

LA RECUPERACIÓN DE LOS PASTIZALES AFECTADOS POR INCENDIOS EN CUSCO

Mélida Roman^{1,3}, Ricardo Zubieta^{1,3},
Yerson Ccanchi^{1,3}, Alejandra Martínez¹,
Ysai Paucar², Sigrid Alvarez^{1,2},
Julio Loayza², Filomeno Ayala²

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

² Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Cusco, Perú

³ Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú



Mélida Roman es ingeniera agropecuaria y bachiller en Ciencias Agropecuarias por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Es candidata a magíster en Suelos por la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Recientemente, publicó en la revista "Fire" un estudio de impactos de incendios forestales en suelo y vegetación. Actualmente investiga las quemadas agrícolas en el marco del proyecto "Quemas Controladas", desarrollado por la Dirección de Ciencias de la Atmósfera, Hidrósfera y Cambio Climático del IGP.

Palabras clave: Recuperación de pastizales, suelo, incendio forestal, Cusco, Perú

Citar como Román, M., Zubieta, R., Ccanchi, Y., Martínez, A., Paucar, Y., Alvarez, S., Loayza, J. & Ayala, F. (2025). La recuperación de los pastizales afectados por incendios en Cusco. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 12 n.º 03, págs. 4-11.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?*

Este estudio documenta la recuperación de pastizales andinos tras incendios forestales, cuya regeneración total puede demorar hasta cuatro años en comparación con zonas no quemadas. Para reducir sus impactos, los tomadores de decisiones deben establecer sistemas de alerta temprana ante periodos prolongados sin lluvias, que elevan el riesgo de incendios severos por la acumulación de material seco durante el segundo semestre. Asimismo, se recomienda implementar un monitoreo regular del estado del suelo y de la recuperación de la vegetación, a fin de orientar medidas efectivas en los ecosistemas altoandinos de Cusco.

Resumen

Este artículo es una adaptación del estudio titulado "Seasonal effects of wildfires on the physical and chemical properties of soil in Andean grassland ecosystems in Cusco, Peru: pending challenges" (Roman et al., 2024), el cual analiza la recuperación de pastizales andinos tras incendios en la región Cusco. Para ello, se combinó el monitoreo del tiempo

de regeneración vegetal con el análisis de propiedades químicas del suelo vinculadas a su fertilidad, además de entrevistar a la población local. Los resultados muestran que los valores de las propiedades del suelo aumentaron estacionalmente debido al rol que ejerció el fuego. Posteriormente, se registró una reducción gradual de dichos valores, atribuida principalmente al efecto de la lluvia y la escorrentía, factores que habrían favorecido el proceso de lixiviación de los

suelos. Aunque la regeneración de pastizales es posible a largo plazo, persiste la preocupación por parte de la población por la pérdida inmediata de los pastizales y demás especies. Los hallazgos del estudio confirman la capacidad de recuperación de pastizales andinos, con la posibilidad de una restauración casi completa de la biomasa en un periodo de hasta cuatro años después del incendio.

1. Introducción

En las montañas andinas predominan las comunidades de pastizales y matorrales (Wilcox, 1984; Aguilar-Garavito & Cortina-Segarra, 2023). Los pastizales altoandinos representan ecosistemas de gran valor ecológico, reconocidos por su alta biodiversidad y por brindar servicios ecosistémicos esenciales (Potschin et al., 2016). Asimismo, desempeñan un rol vital en la economía rural, especialmente en la producción ganadera. En el Perú, por ejemplo, se concentra la mayor población mundial de alpacas, con aproximadamente 4.5 millones de ejemplares, lo que representa alrededor del 85 % del total global (Wurzinger & Gutiérrez, 2022). Esta importancia, sin embargo, contrasta con la fragilidad de estos ecosistemas, caracterizados por condiciones climáticas extremas, y una oferta de forraje baja y variable de alimentos para el pastoreo (Muñoz et al., 2014).

