por otro lado, los factores altura - base y altura presentan efectos cercanos al umbral de significancia, lo que sugiere que su influencia en la variable de respuesta es moderada; a diferencia de altura - concavidad y altura - concavidad - base presentan valores estandarizados por debajo del umbral crítico, indicando que su efecto no es significativo.

En la figura 2, se observa que los factores concavidad, interacción entre la concavidad, base en la radiación uv presentan los efectos estandarizados más altos, superando el umbral crítico de 2.03, lo que indica que tienen una influencia significativa sobre la humedad; por otro lado, el factor altura también muestra un efecto relevante, aunque de menor magnitud en comparación con los antes mencionados; con respecto a las interacciones altura - concavidad, altura - concavidad - base y altura - base, se observa que su impacto es menor y, en el caso anterior, no supera el umbral crítico, lo que sugiere que su influencia en la variable de respuesta no es estadísticamente significativa.

En la tabla 3 se muestran los factores que determinan la temperatura (altura, concavidad y base), y como son sus interacciones entre sí. Los resultados obtenidos dejan en evidencia que la concavidad y la base tienen un impacto significativo en la temperatura, tal y como muestran sus respectivos valores p de 0,000 y 0,028. Sin embargo, con un valor p de 0,237, la altura no afecta significativamente. Por su parte, con valores p de 0,041 y 0,002 respectivamente, las interacciones de altura y base, y concavidad y base, demuestran que son significativas y pueden tener un impacto directo en la temperatura. Sin embargo, con valores p de 0,261 y 0,416 respectivamente, las interacciones entre altura y concavidad, y la interacción de tres vías entre altura, concavidad y base, se determina que no son significativas.

En la tabla 3 se muestra un análisis factorial para evaluar cómo la altura, la concavidad y la base afectan la temperatura, y las interacciones entre estas variables. Los resultados muestran que la altura, la concavidad y la base, con valores p de 0.000, afectan de manera altamente significativa sobre la temperatura, lo que determina que cada uno de estos factores tiene una influencia considerable. Por su parte, las interacciones entre altura y concavidad, y entre concavidad y base también son significativas con valores p de 0.000 y 0.000 respectivamente, demostrando que estas combinaciones influyen drásticamente en la temperatura. En contraste, con un valor p de 0.297, la interacción entre altura y base no es significativa, lo que indica que esta combinación no tiene un impacto considerable. En cuanto a la interacción triple entre altura, concavidad y base es significativa con un valor p de 0.007, los resultados demostraron que la influencia conjunta de estas tres variables también afecta significativamente la temperatura. Por otro lado, el error con una suma de cuadrados de 327.737, representa la variación no explicada por el modelo.

Discusión del resultado

Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2022), el efecto lupa viene a ser un factor antropogénico indirecto en la generación de incendios, ya que resulta de la disposición inadecuada de objetos de vidrio en áreas naturales. Sin embargo, para que se generen incendios por este fenómeno, existen ciertos factores condicionantes, como la temperatura, el viento, la irradiación solar, la pendiente del terreno y el factor combustible, determinado por la cobertura vegetal. Valarezo (2023), menciona que la concentración de luz a través de vidrios puede generar un aumento significativo en la intensidad lumínica y térmica. Los vidrios convexos pueden desviar los rayos de luz que pasan a través de ellos y hacer que se junten en un solo punto. Mientras más curva tenga el vidrio y más capacidad tenga para desviar la luz, más concentrada estará la luz en ese punto.

Según los resultados obtenidos, la tabla 2 muestra que la concavidad es un factor altamente significativo en la intensificación del índice ultravioleta ($F = 916.695$, $p < 0.001$). Este hallazgo respalda la idea de que ciertas formas de vidrio pueden concentrar la luz de manera similar a los lentes de Fresnel, aunque con menor intensidad (Bachhay & Sonawwanay, 2022). Pudiéndose afirmar que la concavidad juega un rol clave en la focalización de la luz solar, aumentando la concentración de energía en puntos específicos. Si bien es cierto, en esta investigación no se utilizó lentes de Fresnel, los resultados indican que algunos vidrios con ciertas formas pueden concentrar la luz de manera parecida, aunque con menos intensidad. Sin embargo, no se puede asegurar que la luz concentrada en la base del vidrio alcance la temperatura necesaria para iniciar un incendio.

