

UCUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de los efectos de un incendio en las propiedades hidrofísico-químicas del suelo y biomasa vegetal en una zona de páramo en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas

Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Juan Carlos Cáceres Lazo

CI: 010536457-4

Correo electrónico: caceresjuan44@gmail.com

Director:

Ing. Agr. Pablo Geovanny Quichimbo Miguitama PhD.

CI: 010475037-7

Cuenca, Ecuador

24 - noviembre - 2022.

Resumen

La información de los incendios en los Andes tropicales ecuatorianos contribuye al manejo, conservación y restauración de zonas post-incendio, de manera especial en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas. Los incendios de vegetación son fenómenos comunes en varios ecosistemas; ligados al desarrollo de la población rural y al crecimiento poblacional, considerados como un componente natural e inclusive hasta necesarios dentro de la ecología de ciertos ecosistemas; sin embargo, en los Andes, los ecosistemas son modificados por los disturbios antropogénicos repetitivos. En Ecuador entre los meses de julio y septiembre del año 2019 los incendios de coberturas vegetales consumieron 16126,92 ha en 1503 eventos documentados. En la provincia del Azuay en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas, sector laguna “Dos Chorreras”, el día 2 de octubre del 2019 ocurrió un incendio que afectó una zona de pajonal de 39,2 ha, que constituyó el área de estudio, en la cual se evaluaron los impactos del incendio en las propiedades hidrofísico-químicas del suelo y de la biomasa vegetal por medio del estudio de dos transectos: Transecto 1 (T1): área afectada por el incendio y Transecto 2 (T2): área no afectada por el incendio. En los transectos se tomaron muestras de suelos y de la vegetación aérea que sirvieron para determinar las siguientes propiedades: punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, contenido de carbono orgánico del suelo y biomasa vegetal aérea, existiendo una heterogeneidad significativa en los parámetros estudiados. Estas propiedades constituyeron la información primaria que sirvió para la evaluación del efecto del incendio en el área de estudio. Finalmente, este trabajo es línea base para continuar ampliando el marco temporal del estudio de los impactos de los incendios en los suelos y vegetación del área de estudio y así mejorar el entendimiento de tales impactos a largo plazo en zonas de páramo.

Palabras claves: Vegetación nativa. Pajonal. Carbono orgánico del suelo. Quemadas.

Abstract

The information on fires in the Ecuadorian tropical Andes contributes to the management, conservation and post-fire restoration of zones, in particular in the buffer zones of the National Park Cajas. Vegetation fires are a common phenomenon in several ecosystems; this being linked to the development of the rural population and population growth, sometimes considered as a natural component and even necessary within the ecology of certain ecosystems. However, in the Andes, ecosystems are modified by repetitive anthropogenic disturbances, in Ecuador between the months of July and September of 2019 the fires consumed 16126,92 ha in 1503 documented events. In the province of Azuay in the buffer zone of the National Park Cajas, within the lagoon sector "Dos Chorreras", on October 2, 2019, a fire occurred affecting a grassland area of 39,2 ha, which in turn constituted the study area of the research. Within this sector the impacts of the fire on the hydrophysical-chemical properties of the soil and plant biomass were evaluated by means of the study of two transects: Transect 1 (T1): area affected by the fire and Transect 2 (T2): area not affected by the fire. Soil samples were taken from the transects and from the aerial part of the vegetation, which were used to determine the following properties: saturation point, field capacity, permanent wilting point, bulk density, pH, electrical conductivity, soil organic carbon content and aerial plant biomass, with significant heterogeneity in the parameters studied. These properties constituted the primary information that served for the evaluation of the effect of the fire in the study area. Finally, this work can serve as a baseline to expand the time frame of the study of the impacts of fires on the soils and vegetation of the study area and thus improve the understanding of such long-term impacts in paramo areas.

Keywords: Native vegetation. Grassland. Soil organic carbon. Burn.

UCUENCA

Índice general

1. Introducción	13
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Revisión bibliográfica.....	14
3.1. Los incendios de la vegetación.....	14
3.2. Importancia de los páramos	15
3.3. Los suelos de páramo y los impactos de los incendios.....	16
3.4. Carbono en el suelo	18
3.5. Biomasa área	18
4. Materiales y métodos.....	20
4.2. Información general del incendio en el área de estudio	22
4.3. Materiales y equipos	22
4.4. Establecimiento de transectos y diseño de muestreo.....	22
4.5. Muestreos y análisis de laboratorio	23
4.6. Análisis de datos.....	24
5. Resultados y discusión.....	24
5.1. Evaluación de las propiedades del suelo.....	24
5.1.1. Propiedades hidrofísicas.....	25
5.1.2. Propiedades químicas.....	26
5.2. Evaluación de la biomasa vegetal.....	27
6. Conclusiones	28
7. Recomendaciones	28
Bibliografía	29
ANEXOS	38

UCUENCA

Lista de figuras

Figura 1	16
<i>Zona de páramo afectada por el incendio en el área de estudio</i>	16
Figura 2	20
<i>Ubicación del área de estudio</i>	20
Figura 3	22
<i>Zona afectada por el incendio ocurrido en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional</i> <i>Cajas</i>	22
Figura 4	23
<i>Esquema de muestreo en el área de estudio</i>	23

UCUENCA

Lista de tablas

Tabla 1	24
<i>Parámetros y métodos de análisis</i>	24
Tabla 2	25
<i>Propiedades hidrofísicas del área de estudio</i>	25
Tabla 3	26
<i>Propiedades químicas del área de estudio</i>	26
Tabla 4	27
<i>Emisiones de CO₂ y velocidad de consumo de la biomasa aérea</i>	27
Tabla 5	27
<i>Biomasa aérea vegetal del área de estudio</i>	28

UCUENCA

Lista de ANEXOS

ANEXO A. Resultados de laboratorio	38
ANEXO B. Delimitación del área afectada por el incendio	39
ANEXO C. Fichas de laboratorio	40
ANEXO D. Comparación de las propiedades de estudio	41
ANEXO E. Operacionalización de las variables.....	47
ANEXO F. Fotografías de las actividades desarrolladas en esta tesis	48

UCUENCA

Abreviaturas y simbología

BA: biomasa aérea vegetal

BAS: biomasa aérea vegetal desecada

Bm: bosque montano

CBA: carbono contenido en la biomasa vegetal seca

CC: capacidad de campo

CE: conductividad eléctrica

COS: carbono orgánico del suelo

Da: densidad aparente

Gt: gigatonelada

Lb: ladera baja

Lm: ladera media

m s. m. m.: metros sobre el nivel del mar

Max: valor máximo

Min: valor mínimo

MOS: materia orgánica del suelo

P3500: pajonal a 3500 m s.n.m.

P3700: pajona a 3700 m s.n.m.

pH: potencial hidrogeno del suelo

PNC: Parque Nacional Cajas

PS: punto de saturación

Psm: pasto sin manejo

Qq: Quimsacocha quemado

Qsq: Quimsacocha sin quema

SD: desviación estándar

T1: Transecto 1

T2: Transecto 2

UTM: Universal Transversal de Mercator

ZA: zona de amortiguamiento

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Juan Carlos Cáceres Lazo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Evaluación de los efectos de un incendio en las propiedades hidrofísico-químicas del suelo y biomasa vegetal en una zona de páramo en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 24 de noviembre del 2022.



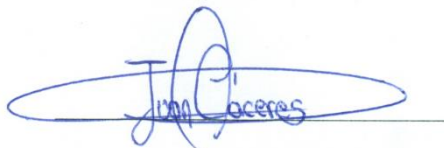
Juan Carlos Cáceres Lazo

C.I: 010536457-4

Cláusula de Propiedad Intelectual

Juan Carlos Cáceres Lazo, autor del trabajo de titulación “Evaluación de los efectos de un incendio en las propiedades hidrofísico-químicas del suelo y biomasa vegetal en una zona de páramo en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 24 de noviembre del 2022.



Juan Carlos Cáceres Lazo

C.I: 010536457-4

Dedicatoria:

A la memoria de mi padre Juan D. Cáceres Lucero y a mi madre Martha B. Lazo Once.

A mi familia, hermanas (os), amigas (os) y conocidas (os).

Testigos son las piedras del camino...

A mi pueblo indígena e indio.

Agradecimientos:

A la doctora (es), Ximena Palomeque, Guillermo Guevara, Fernando Bermúdez, Pablo Quichimbo y David Rivas, por sus comentarios y asistencia para el desarrollo de esta tesis.

A ETAPA EP, por la apertura del espacio en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas y el oportuno transporte y a los contactos interinstitucionales Pedro Cisneros, Mario Gualpa y Franklin Marín.

A los docentes y autoridades de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la U. de Cuenca por compartir sus habilidades y experiencia para mi formación académica.

A los laboratorios de Suelos I y II de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U. de Cuenca.

Con mucho cariño el autor.

1. Introducción

En la actualidad los incendios son fenómenos comunes en varios ecosistemas (Armenteras et al., 2020; Bilbao et al., 2020); ligados al desarrollo de la población rural y al crecimiento poblacional, considerados como un componente natural e inclusive hasta necesarios dentro de la ecología de ciertos ecosistemas, como es el caso de los ecosistemas forestales. Es importante destacar que, en los Andes, los ecosistemas son modificados por las actividades antrópicas, entre ellas las quemadas (Camacho, 2013; Sánchez et al., 2008). El fuego generado en los incendios puede ser altamente destructivo dependiendo de la escala, la severidad e intensidad con los que suceden (Alcañiz et al., 2018). Los incendios de la vegetación son fenómenos alimentados por diferentes factores entre ellos el tipo de cobertura vegetal, los fuertes vientos típicos de la región andina tropical y comúnmente son originados por el hombre (Dhall, 2020; Úbeda & Palacios, 2008).