En los Andes peruanos, los pastizales se ven frecuentemente afectados por incendios forestales. De hecho, el 80 % del total de estos eventos ocurren en los Andes, principalmente durante el segundo semestre del año (Zubieta et al., 2021). La incidencia de incendios en este tipo de ecosistemas puede tener consecuencias significativas sobre el suelo, dependiendo de factores como la intensidad, la duración y el tipo de fuego (Agbeshie et al., 2022). El suelo es fundamental para el crecimiento de las plantas, ya que regula el ciclo de nutrientes, almacena minerales y contribuye al secuestro de carbono (Osman, 2013; Alcañiz et al., 2016).

Las alteraciones de las propiedades físico-químicas del suelo tras un incendio pueden comprometer, temporal o permanentemente, su capacidad para sostener el crecimiento de la vegetación. Los efectos más inmediatos suelen concentrarse en el horizonte superficial del suelo (Hofstede, 1995). Además, los incendios intensificados por el cambio climático pueden modificar la sucesión de la vegetación al

alterar la composición de las comunidades vegetales y las propiedades del suelo (Stavi et al., 2019).

En los Andes tropicales, el crecimiento de pastizales está condicionado por la alternancia estacional entre periodos de lluvias y estiaje (Espinoza et al., 2009; Farfán & Farfán, 2012). Durante los eventos El Niño, las lluvias tienden a reducirse en esta región, extendiendo los periodos secos (Lavado & Espinoza, 2014). Esta mayor sequedad favorece la acumulación de material vegetal seco, lo que incrementa la disponibilidad de combustible forestal y facilita la propagación de incendios durante periodos prolongados sin lluvia. Frente a estas condiciones, algunas especies herbáceas reducen temporalmente su crecimiento; por ejemplo, en el caso de las gramíneas en una zona semiárida, estas pueden entrar en un estado de latencia o dormancia durante periodos secos, pero no necesariamente mueren (Jentsch et al., 2011), aunque la capacidad de recuperación puede variar según el ecosistema (White et al., 2000).

El rol de la población local mediante el uso del fuego en la dinámica de incendios forestales es primordial. En los Andes peruanos, los incendios suelen atribuirse a prácticas agropecuarias que involucran el uso del fuego para la limpieza del terreno, la renovación de vegetación o el control de plagas, entre otras actividades (SERFOR, 2018; Álvarez, 2022). En este contexto, el presente artículo documenta el tiempo de recuperación de la vegetación tras incendios acontecidos en Cusco, así como sus efectos en el suelo en ecosistemas de pastizales.

2. Datos y metodología

Para este estudio, se recopilieron datos climáticos PISCO (Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), generados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (Aybar et al., 2019). Además, se recopiló información de la precipitación observada diariamente, correspondiente al periodo 2022-2023. Por otro lado, con el objetivo de estimar la severidad de los incendios forestales ocurridos en Macay y Salloc, se utilizaron los datos del Sentinel-2. Para ello, se aplicó el índice NBR (Normalized Burn Ratio, por sus siglas en inglés) propuesto por Key y Benson (2005), el cual permite evaluar las condiciones de la vegetación antes y después del

incendio, basándose en la humedad de la vegetación. La diferencia entre las imágenes pre y posincendio (dNBR) se utilizó como un indicador de la severidad del fuego, lo que permitió identificar áreas con distintos niveles de afectación.

Este estudio analizó cómo se recupera la vegetación en zonas afectadas por incendios en comparación con áreas no afectadas. Para ello, dos semanas después de ocurridos los incendios, se seleccionó un sitio representativo en cada zona (quemada y no quemada). Se tomaron muestras de suelo en los mismos sitios seleccionados durante cinco temporadas del año, tanto durante la época seca (S1-03/09/2022), inicio de la época lluviosa (S2-06/12/2022), época lluviosa (S3-05/03/2023), final de época de lluvias (S4-04/05/2023) y posterior época seca (S5-06/09/2023).