Además, según Wang et al. (2015), nos menciona que factores como la orientación del objeto, la intensidad de la radiación solar y la presencia de materiales combustibles son determinantes en la posibilidad de ignición. Gonzales y León (2021) indican que la presencia de residuos de vidrio en áreas naturales puede aumentar el riesgo de incendios, especialmente durante temporadas secas.

En la tabla 4, que estudia el factor temperatura, los resultados muestran que la forma curva del vidrio tiene un impacto muy importante ($F = 92.491$, $p < 0.001$). Esto significa que no solo influye en la intensidad de los rayos UV, sino también en el aumento de la temperatura. Además, la combinación entre la concavidad y la base del vidrio también es relevante ($F = 76.557$, $p < 0.001$), lo que reafirma que ciertos diseños pueden ayudar a concentrar más calor.

Este resultado coincide con lo señalado por Ramírez (2020), quien indica que la presencia de vidrios en áreas con vegetación seca puede elevar el riesgo de incendios al concentrar el calor en un solo punto.

Cabe mencionar también, que en la ignición por el efecto lupa de vidrios, influye mucho la humedad presente o ausente dentro de los pastizales. Asensio et al. (2023), nos menciona que la humedad presente en la vegetación de pastizales influye bastante en su susceptibilidad a la ignición. Pastizales con bajo contenido de humedad tienden a ser más propensos a incendiarse, incluso por fuentes de ignición menores, como el "efecto lupa". Por su parte, Livingston y Varner (2016) mencionan que entender cómo la humedad varía entre especies y a lo largo del tiempo es de suma importancia para la gestión de incendios. Puesto que identificar áreas con pastos de bajo contenido de humedad puede ayudar a implementar medidas preventivas, como la eliminación de objetos como cristales o vidrios que puedan concentrar la luz solar y provocar igniciones, por ende el rango crítico de ignición de 200 °C a 300 °C según (Asensio et al., 2023; Livingston & Varner, 2016) Este es el rango al que los materiales vegetales finos, como el ichu seco, pueden inflamarse por contacto con una fuente de calor concentrado, como el que genera el efecto lupa de un vidrio.

Temperatura ambiental mínima para favorecer ignición espontánea (sin llama directa): ≥ 30 °C a 35 °C en condiciones de baja humedad y alta radiación solar
Aunque no encienden por sí solas, estas temperaturas hacen que el material esté más predispuesto a inflamarse con cualquier chispa o aumento de temperatura localizado (como el efecto lupa).

Humedad relativa (HR) del aire: Umbral de alto riesgo de ignición: $HR \leq 30\%$ una humedad relativa baja indica que el ambiente es seco, por lo tanto, la vegetación también lo está.

Humedad del combustible (pasto): si el contenido del pasto es $\leq 15\%$, el riesgo de ignición es muy alto según (Livingston & Varner, 2016; Asensio et al., 2023)

Radiación solar / Índice UV: Índice UV (medido por el ML8511): Índice UV ≥ 8 (muy alto) hasta 11+ (extremo) favorece mayor concentración térmica, en estos niveles un vidrio con forma adecuada puede enfocar la radiación solar y aumentar considerablemente la temperatura en un punto focal. En general las variables ideales para que se produzca o se dé una ignición según los datos obtenidos en el experimento y en comparación con las menciones de fuentes bibliográficas se mencionan en la tabla 5.

Así mismo se puede reafirmar que la forma del vidrio influye en cómo concentra la luz del sol y eleva la temperatura. Sin embargo, aunque la curvatura del vidrio tiende a tener un efecto importante en el aumento de los rayos UV y el calor, esto por sí solo no garantiza que se alcancen temperaturas lo suficientemente altas para provocar un incendio. Puesto que para que esto suceda, también intervienen otros factores como la posición del vidrio, la intensidad del sol y la temperatura (Wang, Liu, Lei, & Jin, 2015; Asensio, Cascón, Laiz, & Prieto, 2023).

Conclusiones

El análisis de los efectos de la altura, la concavidad y la base en el índice ultravioleta muestra que tanto la concavidad como la base tienen un impacto significativo en los niveles de radiación ultravioleta, mientras que la altura no tiene un efecto considerable. Estas variables, principalmente la concavidad y la base, pueden ser factores clave en la capacidad de los residuos de vidrio para la generación de incendios en los pastizales altoandinos. La fuerte interacción entre concavidad y base indica que, al combinarse, estas pueden aumentar la concentración de radiación ultravioleta, elevando significativamente el riesgo de ignición. En cambio, la altura no mostró una influencia importante al ser combinada con las demás variables, lo que sugiere que su importancia en la variación del índice ultravioleta y en el riesgo de incendio por residuos de vidrio es menor.