En Ecuador los incendios suscitados entre los meses de julio y septiembre de 2019 consumieron 16126,92 ha de cobertura vegetal en 1503 eventos documentados, correspondiéndole a la provincia del Azuay 104 incidentes con 254,11 ha de cobertura vegetal afectada por el fuego (SNGRE, 2019), la incidencia de los incendios en el año 2021 en los meses de julio a octubre evidencia la pérdida de 3520,45 hectáreas de cobertura vegetal, en 600 eventos registrados (SNGRE, 2021). Una de las zonas más vulnerables a los incendios son los páramos debido a que el fuego genera cambios en los suelos y en la biomasa aérea (Torres et al., 2014; García et al., 2012; Quichimbo et al., 2012), alteran el ciclo global del carbono (Orellana et al., 2011); y producen también una disminución de nichos necesarios para su sostenibilidad ambiental modificando la distribución espacial y la densidad de las especies vegetales que habitan estos lugares (Rosero & Osorio, 2013).

La presente investigación trata de los impactos sobre el suelo causados por el incendio sucedido en octubre de 2019 en una ladera que pertenece a la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas perteneciente a la provincia del Azuay (ETAPA EP, 2019), centrándose principalmente en el efecto del fuego sobre algunas propiedades hidrofísicas, químicas, carbono edáfico y biomasa aérea. El conocimiento generado sobre tales impactos antrópicos ayuda a entender mejor a estos fenómenos catastróficos y sus impactos generados en el ecosistema de páramo, igualmente se espera que promueva el desarrollo de una investigación más profunda a mayor escala tanto temporal como espacial en las zonas de páramo. A partir de lo descrito acerca de este trabajo de titulación se estableció una pregunta de investigación: ¿Es significativo el cambio en las propiedades hidrofísicas y químicas, contenido de carbono orgánico del suelo y biomasa aérea vegetal, luego de un incendio de ecosistema de páramo en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas? Esta pregunta tiene el fin de establecer si existe una diferencia significativa entre los transectos de estudio.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar los impactos en las propiedades hidrofísico-químicas del suelo y de biomasa vegetal aérea posterior a un incendio en una zona de ecosistema de páramo en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas.

2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar los cambios en las propiedades hidrofísicas (punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente) y químicas (pH, conductividad eléctrica y contenido de carbono) del suelo posterior a un incendio sucedido en octubre de 2019 en una zona de páramo localizada en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas.

2. Evaluar el efecto del incendio sucedido en octubre de 2019 en la biomasa vegetal aérea en el área de estudio.

3. Revisión bibliográfica

3.1. Los incendios de la vegetación

El término incendio de la vegetación puede referirse a varios tipos de vegetación ya sea bosques, cultivos, matorrales, pastos, etcétera (Bowman et al., 2020). Los incendios de la vegetación son un fenómeno global que ocurre en regiones tropicales templadas y boreales (González et al., 2004). A los incendios se los ha clasificado generalmente en su más amplio sentido como prescritos y no prescritos, los primeros son practicados con una finalidad específica, por ejemplo, para facilitar la germinación y crecimiento de especies deseadas (Certini, 2005), mientras que los no prescritos son de ocurrencia natural en ciertos lugares como es el caso de los ecosistemas forestales (Camacho, 2013); sin embargo es difícil la separación de la influencia humana para ambos tipos de incendios (Jaffe et al., 2020).

Por otro lado, las actividades antrópicas desarrolladas en la cordillera de los Andes han modificado la cobertura vegetal y los suelos, entre tales actividades están: los incendios (Llambí, 2015). Así los incendios, aunque bajo ciertas situaciones y ambientes, son considerados como uno de los principales impulsores naturales de la estructura y función de ciertos ecosistemas (Augustine et al., 2014), para el caso de los Andes se constituyen en disturbios antropogénicos repetitivos (Keating, 2007).

Los ecosistemas tropicales albergan una gran parte de la biodiversidad mundial (ETAPA EP, 2011), sin embargo, se están transformando a un ritmo sin precedentes debido a los cambios en el uso de la tierra (Romero et al., 2010). En los Andes tropicales, la conversión de la cobertura terrestre y el mantenimiento de pastos y áreas agrícolas están fuertemente relacionados con el uso del fuego y en muchas ocasiones los agricultores mencionan que ellos recurren a los incendios como una herramienta efectiva para despejar el suelo y después realizar sus actividades agrícolas y agropecuarias (Matson & Bart, 2013).

UCUENCA

La frecuencia y severidad de los incendios se constituye en un problema cada vez más difícil de afrontar, en este contexto, la frecuencia de eventos de incendios en los últimos años es alarmante, el análisis comparativo de los incendios sucedidos entre los años 2019 y 2020 a escala mundial, reveló que, el número de alertas de incendios en todo el mundo aumentó en un 13% en comparación al 2019. En la Amazonía latinoamericana, los datos más recientes muestran que los incendios del año 2020 superan en un 45 % al promedio de los últimos diez años (WWF, 2020).

Los impactos de los incendios en los ecosistemas naturales de Colombia, Ecuador y Perú son múltiples y varían en magnitud y brindan una idea de sus patrones espaciales y temporales de los efectos sobre los ecosistemas y de la dinámica post-incendio para la región andino-tropical (Armenteras et al., 2020). En el Ecuador, las cifras del año 2019 entre los meses de julio hasta la fecha de publicación en septiembre, mencionan que los incendios de coberturas vegetales cubrieron una área de 16126,92 ha, afectando a 21 provincias; en el Azuay se registró 104 incidentes con una área de cobertura vegetal afectada de 254,11 ha (SNGRE, 2019). En el año 2020, el SNGRE (sistema nacional de gestión de riesgos y emergencias del Ecuador) – en su informe del mes de noviembre –, menciona que los incendios han ocasionado la pérdida de 23855,54 hectáreas de cobertura vegetal, en 2032 eventos registrándose desde enero hasta la fecha de publicación. Las provincias que reportan la mayor afectación por incendios de vegetación son: Loja, Pichincha, Chimborazo, Guayas, Imbabura y Azuay registra en este periodo un total de 394 eventos documentados con un área devastada por el fuego de 2443,29 hectáreas. Sin embargo, no existe cifras oficiales sobre las áreas de páramo afectadas por incendios en el Ecuador y el conocimiento de los efectos de los incendios sobre los suelos de páramo todavía es muy escaso, particularmente para zonas protegidas en el sur del Ecuador, tal como es el caso del Parque Nacional Cajas y sus áreas de amortiguamiento.

3.2. Importancia de los páramos

Se encuentran en las altas montañas tropicales (Beltrán et al., 2009), a pesar de su topografía irregular y las condiciones climáticas son espacios geográficos favorables para nichos ecológicos únicos en el mundo (Giné & Sánchez, 2015).

Los páramos húmedos presentan un amplio rango de precipitación anual que puede ir desde 600 mm (páramos secos) hasta los 4000 mm en los páramos húmedos (Buytaert et al., 2007). Los ecosistemas de páramo (Figura 1) presentan una serie de cuerpos de agua superficiales tales como: turberas, lagunas y otros humedales (Llambí et al., 2012), formando zonas de recarga hídrica, también cumplen funciones ecológicas y económicas, *por ejemplo*, mantienen caudales mínimos ecológicos, provisión de agua para consumo humano, agricultura, la regulación de la humedad relativa y la generación de diferencia de potencial hidroeléctrico (Ministerio del ambiente, 2009).

Figura 1

Zona de páramo afectada por el incendio en el área de estudio



Nota. Zona del incendio desarrollado en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas adyacente a la laguna Dos Chorreras, la fecha de captura de la imagen fue el 5 de julio del 2021, (el incendio se desarrolló el 2 de octubre del 2019). Fuente: J Cáceres.

La biodiversidad del ecosistema de páramo ecuatoriano es alta en comparación con otros ecosistemas de alta montaña (Vásconez, 2010), este ecosistema cubre alrededor de 1250000 ha, es decir cerca del 6 % del territorio nacional, la vegetación circundante de estos lugares se puede describir como principalmente abierta, dominada por gramíneas, hierbas y arbustos (Vásconez & Hofstede, 2006). Los páramos tienen un importante valor científico y ecológico por su flora endémica, nativa y por formar parte del ciclo global del carbono, es decir, tienen una función ecológica (MAE, 2018; López, 2016). La biodiversidad asociada a estos ecosistemas se debe a tres razones básicas, la primera situación es la ubicación tropical del país, la segunda es el efecto de la cordillera de los Andes y la tercera es la presencia de las corrientes marinas frías y cálidas frente a las costas (Bravo, 2014). La vegetación del páramo es base para la regulación hídrica y su pérdida por efecto de las quemas evidencia cambios en el suelo a largo y corto plazo mientras esta se recupera.

3.3. Los suelos de páramo y los impactos de los incendios

Los suelos de páramo de los Andes son una muestra de suelos alpino-tropicales y existen diferentes tipos de suelos de páramo desarrollados en esta región, siendo el Andosol el tipo de suelo más extendido (Podwojewski & Poulénard 2006), también se puede encontrar Histosol, Leptosol y Regosol (Buytaert et al., 2011; Buytaert et al., 2007).

UCUENCA

Los suelos dominantes de los páramos del Ecuador (Andosol) muestran una variación a lo largo de la serranía ecuatoriana, así en el norte son suelos más recientes debido a la actividad volcánica, mientras que los del sur son suelos más desarrollados acumulando mayor contenido materia orgánica y de pH más ácido (Buytaert et al., 2011). Entre las afectaciones al suelo las actividades antrópicas marcan en grado mayor la variación del suelo en el tiempo (Birkeland, 1999); las quemadas de la vegetación, el establecimiento de zonas agrícolas y ganaderas son las principales actividades antrópicas desarrolladas en los Andes.