Aproximadamente, un año después del incendio (mayo de 2023-final de época de lluvias), se registraron las especies de pastizales y se estimó la biomasa como indicador del nivel de recuperación de la vegetación en la zona quemada; de hecho, comparado a una zona no quemada. Esta medición consistió en seleccionar parcelas de muestreo de

1 m² en los transectos ubicados en zonas quemadas y no quemadas. Para calcular la biomasa, se cortaron y pesaron los pastizales, los cuales se secaron en una estufa; por último, se pesó la materia seca. La biomasa se calcula en términos de peso por unidad de área, normalmente expresada en gramos por metro cuadrado (g/m²).

Adicionalmente, se realizaron entrevistas a pobladores de las comunidades seleccionadas para el estudio, con el fin de analizar sus percepciones sobre los incendios, su impacto y las prácticas relacionadas con el uso del fuego.

2.1 Zona de estudio

El estudio se realizó en las provincias de Calca y Quispicanchi, en las comunidades campesinas de Macay y Salloc, respectivamente, ubicadas en la región Cusco (Figura 1). Estas áreas albergan ecosistemas de pastizales situados entre los 3000 y 4400 m. s. n. m., altitud característica de las montañas andinas de Cusco, donde predominan estos ecosistemas (MINAM, 2019). La metodología de este estudio estuvo compuesta por tres etapas (Figura 2).