La altura, la concavidad y la base influyen en la temperatura, y tanto estas variables por separado como algunas de sus interacciones tienen un importante efecto significativo. En particular, la concavidad y la base afectan notablemente la temperatura, con valores p muy bajos. Esto sugiere que estas características pueden ayudar al vidrio a concentrar y retener el calor, aumentando así la posibilidad de iniciar incendios en los pastizales. Por su parte, la relación entre la concavidad y la base muestra que, al combinarse, pueden aumentar la temperatura y, con ello, el riesgo de incendios.

Se demuestra que la concavidad y la base del vidrio influyen en su capacidad para iniciar incendios en pastizales altoandinos, afectando el índice ultravioleta y la temperatura. La interacción de estos factores puede aumentar la concentración de energía solar, elevando el riesgo de ignición. Por ello, es importante considerar la distribución de estos residuos en el paisaje para reducir el peligro de incendios.

Referencias

- Abbas, K., Qasim, M., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 42539–42559. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Aronés, A., Perpinya, A., Nadal, J., & Bonnesoeur, V. (2024). Incendios forestales en ecosistemas de la puna húmeda en los Andes de Ayacucho, Perú. *Investigaciones Regionales – Journal of Regional Research*, 2, 127-147. doi:<https://doi.org/10.38191/iir-jorr.24.014>
- Asensio, M., Cascón, J., Laiz, P., & Prieto, D. (2023). Validating the effect of fuel moisture content by a multivalued operator in a simplified physical fire spread model. Validating the effect of fuel moisture content by a multivalued operator in a simplified physical fire spread model. *Environmental Modelling & Software*, 164, 105710. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105710>.
- Bachhay, C., & Sonawwanay, P. (2022). Study on design and performance enhancement of Fresnel lens solar concentrator. . *Materials Today: Proceedings*, 56(5), 2873-2879. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.168>.
- Bakirci, M., & Bayraktar, I. (2024). Aprovechamiento de la tecnología UAV y el algoritmo YOLOv9 para la detección de incendios forestales en tiempo real. *Conferencia Internacional de Automatización Rusa 2024*. doi:<https://doi.org/10.1109/RusAutoCon61949.2024.10694663>
- Barberini, S., Benito, Á., Danti, R., Rocca, G. D., Devasirvatham, P., Díez, S., . . . López, S. (2022). Guía de buenas prácticas de identificación y control de algunas enfermedades comunes de los bosques mediterráneos. *Digital.CSIC*. doi:<http://doi.org/10.20350/DIGITALCSIC/14655>
- Calmet, G. (2023). Gestión y política de los bosques en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 12. doi:<http://dx.doi.org/10.18800/kawsaypacha.202302.a001>

- Colotta, M., Degiorgis, P., Lascano, J., & Rodriguez, V. (2021). *Manual de relacionales internacionales*. Teseo. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1349>
- Díaz, R., Velarde, G., & Lino, G. (2021). Glass Packaging Material Flow Analysis for Production, Consumption, and Trade in Peru during 2018. *South sustainability*, 2(1). doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.21142/SS-0201-2021-002>
- El Peruano. (2023). IGP: Incendios forestales arrasaron miles de hectáreas en el Perú en los últimos 20 años. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia/206515-igp-incendios-forestales-arrasaron-miles-de-hectareas-en-el-peru-en-los-ultimos-20-anos>
- Ganteaume, A., & Syphard, A. (2019). Ignition Sources. *Springer International Publishing AG*, 1-18. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_43-1
- Gobierno Regional de Puno. (2022). *Incendios forestales se incrementaron en más de 70% a comparación de 2021*. Pachamama Radio. Obtenido de <https://pachamamaradio.org/gore-puno-incendios-forestales-se-incrementaron-en-mas-del-70-a-comparacion-de-2021/>
- Gonzales, M., & León, J. (2021). Efecto de factores antrópicos en la ocurrencia de incendios del bosque seco tropical de la cuenca alta del río Magdalena. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/e2aa238d-d65d-4964-8c>.
- GORE, A. (2017). Plan de gestión del riesgo de incendios forestales para la Región Apurímac. Obtenido de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4568>
- Huertas, A., Promis, Á., Río, M., & Toro, M. (2021). Propuesta teórica de rehabilitación de bosques de *Nothofagus pumilio* degradados por incendios basada en plantaciones en núcleo con *Embothrium coccineum*. *Bosque (Valdivia)*, 42(3), 285-293. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002021000300285>
- INEGI. (2022). Pastizal en México.
- Kabir, M., Habiba, U., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., De los Rios, P., . . . Shafiq, M. (2023). El cambio climático debido a la creciente concentración de dióxido de carbono y sus