Particularmente en el caso de las quemadas, Sarango et al. (2019) señalan que, el efecto del fuego en el suelo bajo pajonal se vislumbra principalmente en las propiedades hidrofísicas, se atribuye que las unidades de los valores de retención de humedad se involucran directamente con las actividades antrópicas en los Andes tropicales del PNC (Ramírez & Cisneros, 2015). Por ejemplo, en el estudio de Quichimbo et al. (2012) describen, para una zona de páramo afectada por incendios en el sur del Ecuador, un aumento de los valores de la humedad de saturación y capacidad de campo, mientras que una reducción para los valores de punto de marchitez y densidad aparente, señalando la vulnerabilidad de su capacidad de retención de humedad de estos suelos ante eventos de este tipo.

Esto ha motivado a profundizar el análisis del comportamiento de las propiedades del suelo en otros escenarios como es la ZA del PNC bajo las mismas circunstancias (quemada de pajonal). En relación a las propiedades químicas como: pH, conductividad eléctrica y contenido de carbono, estudios desarrollados en incendios de diferentes tipos de vegetación evidencian un incremento del pH del suelo y de la conductividad eléctrica debido sobre todo a la oxidación de la materia orgánica y liberación de cationes durante los incendios, en el sur del Ecuador en el páramo de Quimsacocha, Quichimbo et al. (2012) señalan un ligero cambio de pH (suelo con pajonal: 4,89; suelo con pajonal quemado: 5,25) en suelos Andosol y el aumento de la conductividad eléctrica bajo la comparación de suelos de zonas de pajonal y pajonal quemado, sin embargo, el contenido de materia orgánica aumentó. Posiblemente, el efecto del tiempo de transcurrido el incendio es un factor determinante, pero no abordado en tal estudio, esto da cuenta de la necesidad de tener estudios en donde al menos se tenga una referencia del tiempo transcurrido después de los incendios en relación a los efectos en las propiedades de los suelos. Esto evidencia la necesidad de contar con estudios referenciales en relación al tiempo transcurrido tras el evento de incendio, la cantidad de biomasa vegetal aérea es importante, se da el caso que el consumo de la materia vegetal por el fuego genera cambios en las propiedades de los suelos en el ecosistemas de páramo.

3.4. Carbono en el suelo

Los reportes de carbono almacenado en Ecuador en los estudios de Bertzky et al. (2010) se estima que, 5,2 gigatoneladas (Gt) de carbono se almacenan en la biomasa y en los suelos, 3,6 Gt en los suelos y 1,63 Gt en la biomasa. Alrededor del 58% del carbono presente en la biomasa se halla en la región amazónica, el 28% en la región andina y el 13% en la costa ecuatoriana. Los contenidos de carbono del suelo en el ecosistema de páramo, que predominantemente hace referencia a la cantidad total de carbono orgánico acumulado en el suelo en una unidad de tiempo (Chave et al., 2005), y que es un indicador de la calidad del mismo, en consecuencia su variación puede tener implicaciones en procesos como la fertilidad del suelo, la erosión y el flujos de gases de efecto invernadero (Stolbovoy et al., 2007).

En el ecosistema de páramo la profundidad del suelo es el primer implicado en el contenido de carbono almacenado, se puede expresar en unidades de masa de carbono orgánico por unidad de área, pudiendo encontrar valores muy altos en las turberas, *por ejemplo*, a una profundidad de 0 a 600 cm los valores de carbono orgánico pueden alcanzar un promedio de 1573 Mg ha⁻¹, los valores más elevados de carbono orgánico en el suelo se debe a la mayor protección de la superficie del suelo proporcionado por el tipo de cobertura vegetal, el origen volcánico de los suelos y la densidad aparente del suelo asociado (Urgiles et al., 2018). Sin embargo, estudios extensivos han demostrado que el efecto del fuego luego de un incendio afecta principalmente a la parte superior del horizonte superficial orgánico del páramo, a la cantidad de carbono orgánico superficial (Alcañiz et al., 2018), y a la vegetación aérea (Farley & Kelly, 2004). El carbono orgánico perdido tras el incendio es difícil de recuperar a los 18 meses luego de sucedido el acontecimiento, por lo que da a entender que la movilización del carbono a la atmósfera es fundamental para generar planes de mitigación frente a los incendios.

3.5. Biomasa área

Se considera que la mayoría de especies vegetales están integradas por 50% carbono y en espacios abiertos dominados por herbáceas la incineración del material vegetal podría inferir en el contenido de carbono de la biomasa (Rodríguez et al., 2010; Guo & Gifford, 2002). En zonas de alta montaña la biomasa puede tener cambios abruptos por el efecto del fuego, este cambio se relaciona con cambios altitudinales y se involucra directamente al viento, la topografía, la temperatura, la precipitación, el material vegetal dominante del lugar y la forma de vida de las especies vegetales que expresan su potencial genético según el piso climático y sus componentes edáficos (Urgiles et al., 2018), pero también por las afecciones antrópicas como es el caso de los incendios provocados.

La biomasa aérea en el ecosistema de páramo disminuye por efecto de los incendios (Alban & Granda, 2013), provocando alteraciones en los patrones fenológicos y fisiológicos de las especies vegetales que habitan el lugar (Shakesby et al., 2015), viéndose afectado directamente la distribución espacial de las especies vegetales, además incrementando las tasas de extinción local (Betancourt et al., 2006).

Las actividades antrópicas (la agricultura intensiva, la deforestación, expansión urbana y la expansión de la red vial) son impulsores de los incendios en el ecosistema de páramo (Hofstede, 2002; García et al., 2012); las razones que fomentan los incendios en los ecosistemas son varias (González & Almendros, 2011), por ejemplo, quitar la paja muerta para promover brotes nuevos para el ganado o para establecer cultivos.

La vegetación de páramo presenta un grado de resiliencia a los incendios, pero esto depende de que tan profunda fue la exposición de las especies vegetales al fuego ya que la afección física y fisiológica de las plantas depende del tiempo de acción del fuego (Hofstede, 2002; Fehse et al., 2002), Marchán & Gutiérrez (2016) mencionan que, *Calamagrotis sp.* y *Puya hanata* son indicadores de la historia del desarrollo del fuego y su rebrote depende de la intensidad de la afección. La productividad de la vegetación, tiende a decrecer después de la presencia de fuego (Carballas et al., 2012), debido a que los puntos de crecimiento de las especies vegetales están expuestos a condiciones de temperatura extrema (Hofstede et al., 2014), también la vegetación tolerante a incendios no crece más rápido después del suceso, dado a que no existe un efecto de fertilización total por las cenizas vegetales generadas en los incendios (Cerdá & Doerr, 2008), ya que la mayoría de cenizas concebidas después de las quemaduras son depositadas en otros sitios por efecto de los fuertes vientos de las cordilleras de los Andes (Hofstede et al., 2003; Espinosa & Sanabria, 2016). Por lo que puede cambiar no solo las propiedades químicas de los sitios quemados, sino influir en el lugar de la deposición final de las partículas transportadas.

Aunque el estudio del crecimiento vegetal después de incendios de vegetación en zonas de páramo ha sido estudiado, por ejemplo, mediante de la caracterización de etapas de sucesión ecológica (Zomer & Ramsay, 2020), no existen reportes sobre la cantidad de biomasa aérea total después de un periodo de tiempo determinado en las zona de amortiguamiento (ZA) del Parque Nacional Cajas (PNC), el presente estudio genera un aporte sustancial para la evaluación del efecto del fuego en las propiedades del suelo y en la cobertura vegetal, que podría servir como un indicador de regeneración pos-incendios de la vegetación e información de las propiedades del suelo luego del acontecimiento, al menos en las etapas tempranas para la región andino tropical de la ZA del PNC.