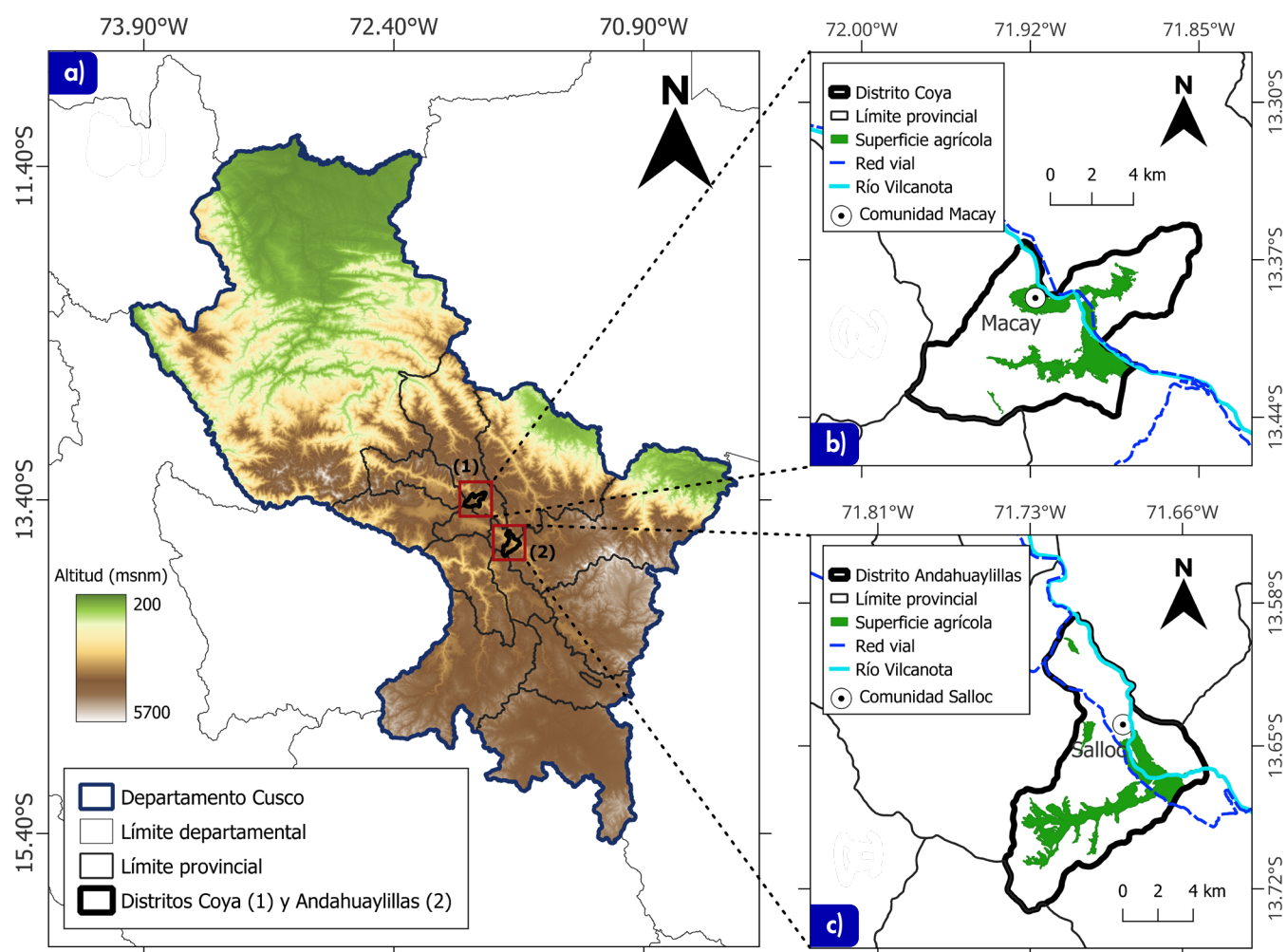


Figura 1. Mapa de ubicación de áreas de estudio (a) de las comunidades (b) Macay y (c) Salloc.

Tabla 1. Características de los incendios forestales registrados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Características de los incendios forestales	Macay	Salloc
Duración aproximada	15:00-19:00 h	14:30-18:00 h
Fecha	23 de agosto de 2022	30 de agosto de 2022
Cobertura natural destruida	94 ha	13 ha
Severidad	Baja y moderada-alta	Baja y moderada-baja
Pendiente	Alrededor de 30°	Plana



Figura 2. Enfoque metodológico del estudio por etapas.

3. Resultados

Se identificó una reducción de la precipitación entre octubre de 2022 y marzo de 2023 en comparación al periodo histórico de precipitaciones pluviales para la región Cusco. Por otro lado, mediante el análisis del índice (dNBR), fue posible caracterizar

especialmente el impacto local de los incendios priorizados para el estudio. Los resultados indican que el incendio forestal ocurrido en Macay presenta niveles de severidad entre baja y moderada-alta, mientras que en el incendio forestal en Salloc los niveles se ubicaron principalmente entre baja y moderada-baja (Roman et al., 2024).

3.1 Análisis físico-químico del suelo

Para ejemplificar, la Figura 3 resume los efectos de los incendios forestales sobre las propiedades físico-químicas del suelo, a profundidades de 0 a 3 y de 3 a 10 cm. Las muestras fueron recolectadas en diferentes momentos, correspondientes a la época seca (S1), inicio de la época lluviosa (S2), época lluviosa (S3), final de época de lluvias S4 y posterior época seca (S5).

Para interpretar la fertilidad en suelos quemados y no quemados en las comunidades de Macay y Salloc, se tomaron como referencia los umbrales relacionados con condiciones de mayor o menor fertilidad en suelos

destinados a la producción de pasturas cultivadas andinas y pasturas naturales propuesto por Farfán y Farfán (2012). En ambas comunidades, tanto en la capa superficial como subsuperficial (hasta 10 cm de profundidad), las propiedades del suelo —como el pH, la materia orgánica, el nitrógeno y el potasio— presentaron valores cercanos a los rangos adecuados para mantener la fertilidad favorable del suelo durante gran parte del año. No obstante, en las áreas quemadas se observó un incremento en los parámetros químicos, tanto en Macay (Figura 3) como en Salloc (Roman et al., 2024), lo cual sugiere una posible mejora temporal en la fertilidad del suelo; sin embargo, estos cambios no resultaron estadísticamente significativos.