- impactos sobre el medio ambiente en el siglo XXI: una mini revisión. *Revista de la Universidad Rey Saud - Ciencia*, 35(5). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>
- Livingston, A., & Varner, J. (2016). Fuel Moisture Differences in a Mixed Native and Non-Native Grassland: Implications for Fire Regimes. *fire ecol* 12, 73–87
<https://doi.org/10.4996/fireecology.1201073>.
- López, R. (2024). Conservando los ecosistemas forestales, la biodiversidad y generando medios de vida en el Altiplano de San Marcos. *Revista de Investigación Proyección Científica*, 6(1), 51-66. doi:<https://doi.org/10.56785/ripc.v6i1.204>
- MAPP, P. M. (2021). *Carbon loss & protection in the Peruvian Amazon*. Obtenido de <https://maaproject.org/2021/peru-carbon-2020/>
- MIDAGRI. (2023). *Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre al 2030*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/prensa/dialogos-ambientales/redd-y-redd-iniciativas-para-reducir-las-emisiones-de-carbono/>
- Ramírez, D. (2020). Efecto de factores antrópicos en la ocurrencia de incendios del bosque seco tropical de la cuenca alta del río Magdalena. . *Recuperado de:*
<http://hdl.handle.net/11349/25165>.
- Ríos, J. (2023). Causas y origen de los incendios forestales en el Ecuador. *Revista INNDEV*, 11-21. doi:<https://doi.org/10.69583/inndev.v2n4.2023.79>
- Ríos, J. (2023). Causas y origen de los incendios forestales en el Ecuador. *Causas y origen de los incendios forestales en el Ecuador. Revista INNDEV - Innovation & Development Ciencias del Sur*, 2(4), 11-21. <https://doi.org/10.69583/inndev.v2n4.2023.79>.
- Roldán, J., Gonzáles, E., & Barrientos, A. (2021). A Survey on Robotic Technologies for Forest Firefighting: Applying Drone Swarms to Improve Firefighters' Efficiency and Safety. *Applied Sciences*, 11(1), 363. <https://doi.org/10.3390/app11010363>.
- Samamé, J. (2023). Los incendios forestales y su repercusión en el ecosistema peruano. *REvista latinoamericana de ciencias sociales y humanidades*, 2.
doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.610>

- Saucedo, G., Perucca, R., & Kurtz, D. (2023). Las causas de los incendios de principios del año 2022 en la provincia de Corrientes. *Ecología Austral*, 33(1). doi:
<https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.2020>
- Shahzad, A., Ullah, S., Dar, A., Sardar, M., Mehmood, T., Tufail, M., . . . Haris, M. (2021). Nexus on climate change: agriculture and possible solution to cope future climate change stresses. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14211–14232. doi:
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-12649-8>
- Valentin, E., & Caballero, G. (2022). Proyectos de producción de biogás en la Región Pampeana y su contribución a los desafíos energéticos del Siglo XXI. *Huellas*, 26(2). doi:
<https://doi.org/10.19137/huellas-2022-2623>
- Wang, Y., Liu, Q., Lei, J., & Jin, H. (2015). Performance analysis of a parabolic trough solar collector with non-uniform solar flux conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 82, 236-249. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.11.055>.
- Yajuan, W., Meiyang, L., Ji, W., & Yanlonh, H. (2022). The effects of vegetation communities on soil organic carbon stock in an enclosed desert-steppe region of nortgern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 68(2), 284–294. doi:
<https://doi.org/10.1080/00380768.2022.2045847>.