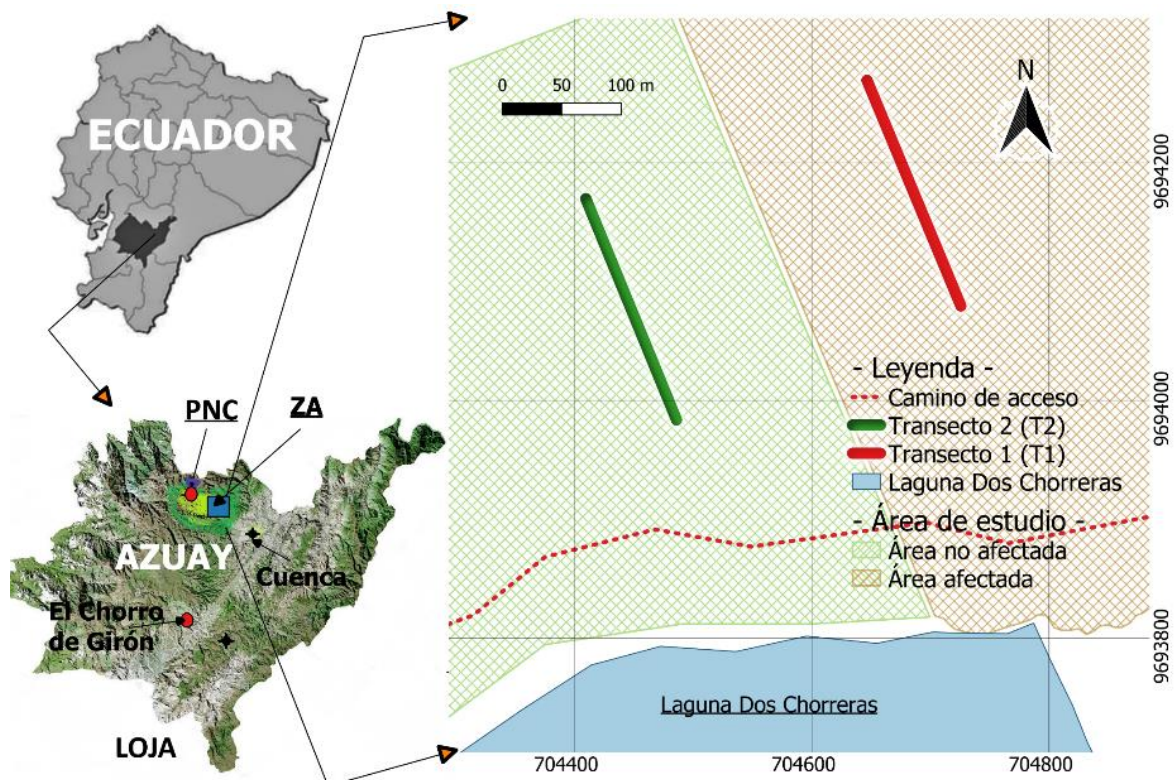
4. Materiales y métodos

4.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en una ladera cerca de la laguna Dos Chorreras en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas (PNC), está en la subcuenca hidrográfica Tomebamba perteneciente a la parroquia Sayausí y dista 32 km de la ciudad de Cuenca (Figura 2). Se localiza a una altitud de 3693 m s.n.m., con las siguientes las coordenadas X: 704231 m. Y: 9693491 m. WGS84-17 sur (ETAPA EP, 2017). El PNC y sus áreas de amortiguamiento se rodean de áreas de bosques y vegetación protectora. Al norte y occidente, limita con el sistema de bosques Molleturo-Mollepongo y el bosque Quinoas-Migüir, al oriente se rodea por los bosques protectores de la cuenca del río Paute (Machángara-Tomebamba, Guabidula, Dudahuayco, Mazán, Yunguilla); al sur el Parque limita con el bosque protector Yanuncay-Irquis (ETAPA EP, 2019; Ministerio del Ambiente, 2009).

Figura 2

Ubicación del área de estudio



Nota. PNC: Parque Nacional Cajas; ZA: zona de amortiguamiento del PNC. El área afectada en la cuenca hidrográfica Tomebamba podemos observar en el ANEXO B. Fuente: J. Cáceres.

El promedio mensual de temperatura es de 5,78 °C (Ministerio del ambiente, 2015), el promedio anual de lluvia es de 1111 mm y la radiación alcanza valores de 2,83 MJ m⁻² (Montenegro, 2015), el área de estudio presenta una pendiente mínima de 57 % y pendiente máxima 88 % (50 % de pendiente equivale a 22,5 grados de pendiente).

El lugar de estudio está constituido en gran parte por las familias botánicas *Poaceae*, *Asteraceae* y formando asociaciones con varias especies, entre las especies más notorias del PNC y las zonas de amortiguamiento de los Andes tenemos a: (*Calamagrostis intermedia* (J. Presl) Steud.; *Paspalum bonplandianum* Fluggé; *Neurolepis villosa* L. G. Clark; *Polylepis reticulata* Kunth; *Lachemilla orbiculata* (Ruiz & Pav.) Rydb.; *Puya clava-herculis* Mez & Sodiro; *Eryngium humile* Cav.; *Dorobaea pimpinellifolia* (Kunth) B. Nord.; *Hieracium frigidum* Wedd.; *Pentacalia arbutifolia* (Kunth) Cuatrec.; *Equisetum bogotense* Kunth; *Myriophyllum quitense* Kunth; *Plantago australis* Lam.; *Castilleja fissifolia* L. F.; *Plantago rigida* Kunth; *Bartsia laticrenata* Benth.; *Gentiana sedifolia* Kunth; *Geranium multipartitum* Benth; *Chuquiraga jussieui* J. F. Gmelin; *Gentianella hyssopofila* (Kunth) Fabris; *Gentianella hirculus* (Griseb.) Fabris; *Baccharis genistelloides* (Lam.) Pers.) (ETAPA EP, 2012; Ministerio del Ambiente, 2009).

Las familias botánicas documentadas por ETAPA EP (2011) en el PNC y sus zonas de amortiguamiento son: *Asteraceae* (101 especies), *Orchidaceae* (92), *Poaceae* (61), *Cyperaceae* (31), *Lycopodiaceae* (24) y *Melastomataceae* (21). Esta composición obedece a elementos florísticos de bosque montano tropical andino.

Cerca del 74% de los suelos del PNC son Andosol (Bucheli & Castro, 2014). El origen de la roca del PNC es de la era mesozoica y se dio origen hace 120 y 200 millones de años estos territorios del litoral de la región andina por lo general las estribaciones de la cordillera se caracterizan por ser sedimentarios y con presencia de rocas ígneas. El clima frío y húmedo favorece la acumulación de carbono orgánico en el suelo, la ceniza proveniente de los volcanes del norte del Ecuador le otorga características únicas al ecosistema páramo (Buytaert, 2007).

Las principales formaciones de la región de los Andes ecuatorianos son las siguientes: Terrazas (Holoceno), suelos compuestos de material grueso de origen volcánico proveniente de las partes altas de la cordillera Occidental; depósitos Coluviales y Aluviales (Holoceno), se encuentran en las laderas de los valles estando en formación hasta los actuales días; en las partes altas y a lo largo de la cordillera occidental, nos encontramos con los Cajones Glaciàricos o Cajas, las glaciaciones cuaternarias afectaron toda la región interandina y sus efectos son todavía observables en campo, además, la estructura de los suelos del PNC son granulares y su textura puede variar entre franco, franco limoso, franco arcilloso y combinar en diferente grado limo y arcilla (ETAPA EP, 2011).

UCUENCA

4.2. Información general del incendio en el área de estudio

En la zona de amortiguamiento del PNC el día 2 de octubre del año 2019, en la subcuenca del río Tomebamba perteneciente a la parroquia Sayausí, se visualizó humo producto de un incendio de páramo, el fuego consumió 39,2 hectáreas de páramo. En el lugar de estudio el fuego actuó durante ocho horas con treinta minutos, el combate del incendio inicio a las 01:00 p.m., prolongándose hasta las 08:30 p.m. De acuerdo a ETAPA EP (2019), los causantes del incendio serían personas de la parroquia de Sayausí, quienes en estos últimos años mantienen caballos en pastoreo alrededor de la laguna Dos Chorreras.

Figura 3

Zona afectada por el incendio ocurrido en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas



a. Consumo total de la cobertura vegetal

b. Crecimiento normal del pajonal

Nota. Consumo total de la cobertura vegetal en octubre del 2019 en el grafico “a”; desarrollo y crecimiento normal del pajonal en el área no quemada en el área de estudio grafico “b”. Fuente: J. Cáceres.

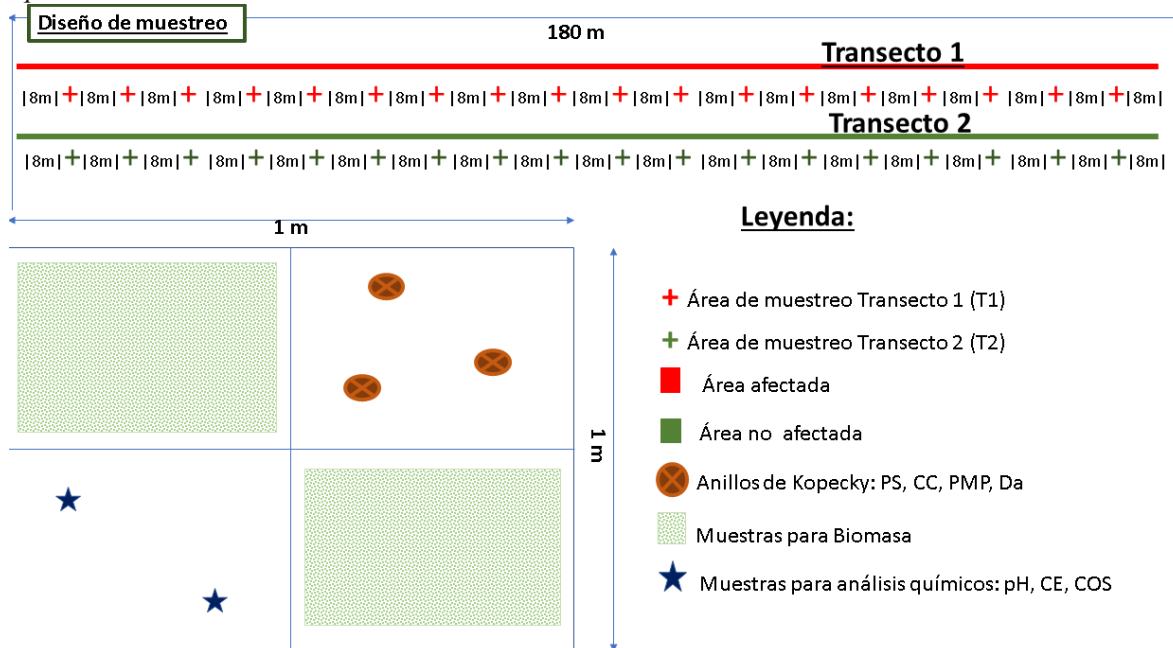
4.3. Materiales y equipos

En el trabajo de campo se usó herramientas básicas de muestreo (estacas, piola, pala, tijera de podar, martillo, cuchillo, cinta métrica, fundas plásticas, balanza, cuadro de madera, cartulina, estilete, cinta masking y anillos de Kopecky con su respectivo muestreador), mientras que para las determinaciones de laboratorio se las realizó con el equipamiento e instrumentación del laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca (equipos como extractores de humedad a base de succión y de presión, balanzas, pH-metro, estufa entre los más importantes).