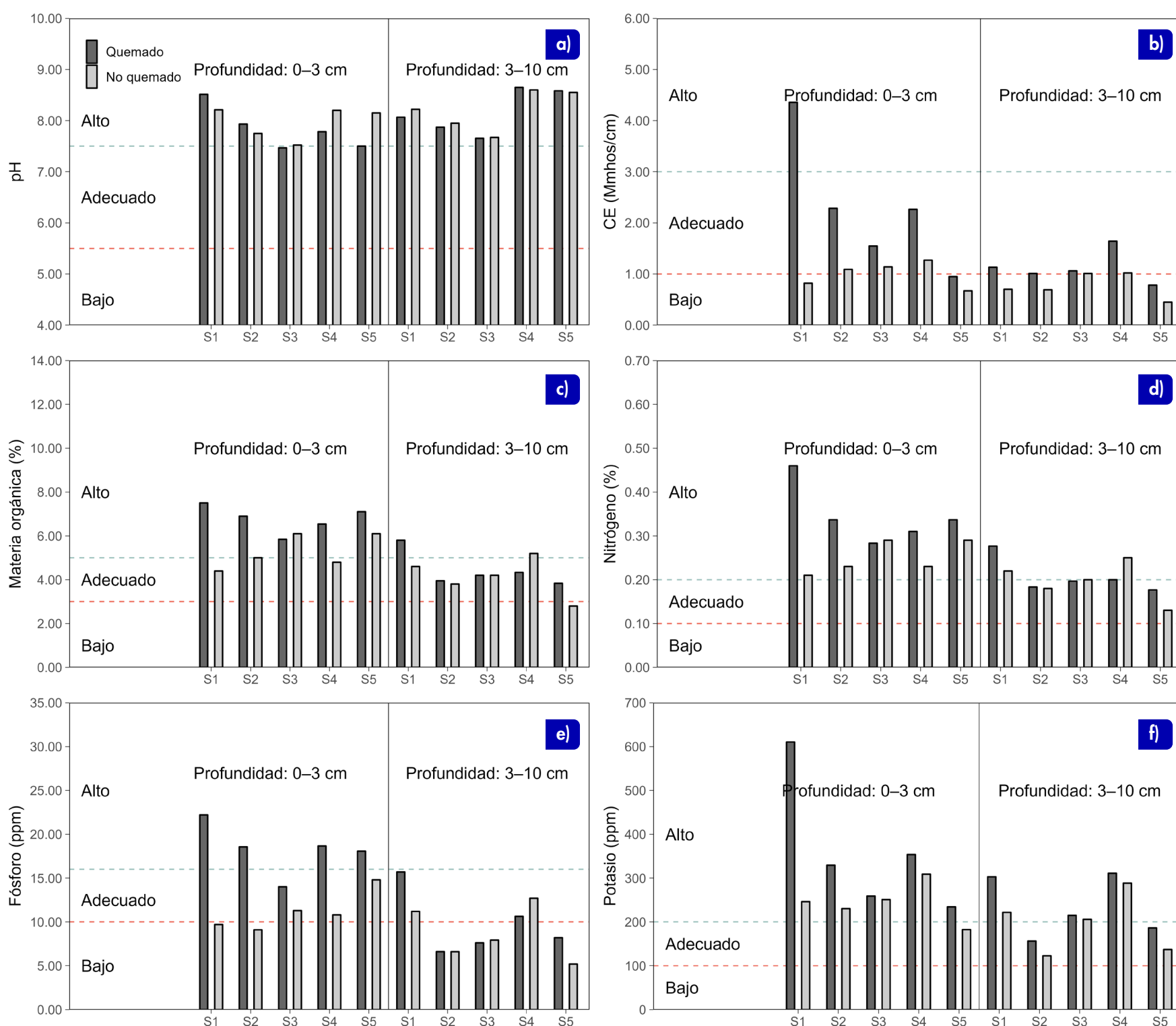


Figura 3. Análisis de los indicadores de fertilidad del suelo (a) pH, (b) conductividad eléctrica, (c) materia orgánica, (d) nitrógeno, (e) fósforo y (f) potasio, a profundidades de 0-3 cm y 3-10 cm en Macay. También se grafican los umbrales (alto, adecuado, bajo) vinculados a la fertilidad del suelo en la región andina (Farfán & Farfán, 2012).