Tablas

Tabla 1
Materiales y equipos

Materiales	Equipos	Software
Libreta de campo	Módulo ESP32 -WROOOM-32	Servidor web
Laptop	Sensor de radiación solar UV L8511	Thingspeak
Lapiceros	Sensores de humedad y temperatura DHT22 (AM2302)	Arduino iot cloud
Fondos cóncavos de las botellas	Placas pcb de prueba	Arduino IDE
Copias para el muestreo de campo	Baterías litios 3.7V, 2200mAh	Microphyton
EPP	Portapilas 18650 x2	Google Cloud
Memoria USB	Cargadores de litio TP4056	Protocolo MQTT
Estaño	Zócalos para el SP8266	Node Red
Cautín	Espadín hembra cuadrado 1X40	Matlab
Alicate de punta y corte	Switch mini rocker	Microsoft Excel
Juego de desarmadores	Cables de audio #18	Mosquitto
Malla de cobre	Cable micro USB	MySQL
Pistola de silicona	Leds rojo ultrabrillante	Json
Silicona	Resistencia 100 ohm	
Sierra	Canaleta 60X40 - 28 Cables	
Taladro	Cable STP CAT6	
Triplay	Paquete de cables jumper	
Listones madera		
Trípode		
Blindaje metálico		
Calamina pequeña		
Cajas de madera pequeñas		
Spray		

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 2*Diseño factorial para la altura, concavidad y base en el índice ultravioleta.*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura	6.452	1	6.452	13.037	0.001
Concavidad	907.327	2	453.663	916.695	0.000
Base	930.800	2	465.400	940.410	0.000
Altura * Concavidad	0.729	2	0.365	0.737	0.486
Altura * Base	1.031	2	0.516	1.042	0.363
Concavidad * Base	1825.151	4	456.288	921.998	0.000
Altura * Concavidad * Base	0.928	4	0.232	0.469	0.758
Error	17.816	36	0.495		
Total	3690.234	53			

*Fuente: Elaborado por los autores***Tabla 3***Diseño factorial para la altura, concavidad y base en la temperatura*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura	8.427	1	8.427	1.449	0.237
Concavidad	133.871	2	66.935	11.509	0.000
Base	45.890	2	22.945	3.945	0.028
Altura * Concavidad	16.239	2	8.119	1.396	0.261
Altura * Base	40.797	2	20.398	3.507	0.041
Concavidad * Base	125.466	4	31.366	5.393	0.002
Altura * Concavidad * Base	23.445	4	5.861	1.008	0.416
Error	209.372	36	5.816		
Total	603.506	53			

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 4*Diseño factorial para la altura, concavidad y base en la humedad relativa.*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura	177.701	1	177.701	19.519	0.000
Concavidad	1684.034	2	842.017	92.491	0.000
Base	1523.037	2	761.518	83.648	0.000
Altura * Concavidad	189.354	2	94.677	10.400	0.000
Altura * Base	22.886	2	11.443	1.257	0.297
Concavidad * Base	2787.857	4	696.964	76.557	0.000
Altura * Concavidad * Base	151.681	4	37.920	4.165	0.007
Error	327.737	36	9.104		
Total	6864.288	53			

*Fuente: Elaborado por los autores***Tabla 5***Condiciones ideales para la ignición*

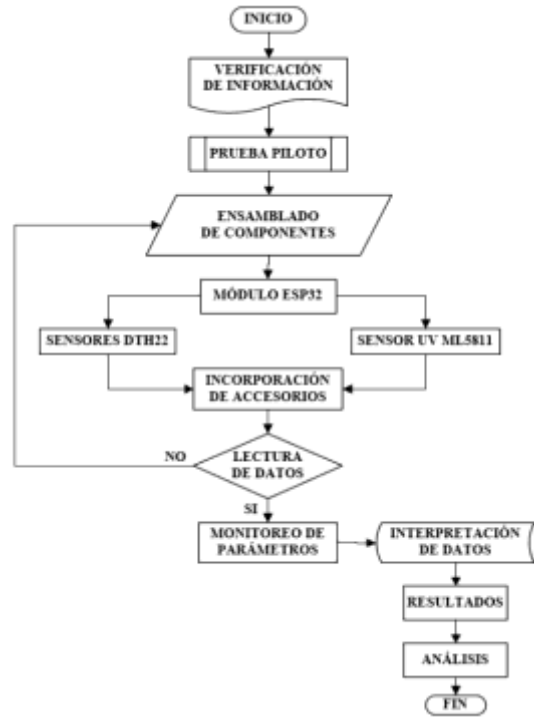
Variable	Valor crítico aproximado
Temperatura puntual	≥ 200 °C en el punto focal del vidrio
Temperatura ambiente	≥ 30 –35 °C
Humedad relativa	≤ 30%
Humedad del pasto	≤ 15%
Índice UV	≥ 8 (ideal: 10 –11)
Material combustible	Pasto seco (Stipa ichu)