4.4. Establecimiento de transectos y diseño de muestreo

Se establecieron dos transectos: el Transecto 1 (T1) localizado en el área afectada por el incendio y el Transecto 2 (T2) en el área no afectada (Figura 3). Los transectos tienen características semejantes en relación al tipo de vegetación y topografía y una longitud de 180 metros cada uno. A lo largo de los transectos se aplicó un muestreo sistemático, para lo cual se instalaron 18 parcelas de 1 m x 1 m con el fin de tomar muestras de suelos y de la vegetación (parte aérea); la distancia entre cada parcela muestral es de 8 metros (Figura 4).

Figura 4
Esquema de muestreo en el área de estudio



Nota. CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; PS: punto de saturación; Da: densidad aparente; CE: conductividad eléctrica; COS: carbono orgánico del suelo. Fuente: J. Cáceres.

4.5. Muestreos y análisis de laboratorio

El muestreo de suelos, vegetación y sus respectivos análisis de laboratorio se lo realizó a inicios de junio de 2021 y se culminó a inicios de noviembre del mismo año (ANEXO A y F). En cada una de las parcelas se tomó muestras de suelo, tanto alteradas como inalteradas a 10 cm profundidad.

Las muestras de suelos alteradas se usaron para la determinación de las propiedades químicas, mientras que las inalteradas – tomadas por medio de anillos de Kopecky –, sirvieron para las propiedades hidrofísicas (Tabla 1) y se tomó de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 4. Las propiedades del suelo evaluadas fueron:

Propiedades hidrofísicas: punto de saturación (PS), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da).

Propiedades químicas: pH, conductividad eléctrica (CE) y contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) a partir de la materia orgánica (MOS).

La biomasa aérea vegetal fue determinada en base a una muestra compuesta formada por dos submuestras que resultaron de dos cuadrantes de la parcela de muestreo de suelos (Figura 4). En laboratorio, la materia vegetal seca (BAS) se determinó por gravimetría, secando el material en una estufa a 60 °C por 48 horas o hasta alcanzar un peso constante (Trillo et al., 2020). Adicionalmente se determinó el contenido de carbono del suelo (COS) a partir de la MOS por medio del método de ignición (Konen et al., 2002; Schumacher, 2002).

Tabla 1

Parámetros y métodos de análisis

Propiedades	Parámetros de análisis	Método de análisis
<u>Propiedades hidrofísicas</u>	Capacidad de campo (CC), punto de saturación (PS), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da)	Método del contenido de humedad gravimétrica, se saturo el suelo contenido en los anillos de Kopecky, posterior se deseca la humedad contenida en el suelo (USDA, 2004; Badillo & Rodríguez, 2005; Porta, 2011).
	Potencial hidrógeno (pH)	Se determinó la escala de pH con el potenciómetro marca “Oakton-510 series 231542” con una relación agua/suelo; 1:2.5 (Rosas et al., 2017).
<u>Propiedades químicas</u>	Conductividad eléctrica del suelo (CE)	Se midió la carga eléctrica recorrida en el electrodo en la mezcla de agua y suelo con una relación suelo/agua 1:1.5 con el conductímetro de marca “Hach-44600 series 900704583” (Cortés, 2013).
	Materia orgánica del suelo (MOS)	Luego de desecar el suelo, método de calcinación a 400 °C durante 8 horas en la mufla (Dabadie et al., 2018).
	Carbono orgánico del suelo (COS)	A partir de la MOS con uso de un factor de 0.58 (Villaseñor, 2015).
<u>Evaluación de BA</u>	Biomasa aérea vegetal (BA)	Masa de la cobertura vegetal a ras del suelo (Rodríguez et al., 2010).
	Carbono contenido en la BA (CBA)	A partir de la BAS con uso de un factor de 0.5 (Guo & Gifford, 2002).

Nota. Esta tabla se complementa con el ANEXO C y E “Fichas de laboratorio”. Fuente: J Cáceres.

4.6. Análisis de datos

Se realizó un análisis exploratorio de los datos (basado en la descripción de medidas de tendencia central y de dispersión) que se definieron a partir de información primaria de suelos y biomasa vegetal aérea del área de estudio (Dalgaard, 2008). Para probar los supuestos de normalidad y de homocedasticidad se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilks ($\alpha = 0.05$) y de Levene ($\alpha = 0.05$), respectivamente. Como los datos no cumplieron con los supuestos antes mencionados, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney ($\alpha = 0.05$) para evidenciar si existen diferencias de las propiedades de los suelos entre los dos transectos. Todos los análisis estadísticos se desarrollaron con el uso del programa R (R Core Team, 2022).

5. Resultados y discusión

5.1. Evaluación de las propiedades del suelo

La evaluación de las propiedades hidrofísico-químicas entre el área afectada por el incendio (T1) y el área no afectada (T2) mostraron cambios significativos como se describe a continuación.

5.1.1. Propiedades hidrofísicas

En la Tabla 2 se muestran los valores de las propiedades hidrofísicas. Estos valores son cercanos a los reportados en otras zonas con cobertura de pajonal (Ramírez & Cisneros, 2015; Quichimbo et al., 2012) no obstante, son pocos los estudios comparativos entre áreas quemadas y no quemadas en zonas de páramo. Todas las propiedades hidrofísicas variaron significativamente entre los transectos (Prueba de U de Mann Whitney, $p < 0.05$).

En particular, los valores de PS, CC y Da disminuyeron en el T1, mientras que el valor de retención de humedad a PMP aumentó (Tabla 2). En este contexto, existe una relación clara entre el contenido de humedad y la densidad aparente (en el estudio a menor densidad mayores valores de contenido de humedad), en cambio, los suelos con una mayor densidad aparente usualmente tienen valores más bajos de contenido de humedad (Hofstede, 1995).

En la presente investigación se puede ver que por el efecto del fuego disminuye el valor de la Da, pero su relación con el contenido de humedad es variable según la fuerza de retención de humedad del suelo, por ejemplo, a PS y CC existe una disminución de sus valores, pero no para el PMP cuyos valores aumentaron (Tabla 2), hay que resaltar que el contenido de humedad a PMP es la propiedad que más alteración muestra, esto indicado por el valor p más bajo y también la mayor diferencia entre sus valores en el T1 y el T2 (Tabla 2).

Con relación a los contenido de humedad en el PMP, en un estudio a nivel de laboratorio (Stoof et al., 2010), se ha podido evidenciar que la cantidad de ceniza puede influir en la retención de humedad (aunque esto es dependiente de la temperatura de la quema), posiblemente la mayor cantidad de partículas finas (por la ceniza) estarían aumentando el poder de retención a nivel de PMP, sin embargo esto debería ser corroborado con determinaciones de la textura del suelo, pero la textura no se realizó en este trabajo.

Tabla 2
Propiedades hidrofísicas del área de estudio

	PS		CC		PMP		Densidad aparente	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Media	0,740	0,833	0,640	0,730	0,305	0,200	0,301	0,355
(SD)	(0,117)	(0,031)	(0,115)	(0,033)	(0,044)	(0,069)	(0,069)	(0,027)
Max.	0,88	0,88	0,78	0,79	0,41	0,35	0,40	0,41
Min.	0,59	0,78	0,49	0,67	0,21	0,09	0,19	0,31
<i>Shapiro-Wilks</i>	$p = 0,001$	$p = 0,073$	$p = 0,004$	$p = 0,733$	$p = 0,584$	$p = 0,310$	$p = 0,063$	$p = 0,661$
<i>Levene</i>	$p = 0,944$		$p = 0,854$		$p = 0,012$		$p = 1,707e-07$	
<i>U de Mann-Whitney</i>	$p = 0,014$		$p = 0,048$		$p = 6,918e-05$		$p = 0,034$	

Nota. SD: desviación estándar; Max: valores máximos; Min: valores mínimos; prueba de normalidad: *Shapiro-Wilks*; prueba de homogeneidad de varianzas: *Levene*; prueba de comparación de medias entre transectos: *U de Mann Whitney*. PS: punto de saturación ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); CC: capacidad de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PMP: punto de marchitez permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Da: densidad aparente (g cm^{-3}). Transecto 1 (área quemada) = T1; Transecto 2 (área no quemada) = T2. En el "ANEXO D" observamos propiedades hidrofísicas en diferentes zonas del sur del Ecuador. Fuente: J. Cáceres.

Sin embargo, hay que enfatizar la ausencia de estudios que indiquen diferencias significativas entre los valores de las propiedades hidrofísicas bajo una comparación de zonas quemadas y no quemadas en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas.

5.1.2. Propiedades químicas

Los parámetros de las propiedades químicas mostraron diferencias significativas al aplicar la Prueba de U de Mann Whitney ($p < 0.05$) entre el área quemada (T1) y el área no afectada (T2), estos valores son cercanos a los reportados en otras zonas con cobertura vegetal de pajonal quemado (Quichimbo et al., 2012) no obstante – al igual que en el caso de las propiedades hidrofísicas –, son pocos los estudios comparativos de las propiedades químicas entre áreas quemadas y no quemadas.

En resumen, el pH, la CE y el COS disminuyeron sus valores en el T1 ante la acción del desplazamiento del fuego no estacionario en las 39,2 ha de pajonal (Tabla 3).