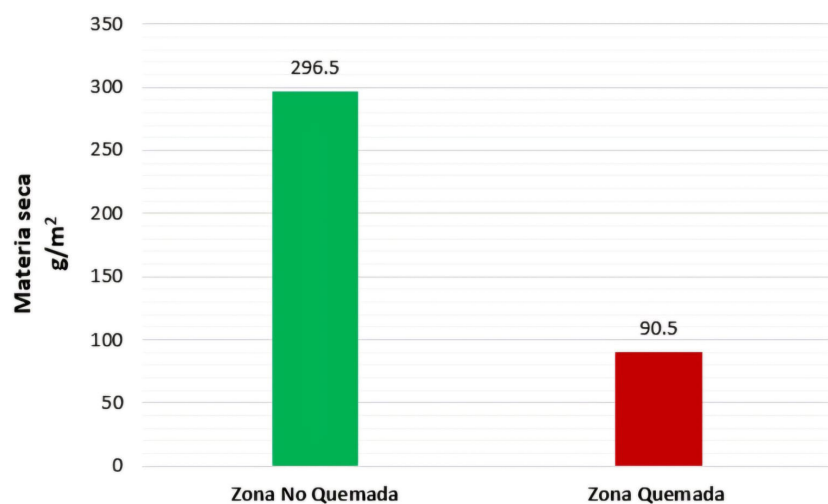


Figura 4. Biomasa seca (g/m²) estimada en Macay en 2023 con respecto a 2022.

3.2 Evaluación de la vegetación

En la comunidad de Macay, la biomasa en áreas quemadas registrada en 2023 se redujo en un 70 % en comparación con la biomasa de las áreas no quemadas de 2022 (Figura 4).. Un patrón similar posquemado se observó en Salloc, donde la biomasa se redujo al 46 % entre septiembre de 2022 y septiembre de 2023. Sin embargo, en ambas comunidades se identificó un aumento en el número de especies de plantas herbáceas presentes en las áreas afectadas por el fuego, en comparación con las no quemadas, tanto en Macay como en Salloc (Roman et al., 2024).

Para evaluar un periodo más prolongado de recuperación de la vegetación, se analizó un incendio forestal ocurrido en Macay en el año 2020, en un ecosistema similar. De esta manera, se compararon áreas quemadas con áreas no quemadas. Tres años después del incendio, los resultados muestran que la vegetación en las áreas quemadas se ha recuperado hasta un 78 % con relación a las áreas no quemadas (Roman et al., 2024).

3.3 Participación comunitaria

Los habitantes locales coinciden en que el tiempo necesario para la recuperación de los pastizales después de un incendio varía entre uno y cuatro años. También existe un consenso entre los entrevistados en que la quema mejora la fertilidad de los suelos no cultivados, lo cual es observable en el vigoroso rebrote de los pastizales una vez que las lluvias inician el proceso de crecimiento.

4. Discusión

Los resultados del estudio indican que, tras un incendio ocurrido en ecosistemas de pastizales, ciertas propiedades del suelo como la conductividad eléctrica, la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio presentan un ligero aumento estacional predominante, especialmente entre el inicio y la culminación de la temporada de lluvias. Este comportamiento puede explicarse por la presencia de cenizas o residuos de combustión que contienen compuestos alcalinos como carbonatos y óxidos, los cuales tienden a elevar el pH del suelo (Romanyà et al., 1994; Sánchez-García et al., 2023). Este aumento es consistente con estudios realizados por Huamán (2021), así como por Alva y Manosalva (2019), en el centro y norte del Perú sobre los efectos de incendios en el suelo.

Los cambios observados son más notorios en la capa superficial, en comparación con el nivel subsuperficial; sin embargo, estas alteraciones son temporales, ya que las sales que se han incorporado al suelo disminuyen rápidamente debido a las precipitaciones y escorrentías que se producen durante el periodo lluvioso (Patiño-Gutiérrez et al., 2024). La magnitud del impacto depende de factores como la intensidad, duración y frecuencia del fuego (Alcañiz et al., 2018; Fernández-García et al., 2019). En algunos casos, los incendios severos pueden reducir la materia orgánica con respecto a los valores iniciales y degradar el suelo (Novara et al., 2011). No obstante, en este estudio se encontró un incremento notable de materia orgánica que se mantuvo en niveles altos en las áreas quemadas en la zona superficial del suelo en las comunidades de Macay y Salloc. Este hallazgo sugiere que el desempeño de la producción de pastizales, en relación con su cantidad y calidad a lo largo del año, permitiría estimar las reservas de nitrógeno, fósforo y potasio (Mason & Zanner, 2005), dado que las condiciones óptimas de fertilidad del suelo suelen ser favorables para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas, y promueven una mayor productividad (Thompson et al., 1980).