Fuente: Elaborado por los autores

Figuras

Figura 1

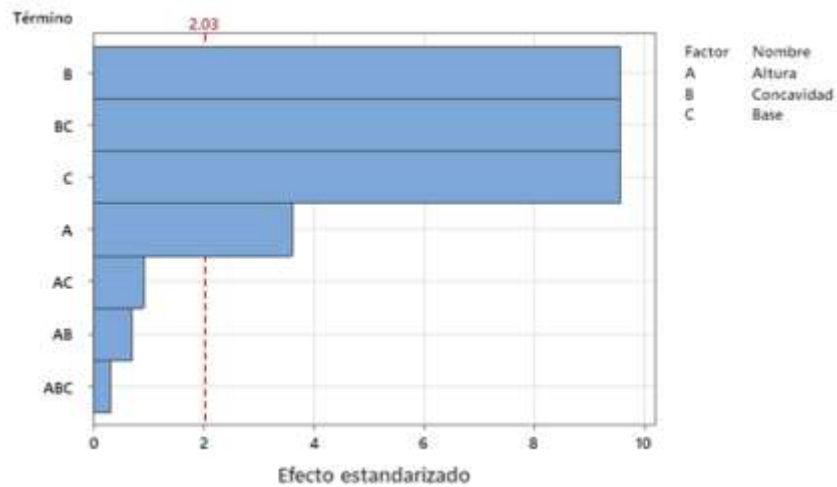
Diagrama de procesos



Fuente: Elaborada por los autores

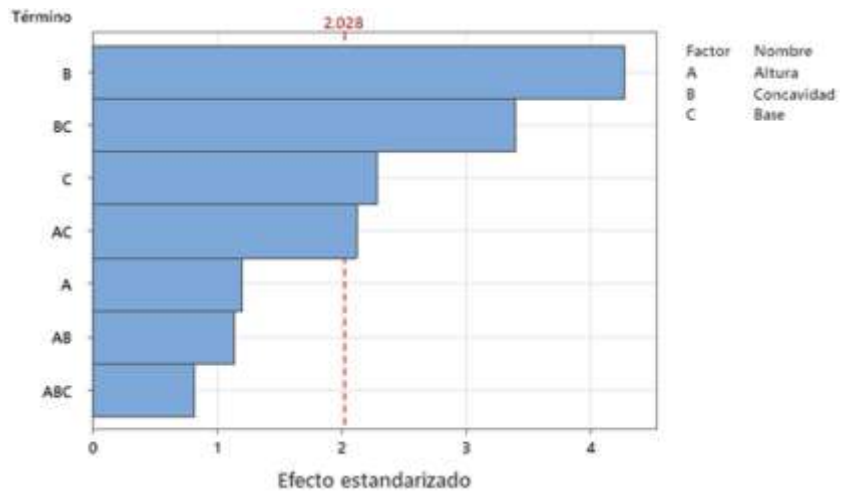
Figura 2

Diagrama de efectos estandarizados para UV.



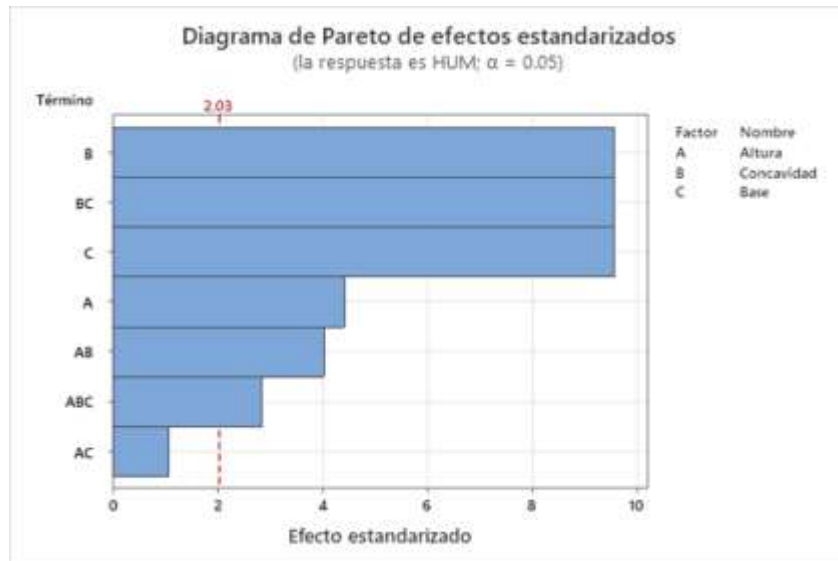
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 3
 Diagrama de efectos estandarizados para temperatura.