Tabla 3

Propiedades químicas del área de estudio

	pH		CE		COS	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Media	6,003	6,526	0,052	0,066	98,587	121,700
(SD)	(0,142)	(0,240)	(0,015)	(0,013)	(24,846)	(12,303)
Max.	6,19	6,87	0,07	0,09	138,04	145,77
Min.	5,56	6,12	0,03	0,05	63,48	94,40
<i>Shapiro-Wilks</i>	$p = 0,003$	$p = 0,298$	$p = 0,009$	$p = 0,068$	$p = 0,051$	$p = 0,971$
<i>Levene</i>	$p = 2,2e-16$		$p = 0,618$		$p = 2,526e-15$	
<i>U de Mann-Whitney</i>	$p = 7,283e-07$		$p = 0,013$		$p = 0,04$	

Nota. SD: desviación estándar; Max: valores máximos; Min: valores mínimos; prueba de normalidad: *Shapiro-Wilks*; prueba de homogeneidad de varianzas: *Levene*; prueba de comparación de medias entre transectos: *U de Mann Whitney*. CE: conductividad eléctrica ($dS m^{-1}$); COS: carbono orgánico del suelo ($Mg ha^{-1}$). Transecto 1 (área quemada) = T1; Transecto 2 (área no quemada) = T2. En el “ANEXO D” observamos propiedades hidrofísicas en diferentes zonas del sur del Ecuador. Fuente: J. Cáceres.

Los suelos del T2 mostraron un pH con predisposición a la neutralidad: 6,526, en cambio los del T1 tiene una ligera acidez ($pH = 6,003$), al mismo tiempo la disminución del pH enfatizada por Cáceres (2017) y Camargo et al. (2012) atribuyen que se da, sobre todo por la combustión y la oxidación de la MOS ante la acción del fuego, por otro lado, Cáceres (2017) documento una disminución en la CE en el pajonal quemado, mientras que Mendieta et al. (2017) documento un incremento en la CE. En la actualidad las cenizas producto de los incendios alteran la salinidad del suelo (ajustado por el efecto Tampón), los suelos del presente estudio pertenecen a suelos no salino incluso los quemados y se relacionan con lo documentado por Buytaert et al. (2011) mencionando que, al sur del Ecuador los suelos son más desarrollados acumulando mayor contenido MOS y con pH más ácido.

El comportamiento del pH del suelo, los contenidos de COS y las condiciones no salinas del suelo se relacionan con la conservación de la materia orgánica a bajas temperaturas $5,78 ^\circ C$ (Ministerio del ambiente, 2015).

En cambio, la radiación solar de 2,83 MJ m⁻² (Montenegro, 2015), refracta con mayor incidencia en el T2, mientras que, en el T1 la temperatura del suelo se eleva por la falta de protección del suelo ante la radiación.

Por otra parte, Camargo et al. (2012) también documentaron cambios significativos en los contenidos de MOS en el pajonal quemado. Un detalle importante en la pérdida de COS ante la acción del fuego se da por consumo de la MOS (T1: 56,3 %; T2: 59,3 %) y su disminución está relacionado directamente con la variación de los valores de las propiedades hidrofísico-químicas del suelo (Tabla 2 y 3).

5.2. Evaluación de la biomasa vegetal

En el área afectada (T1) por el fuego (39,2 ha) se consumió 1755,20 Mg de pajonal. Las 39,2 ha de cobertura vegetal de páramo quemado se transformaron en cenizas (modificando el suelo) y en emisiones gaseosas hacia la atmósfera. En octubre del año 2019 la emisión de CO₂ en el T1 es de 36,26 Mg ha⁻¹ – valor estimado en base a Hofstede (1999) –, obviamente en el T2 no hubo emisión a partir de la quema, es conviene recordar que según Hofstede (1999), una unidad de carbono elemental, C (CBA: a partir de información primaria), equivale a 3,6 unidades de CO₂ (Tabla 4).

Tabla 4

Emisiones de CO₂ y velocidad de consumo de la biomasa aérea

Estado de crecimiento	Altura	CBA	CO ₂	Velocidad de consumo de BA (Mg ha ⁻¹ h ⁻¹)
Pajonal tamaño grande	68>	15,75	56,7	57,4
Pajonal tamaño medio	41-68	10,071	36,26	44,78
Pajonal tamaño bajo	>40	5,65	20,34	31,44

Nota. CBA y CO₂ en Mg ha⁻¹; velocidad de consumo: BA Mg ha⁻¹ h⁻¹; altura: cm. Fuente: J. Cáceres.

En efecto la velocidad media de consumo de biomasa *in-situ* es de 44,78 BA Mg ha⁻¹ h⁻¹ mientras que, la velocidad alta de consumo es de 57,4 BA Mg ha⁻¹ h⁻¹, a fin de cuentas, la velocidad de consumo se incrementa por la composición y la densidad del material vegetal inflamable. Concisamente, la velocidad de consumo y la estacionalidad del fuego al ser intensas, las propiedades del suelo se modifican siempre y cuando el incremento de temperatura transforme la materia consumible (*por ejemplo*, en cenizas y en emisiones hacia la atmósfera), en fin, en ocasiones la intensidad del fuego limita la germinación y el rebrote del pajonal, en este estudio es notorio la disminución del contenido de carbono acumulado en la cobertura vegetal (CBA) tras la quema en el T1 (Tabla 5).

El T1 se hallaba en etapa de recuperación (a los 18 meses de la quema), mientras que, el área sin quema está en su producción de biomasa normal, con la diferencia que en el T1 son brotes en recuperación, emergiendo y juveniles con mayor contenido de humedad y por ende menor poder inflamable, mientras que el T2 es más consumible por el fuego por la misma densidad de las plantas y sobre todo porque las plantas han alcanzado su madurez fisiológica.

Sarango et al. (2019) señalan que, a partir de un año se constituye en el tiempo necesario para que los ecosistemas de páramo presenten signos de recuperación ante la acción del fuego. Marchán & Gutiérrez (2016) mencionan que, el pajonal es un indicador de la historia del fuego, prueba de ello se da en el T1 después de 18 meses se acumuló un valor máximo de BA de 848 g m⁻², por otro lado, el T2 con un valor máximo de 5749 g m⁻² (Tabla 5).

Tabla 5
Biomasa aérea vegetal del área de estudio

	BA		BAS		CBA	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Media (SD)	537,444 (163,121)	4477,557 (712,467)	239,633 (106,558)	2014,282 (630,656)	1198,167 (532,788)	10071,400 (3153,27)
Max-Min	848-290	5740-3144	470,80-79,40	3149,86- 1129,60	2354,00-397,00	15749,27- 5648,05
<i>Shapiro-Wilks</i>	p = 0,670	p = 0,899	p = 0,140	p = 0,280	p = 0,140	p = 0,280
<i>Levene</i>	p(>F)		p(>F)		p(>F)	
<i>U de Mann-Whitney</i>	p = 2,204e-10		p = 2,204e-10		p = 2,204e-10	

Nota. SD: desviación estándar; Max: valores máximos; Min: valores mínimos; Prueba de normalidad: *Shapiro-Wilks*; prueba de homogeneidad de varianzas: *Levene*; prueba de comparación de medias entre transectos: *U de Mann Whitney*. BA: biomasa aérea vegetal “g m⁻²”; BAS: biomasa aérea seca “g m⁻²”; CBA: carbono de la biomasa aérea seca “kg ha⁻¹”. Transecto 1 (área quemada) = T1; Transecto 2 (área no quemada) = T2. Fuente: J. Cáceres.

6. Conclusiones

Acorde con los resultados obtenidos y expuestos que definieron los cambios al evaluar las propiedades del suelo (Tabla 2 y 3) y la BA (Tabla 5) entre los transectos mediante las pruebas estadísticas aplicadas, se concluye que existen diferencias significativas entre el T1 y el T2 al evaluar las propiedades hidrofísico-químicas y biomasa aérea.

La información generada en el área de estudio es información que puede servir como una línea base para estudios temporales (para futuros estudios de monitoreo) sobre el efecto del fuego para el área de estudio.

Mediante la comparación de la BA se concluye también que hay una diferencia significativa entre los transectos, es importante detallar que, la BA en octubre del año 2019 tenía valores cercanos a cero en el predio afectado por el fuego (T1), en cambio, el área no quemada (T2) tenía 8,33 veces más BA que el T1 después de 18 meses de ocurrida la quema.

Lo concluido ayuda a responder de forma positiva la pregunta de investigación al encontrar cambios significativos en los parámetros evaluados entre los transectos.

7. Recomendaciones

Continuar con este estudio, aprovechando que ya se tendría una línea base; de manera que se puedan estudiar: -. Los cambios en las propiedades de los suelos a una escala temporal mayor.

Se podría replicar este estudio en otras zonas de páramo afectadas por incendios para vislumbrar impactos bajo otros contextos geográficos.