No obstante, los pastizales o matorrales se describen como cargas de combustible de nivel bajo a moderado, inferior a la de otros tipos de incendios forestales (bosques con alta carga vegetal), lo que resultaría también en una afectación al suelo en nivel bajo a moderado (Sánchez-García et al., 2023). El uso del

fuego mediante la quema de manera controlada (baja severidad e intensidad) en ecosistema de pastizales puede servir para otros objetivos, como estimular la regeneración de especies vegetales, mantener su diversidad o como una herramienta para recuperar pastizales en tierras invadidas (Végvári et al., 2016; Alcañiz et al., 2018). Asimismo, la biomasa del pastizal posincendio, un año después, se redujo al 70-46 % en comparación con una zona no quemada. Los hallazgos de esta investigación sugieren que, tras tres años de ocurrido un incendio, la vegetación habría logrado recuperarse hasta aproximadamente el 78 %, en relación con una zona no afectada. Esta evidencia es consistente con la percepción local recogida en entrevistas, donde la población estima un periodo de recuperación total posincendio de entre uno y cuatro años.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que varias propiedades del suelo aumentaron su valor inicialmente tras el incendio. Sin embargo, estas mejoras fueron transitorias, ya que posteriormente se registró una reducción gradual de dichos valores, atribuida principalmente al efecto de la lluvia y la escorrentía, procesos que favorecen el proceso de lixiviación. Asimismo, la baja carga de combustible de los pastizales, así como la menor severidad de los incendios observada en los Andes peruanos, podrían haber facilitado la regeneración de otras especies herbáceas durante la temporada de lluvias en las zonas evaluadas. Finalmente, a partir de resultados basados en la evaluación de la biomasa de los pastizales y las entrevistas a la población local, se estima que la biomasa de los pastizales andinos podría recuperarse completamente en un periodo de hasta cuatro años después de un incendio.

Referencias

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., & Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33(5), 1419–1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Aguilar-Garavito, M., & Cortina-Segarra, J., (2023). The current fire regime in northern Andean shrublands hinders tree recruitment and arrests forest succession. *Forest Ecology and Management*. 532, 120818. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120818>

Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., & Úbeda, X. (2018). Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the Total Environment*, 613-614, 944–957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.144>

Alva, D. M., y Manosalva, H. I. (2019). *Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca*. (Tesis para optar por el título de Licenciado en Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú). <https://hdl.handle.net/11537/21088>

Álvarez, S. (2022). *Percepción frente a la ocurrencia de incendios forestales en los pobladores de la comunidad Chanka, Huanoquite – Paruro y del centro poblado Arín-Huarán, Calca – Calca*. (Tesis para optar el título profesional en Antropología, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7125>

Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., y Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>

Farfán Loaiza, R. D., y Farfán Tenicela, E. R. (2012). *Producción de pasturas cultivadas y manejo de pastos naturales altoandinos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - [INIA]. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/417>

Hofstede, R. G. M. (1995). The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands. *Plant and Soil*, 173(1), 111-132. <https://doi.org/10.1007/BF00155524>

Huamán, L. (2021). *Efecto de la quema en las propiedades físicoquímicas de un suelo agrícola en el distrito de Sincos, Jauja, 2018*. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú). <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11421>

Jentsch, A., Kreyling, J., Elmer, M., Gellesch, E., Glaser, B., Grant, K., Hein, R., Lara, M., Mirzae, H., Nadler, S.E., Nagy, L., Otieno, D., Pritsch, K., Rascher, U., Schädler, M., Schloter, M., Singh, B.K., Stadler, J., Walter, J., Wellstein, C., Wöllecke, J. & Beierkuhnlein, C. (2011). Climate extremes initiate ecosystem-regulating functions while maintaining productivity. *The Journal of Ecology*, 99(3), 689–702. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01817.x>

Key, C. y Benson, N. (2005). *Landscape Assessment (LA) Sampling and Analysis Methods*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, pp. 1–51.