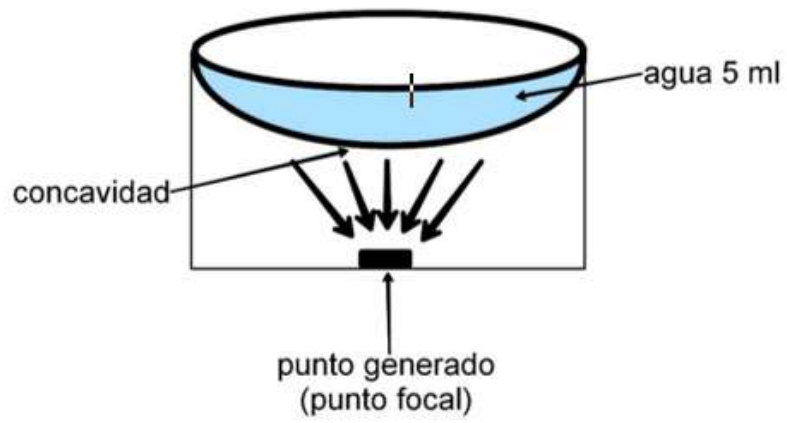
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 4
 Diagrama de efectos estandarizados para la humedad.



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 5
Focalización de la luz solar mediante concavidad y agua



Fuente: Elaborada por los autores

Anexos

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo



Guber Meza Torres <gubermesz@gmail.com>

[KAWSAYPACHA] Envío recibido

1 mensaje

INTE-Publicaciones <noreply@biblioteca.pucp.edu.pe>
Para: Guber Vladimir Meza Torres <gubermesz@gmail.com>

27 de junio de 2025, 10:38

Guber Vladimir Meza Torres:

Gracias por enviarnos su manuscrito **la "Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altoandinas"** a Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente.

Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/Kawsaypacha/authorDashboard/submission/31344>

Nombre de usuario/a: 1guber0

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

INTE-Publicaciones

Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente
INTE-PUCP
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/kawsaypacha>
Correo: publicaciones-inte@pucp.pe

María Isabel Merino Gómez

Editora
Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente
INTE-PUCP
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/kawsaypacha>
Correo: publicaciones-inte@pucp.edu.pe

Anexo 2. Resolución de inscripción de perfil del proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 1019-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 26 de diciembre de 2023

VISTO:

El expediente de **Guber Vladimir Meza Torres**, identificado(a) con Código Universitario N° 201810803 y **Christian Rodrigo Sacaca Mamani**, identificado(a) con Código Universitario N° 201710600, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Guber Vladimir Meza Torres** y **Christian Rodrigo Sacaca Mamani**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altoandinas" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;


Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 26 de diciembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altoandinas" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra** y **MSc. Loayda Abigail Condori Turpo**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Anexo 3. Resolución de sustentación del perfil del proyecto de tesis en formato artículo



“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0272-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Naña, 10 de junio de 2025

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Guber Vladimir Meza Torres** identificado(a) con código universitario N° 201810803 y **Christian Rodrigo Sacaca Mamani** identificado(a) con código universitario N° 201710600, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado “Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altomdinas”, presentado por los (las) bachilleres **Guber Vladimir Meza Torres** y **Christian Rodrigo Sacaca Mamani**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 10 de junio de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Guber Vladimir Meza Torres** y **Christian Rodrigo Sacaca Mamani**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada “Evaluación de residuos de vidrio como fuente de ignición para incendios de pastizales en condiciones altomdinas”, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 27 de junio a las 11:00 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que quedará constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Secretario: MSc. Miguel Angel Salcedo Estriquez
Asesor: Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla
Vocal 1: Mg. Franklyn Elard Zapana Yuca
Vocal 2: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

CC:
-Decana
-Jurado (J)
-Secretaría General
-Archivo