Bibliografía

- Aguirre, Z., Aguirre, N. (1999). *Guía para realizar estudios en comunidades vegetales* (Informe n°1). Herbario Reinaldo Espinoza - Ecuador.
- Alban, E., & Granda, G. (2013). *Determinación del contenido de carbono en la biomasa aérea del páramo de la reserva ecológica Yanacocha* [Tesis de pregrado, EPN-Ecuador]. Repositorio digital-EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6171>
- Armenteras, D., González, T., Ríos, O., Meza, C., & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica. *Caldasia*, 17, 1-16. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/77353>
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., & Úbeda, X. (2018). Effects of prescribed fires on soil properties: a review. *Environmental science*, 237, 613-614. <https://doi10.1007/s00442-004-1788-8>
- Aucapiña, G., Marín, F. (2014). *Efectos de la posición fisiográfica en las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo de la microcuenca del río Zhurucay* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio digital de la U. de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19991>
- Augustine, D., Brewer, P., Blumenthal, D., & Derner, J. (2014). Prescribed fire, soil inorganic nitrogen dynamics, and plant responses in a semiarid grassland. *Journal of Arid Environments*, 104, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.022>
- Ayala, L., Villa, M., Mendoza, Z., Mendoza, N. (2014). Quantification of carbon in the moros of the Yacuri National Park, provinces of Loja and Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4, 45-52.
- Badillo, J., Rodríguez, R., (2005). *Mecánica de suelos fundamentos de la mecánica de suelos*. Limusa.
- Beltrán, K., León, S., Cuesta, F., Yanez, S., Romoleroux, K., Edwin, O., Cádenas, A., & Velástegui, A. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador*. Ediecuatorial.
- Bertzky, M., Ravilious, C., Araujo Navas, A.L., Kapos, V., Carrión, D., Chú, M., Dickson, B. (2010). Carbono, biodiversidad y servicios ecosistémicos: explorando los beneficios colaterales en Ecuador. *UNEP-WCMC*, Cambridge, UK.
- Betancourt, A., Alejandro, J., & Vicente, J. (2006). El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? *Revista luna azul*, 22, 39-51. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/3217272224004.pdf>

- Bilbao, B., Steil, I., Urbietta, L., Anderson, C., Pinto, M., González, A., Millán, R., Falleiro, E., Morici, V., Ibarregaray, D., Pérez, J., Pereira, J. (2020) *Incendios forestales: Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos* (Reporte N° 12). RIOCCADAPT, McGraw-Hill. http://rioccadapt.com/wp-content/uploads/2020/07/12_Cap_12_CambioClimatico.pdf
- Birkeland, W. (1999). *Geomorfología de suelos*. Oxford university press, Inc.
- Bowman, D., Kolden, C., Abatzoglou, J., Johnston, F., R. van der Werf, G., & Flannigan, M. (2020). Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 500–515. <https://doi.org/10.1038/s3017-020-0085-3>
- Bravo, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Editorial universitaria Abya-Yala. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La%20Biodiversidad.pdf>
- Buytaert, W., Camacho, F., & Tabon, C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 19-33.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2007). Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. *Agua y suelo*, 1-26. <https://paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidroparamo2.pdf>
- Cáceres, J. (2017). *Efecto de la quema de vegetación en las Propiedades físicas y químicas del suelo Huancayo, 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Digital de la Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4645>
- Camacho, M. (2013). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Anales de la universidad Central del Ecuador*, 78-92. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>
- Carballas, T., Martín, Á., & Díaz, M. (2012). Efecto de los incendios forestales sobre el suelo Galicia (Reporte n°1). Instituto de investigaciones agrobiológicas de Galicia.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on forest soil properties: a review. *Oecology*, 143, 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, A., Chambers, Q., Eamus, D., & Lescure, J. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-005-0100-x>

- Dabadie, M., Pérez, C., Arturi, M., Goya, J., & Sandoval, M. (2018). Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 117, 157-162. <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7330>
- Dalgaard, P. (2008). *Introducción estadística con R*. Springer science business media, LLC.
- Dhall, A., Dhasade, A., Nalwade, A., & Kulkarni, V. (2020). A survey on systematic approaches in managing forest fires. *Applied Geography*, 121, 102-266. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102266>
- Espinosa, S., & Sanabria, Y. (2016). Procesos específicos de formación de andisols, alfisols y ultisols en Colombia. *EIA*, 12, 85-97. <http://doi:10.14508/reia.2015.11.E2.85-97>
- ETAPA EP. (2011). Propuesta para la declaratoria de la reserva de biósfera dirigida a la UNESCO denominada: área de biósfera macizo del Cajas. Cuenca, Ecuador
- ETAPA EP. (2012). *Plantas del Parque Nacional Cajas (Reporte n° 1)*. ETAPA EP. Cuenca-Ecuador.
- ETAPA EP. (2017). *Servicios de consultoría para «Estudio de regulación del recurso hídrico en la micro-cuenca del rio matadero-Dos Chorreras» (Informe n° 1)*. ETAPA EP. Cuenca-Ecuador.
- ETAPA EP. (2019). *Informe: incendio sector Dos Chorreras 2019 (Informe n° 1)*. ETAPA EP. Cuenca-Ecuador.
- Farley, K., & Kelly, E. (2004). Effects of Afforestation of a Páramo Grassland on Soil Nutrient Status. *Forest Ecology and Management*. 195, 281-290.
- Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A., & Sevink, J. (2002). Bosques secundarios tropicales de gran altitud: ¿Un sumidero de carbono competitivo? *Ecología y manejo forestal*, 163, 9-25. <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112701005357>
- García, J., Dossman, M., Rodríguez, J., Arias, L., & Galvis, J. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. *Acta agronómica*, 61, 151-165.
- Giné, D., & Sánchez, R. (2015). El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. *Estudios geográficos*, 76, 369-393. <https://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/455>

- González, F., & Almendros, G. (2011). El controvertido efecto de los incendios. *Revista método*, 70, 82-87. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/283478>
- González, J., González, F., Almendros, G., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter-a review. *Environ Int*, 30, 855-870. <https://doi:10.1016/j.envint.2004.02.003>
- Guo, L., & Gifford, R. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8, 345-360. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
- Hribljan, A., Suárez, E., Heckman, A., Lilleskov, A., & Chimner, R. (2016). Peatland carbon stocks and accumulation rates in the ecuadorian páramo. *Wetlands Ecology and Management*, 24, 113-127. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11273-016-9482-2>
- Hofstede, R. 1999. *El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico y mitigación de carbono atmosférico*. Abya-Yala-Proyecto EcoPar.
- Hofstede, R. (2002). El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. https://portalces.org/sites/default/files/references/095_Hofstede%202001%20Paramo%20Ecuador%20impacto.pdf
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (Eds.). (2014). *Los páramos andinos ¿Que sabemos? En los páramos andinos*. UICN. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2014-025.pdf>
- Hofstede, R. (1995). The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian paramo grasslands, *Plant and Soils*. 173, 111-132. <https://link.springer.com/article/10.1007/bf00155524>
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (Eds.). (2003). *Los páramos en el mundo: su diversidad y sus habitantes*. Biblio-flacsoandes. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56486.pdf>
- Jaffe, D., O'Neill, S., Holder, A., Peterson, D., Halofsky, J., & Rappold, A. (2020). Wildfire and prescribed burning impacts on air quality in the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65, 583-615. <https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1749731>
- Keating, P. (2007). Fire Ecology and Conservation in the High Tropical Andes: Observations from Northern Ecuador. *Journal of Latin American Geography*, 6, 43-55.

- Konen, M., Jacobs, P., Burras, C., Talaga, B., Mason, J., (2002). Equations for Predicting Soil Organic Carbon Using Loss-on-Ignition for North Central U.S. Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1878-1881. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1878>
- Llambí, L. (2015). Estructura, diversidad y dinámica de la vegetación en el Ecotonos bosque-páramo: revisión de la evidencia en la cordillera de Mérida. Bogotá. Colombia. *Acta biológica colombiana*, 20, 5-19.
- Llambí, L., Soto, A., Célleri, R., Biévre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Páramos andinos ecología, hidrología y suelos de páramos*. Monsalve Moreno.
- López, A. (2016). *Estudio del efecto de quemas recientes sobre el microclima del suelo en el páramo de la reserva ecológica el Ángel* [Tesis de grado, UPS-Quito-Ecuador]. Repositorio institucional-UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13063>
- MAE. (2018). *Plan de manejo del Parque Nacional Cajas* (Reporte n° 1). Misterio del Ambiente Ecuador. https://etapa.net.ec/Portals/0/Parque%20Nacional%20Cajas/Documentos/Acuerdo_Ministerial_001_plan_manejo_Cajas_2018.pdf?ver=2018-11-07-074825-103
- Marchán, M., & Gutiérrez, P. (2016). *Estudio del efecto de quemas recientes sobre el microclima del suelo en el páramo de la reserva ecológica El Ángel, en el marco del proyecto: Estudio de paja (Calamagrostis sp) y Achupalla (Puya hanata) como especies indicadoras de la historia de fuegos*. [Tesis de grado, UPS-Ecuador]. Repositorio digital-EPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13063>
- Matson, E., & Bart, D. (2013). Interactions among fire legacies, grazing and topography predict shrub encroachment in post-agricultural páramo. *Landscape Ecol*, 1829-1840. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10980-013-9926-5>
- Mendieta, H. (2017). *Influencia de la quema sobre el suelo y la vegetación en un ecosistema del pajonal de la microcuenca del río Irquis Victoria del Portete* [Tesis de grado – Universidad del Azuay]. Dspace de la Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7040>
- Merecí, J., & Suqui, A. (2014). *Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhurucay* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio digital de la U. de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19978>
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Actualización del plan de manejo del Parque Nacional Cajas* (Reporte n° 1). Misterio del ambiente Ecuador.