Lavado-Casimiro, W., & Espinoza, J. C. (2014). Impactos de el niño y la niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorología*, 29(2), 171–182. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>

Mason, J. A., & Zanner, C. W. (2005). GRASSLAND SOILS. En D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 138-145). Elsevier. <https://doi.org/10.1201/NOE0849338304>

Muñoz, M.Á., & Faz, Á. (2014). Soil and vegetation seasonal changes in the grazing Andean Mountain grasslands. *Journal of Mountain Science*, 11(5), 1123–1137 <https://doi.org/10.1007/s11629-012-2401-y>

Novara, A., Gristina, L., Bodí, M. B., & Cerdà, A. (2011). The impact of fire on redistribution of soil organic matter on a Mediterranean hillslope under maquia vegetation type. *Land Degradation & Development*, 22(5), 530–536. <https://doi.org/10.1002/ldr.1027>

Osman, K.T. (2013) *Soils: Principles, Properties and Management*. Springer, Dordrecht. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2>

Roman, M., Zubieta, R., Ccanchi, Y., Martínez, A., Paucar, Y., Alvarez, S., Loayza, J., & Ayala, F. (2024). Seasonal Effects of Wildfires on the Physical and Chemical Properties of Soil in Andean Grassland Ecosystems in Cusco, Peru: Pending Challenges. *Fire (Basel, Switzerland)*, 7(7), 259. <https://doi.org/10.3390/fire7070259>

Romanyà, J., Khanna, P. K., & Raison, R. J. (1994). Effects of slash burning on soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus. *Forest Ecology and Management*, 65(2), 89–103. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90161-9](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90161-9)

Sánchez-García, C., Santín, C., Neris, J., Sigmund, G., Otero, X. L., Manley, J., González-Rodríguez, G., Belcher, C. M., Cerdà, A., Marcotte, A. L., Murphy, S. F., Rhoades, C. C., Sheridan, G., Strydom, T., Robichaud, P. R., & Doerr, S. H. (2023). Chemical characteristics of wildfire ash across the globe and their environmental and socio-economic implications. *Environment International*, 178, 108065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108065>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - [Serfor] (2018). *No quememos nuestro Futuro - Evitemos los Incendios Forestales*. <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/726>

Stavi, I., (2019). Wildfires in Grasslands and Shrublands: A Review of Impacts on Vegetation, Soil, Hydrology, and Geomorphology. *Water (Basel)*, 11(5), 1042. <https://doi.org/10.3390/w11051042>

Thompson, L. M., Tomás, J. P., & Troeh, F. R. (1980). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté.

Végyvári, Z., Valkó, O., Balázs, D., Török, P., Konyhás, S., & Tóthmérész, B. (2016). Effects of Land Use and Wildfires on the Habitat Selection of Great Bustard (*Otis tarda* L.)—Implications for Species Conservation. *Land Degradation & Development*, 27(4), 910–918. <https://doi.org/10.1002/ldr.2495>

White, T. A., Campbell, B. D., Kemp, P. D., & Hunt, C. L. (2000) Sensitivity of three grassland communities to simulated extreme temperature and rainfall events. *Global Change Biology*, 6(6), 671–684. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00344.x>

Wilcox, B. (1984). The puna--high elevation grassland of the Andes. *Rangelands Archives*, 6(3), 99-101. <http://hdl.handle.net/10150/638504>

Wurzinger, M., & Gutiérrez, G., (2022). Alpaca breeding in Perú: From individual initiatives towards a national breeding programme? *Small Ruminant Research*, 217, 106844. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106844>

Zubieta, R., Prudencio, F., Ccanchi Y., Saavedra M., Sulca J., Reupo J., Alarco G. (2021). Potential conditions for fire occurrence in vegetation in the Peruvian Andes. *International Journal of Wildland Fire*, 30(11), 836-849. <https://doi.org/10.1071/WF21029>