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Parque Nacional Yasuri* (Reporte n° 1). Ministerio del Ambiente Ecuador. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-yacuri>
- Montenegro, F (2015). *Estimación de la radiación solar y neta a partir de la temperatura en ecosistemas de páramo y comparación con sensores a nivel del suelo* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio institucional - Universidad de Cuenca.
- Orellana, G., Sansoval, M., Linares, F., Garcia, N., & Tamaríz, J. (2011). Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Avances en ciencias e ingeniería*, 3, 123-135.
- Podwojewski, P., & Poulenard, J. (2006). Suelos alpinos. *Enciclopedia de la ciencia del suelo*, 17, 1-5. <https://doi:10.108/E-ES120017544>
- Porta, J. (2011). *Uso y protección de suelos*. S.A. MUNDI-PRENSA LIBROS. <https://tilsc.com.co/207061-libro-libro-edafologia-uso-y-proteccion-de-suelos/>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Sociedad colombiana de la ciencia del suelo*, 42, 138-153.
- Ramírez, M., & Cisneros, P. (2015). Determinación de anomalías causadas a las propiedades físicas, químicas e hidrofísicas en los suelos de páramo en el sur del Ecuador, ocasionadas por alteraciones antrópicas. *Anales-Revista de la Universidad de Cuenca*, 58, 123-137.
- Rodríguez, R., Pérez, J., Aguirre, C., Óscar, A., Treviño, E., & Razo, R. (2010). Estimation of carbon storage in forest pine-oak at biosphere reserve el cielo, Tamaulipas, México. *Raximhai*, 5, 317-327. <http://redalyc.org/pdf/461/46111817006.pdf>
- Romero, M., Etter, A., Sarmiento, A., & Tansey, K. (2010). Spatial and temporal variability of fires in relation to ecosystems, land tenure and rainfall in savannas of northern South America. *Global Change Biology*, 16, 2012-2023. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02081.x>
- Rosas, G., Puentes, Y., Menjivar, J. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corporación colombiana de investigación agropecuaria*, 18, 529-541. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-00529.pdf>

- Rosero, J., & Osorio, I. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. *Environmental Sciences*, 59-67. <https://www.semanticscholar.org/paper/Efectos-de-los-incendios-forestales-en-las-del-Cuesta-Giraldo/4bacbebbae2f6120ce3c4745563c33daabec9c76>
- R Core Team. (2022). *R: un lenguaje y un entorno para la computación estadística*. R versión 4.2.1, [software]. <http://www.R-project.org>
- Sánchez, L., Galindo, J., & Díaz, F. (2008). *Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México*. CONABIO.
- Sarango, J., Muñoz, J., Muñoz, L., & Aguirre, Z. (2019). Impacto ecológico de un incendio forestal en la flora del páramo antrópico del parque universitario, Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Boques latitud cero*, 9, 101-114. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/687>
- Schumacher, B. (2002). Methods for the determination of total organic carbon in soils and sediments. *U.S. Environmental Protection Agency Division of Environmental Sciences*, 8, 1-22. http://bcodata.who.edu/LaurentianGreatLakes_Chemistry/bs116.pdf
- Shakesby, R., Bento, C., Ferreira, C., Ferreira, A., Stoof, C., Urbanek, E., & Walsh, R. (2015). Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: An assessment based on an experimentally-burned catchment in central Portugal. *Catena*, 128, 278-293. <http://doi:10.1016/j.catena.2013.03.012>
- Sigüenza, J., & Tenecora, J. (2008). Caracterización hidrofísicas de los Histosols en el páramo de Quimsacocha de la parroquia Baños [Tesis de pregrado]. Repositorio digital – Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/17668>
- SNGRE. (2019). *Informe de situación: incendios forestales a nivel nacional entre los meses de julio a septiembre de 2019* (Informe n° 1). Sistema Nacional de Gestión de Riegos y Emergencias.
- SNGRE. (2020). *Informe de situación: incendios forestales a nivel nacional entre los meses de enero y noviembre de 2020* (Informe n° 1). Sistema Nacional de Gestión de Riegos y Emergencias.
- SNGRE. (2021). *Informe de situación: incendios forestales a nivel nacional entre los meses de julio y octubre del 2021* (Informe n°1). Sistema Nacional de Gestión de Riegos y Emergencias.
- Stolbovoy, V., Montanarella, L., Jones, A., & Gallego, J. (2007). Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union (Reporte n° 1). Institute for Environment and Sustainability. Luxemburgo. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC36917/reqno_jrc36917_final%5B2%5D

- Stoof, C., Wesseling, J., & Ritsema, C. (2010). Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159, 276-285. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706110002430>
- Tapia, F., Serrano, C. (2015). *Efectos de las plantaciones de pino (pinus patula) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio digital de la U. de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23241>
- Torres, M., Flórez, F., & Triana, F. (2014). Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 67, 7189-7200. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472014000100006
- Trillo, F., Barrantes, C., Romero, G., Tito, E., Quiroga, P., & Nuñez, J. (2020). Modelos alométricos multiespecie para predecir biomasa en pajonales altoandinos tropicales. *Rev. Inv. Vet.*, 31, 1-9.
- Úbeda, J., & Palacios, D. (2008). El clima de la vertiente del Pacífico de los Andes Centrales y sus implicaciones geomorfológicas. *Espacio y Desarrollo*, 20, 31-56. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/5438>
- Urgiles, N., Cofre, D., Loján, P., Maita, J., Albarez, P., Báez, S., Tamargo, E., Eguiguren, P., Ojeda, T., & Aguirre, N. (2018). Diversidad de plantas, estructura de la comunidad y biomasa aérea en un páramo del sur del Ecuador. *Bosques latitud cero*, 8, 44-56. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/403>
- Urquiza, M., Fernández, A., Pino, M., Herrero, G. (2004). El fuego: uso e impacto en la esfera forestal. *Agencia del medio ambiente*, 7, 1-8. <https://doczz.es/doc/1267605/>
- USDA (2004). Manual de métodos: laboratorio de suelos levantamiento y reporte de información (Reporte n° 42). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf
- Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Ecociencia*, 91-109. <http://beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>
- Vásconez, P. (2010). Los páramos ecuatorianos: paisajes diversos, frágiles y estratégicos. *AFESE*. <https://afese.com/img/revistas/revista54/paramos.pdf>
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físicos morfológicos de suelos. Ediciones UTMACH.

WWF. (2020). *Los incendios forestales del año 2020 podrían ser peores que en 2019 para Sudamérica y el mundo* (Informe n° 1). Worldwildlife.

Zomer, M., & Ramsay, P. (2020). Post-fire changes in plant growth form composition in Andean paramo grassland, *Biological and Marine Sciences*, 1-23.
<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.04.25.061036v1.full.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. Resultados de laboratorio

Figura A

Resultados de laboratorio del Transecto 1 y 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	W	X
Sitio	Propiedades hidrofísica										Propiedades químicas					Cobertura vegetal					
	pF 0 (0-10cm)	pF 0 (10-20cm)	pF 2,52 (0-10cm)	pF 2,52 (10-20cm)	pF 4,2 (0-10cm)	pF 4,2 (10-20cm)	ρ de 0-10cm (gr ³ cm ⁻³)	ρ de 0-10cm (kg ³ cm ⁻³)	ρ de 10-20cm (gr ³ cm ⁻³)	ρ de 10-20cm (kg ³ cm ⁻³)	pH (0-10cm)	pH (10-20cm)	CE (0-10cm)	CE (10-20cm)	COS de 0-10cm(T ^h a ⁻¹)	COS de 10-20cm(T ^h a ⁻¹)	COS 0-20cm (T ^h a).	BAS (0,5m ² g).	Material vegetal (to ³ ha ⁻¹)	CBA (to ³ ha ⁻¹)	
Transecto 1.																					
1	Quemado	0,59	0,62	0,50	0,51	0,34	0,32	0,23	230,0	0,22	220,0	5,94	5,74	0,06	0,05	68,03	73,37	141,40	179,00	3,58	1790,00
2	Quemado	0,62	0,61	0,51	0,51	0,36	0,30	0,23	230,0	0,22	220,0	6,01	5,83	0,06	0,07	75,37	69,41	144,79	128,20	2,56	1282,00
3	Quemado	0,60	0,62	0,49	0,52	0,31	0,28	0,23	230,0	0,18	180,0	6,19	5,80	0,04	0,04	75,10	58,46	133,57	176,20	3,52	1762,00
4	Quemado	0,59	0,59	0,49	0,48	0,32	0,32	0,26	260,0	0,22	220,0	6,00	5,89	0,05	0,06	68,61	71,46	140,07	186,40	3,73	1864,00
5	Quemado	0,66	0,64	0,58	0,54	0,30	0,29	0,25	250,0	0,22	220,0	6,07	5,85	0,06	0,07	86,28	72,22	158,50	148,20	2,96	1482,00
6	Quemado	0,60	0,6	0,50	0,52	0,21	0,27	0,19	190,0	0,21	210,0	5,56	5,77	0,04	0,05	63,48	63,95	127,42	186,50	3,73	1865,00
7	Quemado	0,68	0,61	0,59	0,51	0,31	0,27	0,22	220,0	0,21	210,0	5,96	5,83	0,07	0,05	72,73	72,47	145,20	235,40	4,71	2354,00
8	Quemado	0,85	0,89	0,74	0,77	0,28	0,28	0,32	320,0	0,30	300,0	5,79	5,95	0,04	0,05	110,62	100,05	210,67	85,40	1,71	854,00
9	Quemado	0,85	0,84	0,74	0,72	0,29	0,27	0,33	330,0	0,35	350,0	5,97	5,89	0,07	0,05	114,84	120,79	235,63	90,90	1,82	909,00
10	Quemado	0,79	0,81	0,67	0,68	0,41	0,27	0,40	400,0	0,41	410,0	5,99	5,81	0,04	0,03	136,42	139,11	275,53	89,40	1,79	894,00
11	Quemado	0,59	0,79	0,51	0,69	0,28	0,26	0,24	240,0	0,39	390,0	6,03	5,91	0,03	0,05	77,95	133,01	210,96	91,00	1,82	910,00
12	Quemado	0,88	0,86	0,75	0,76	0,30	0,29	0,32	320,0	0,32	320,0	6,04	6,12	0,04	0,05	103,94	98,37	202,30	93,60	1,87	936,00
13	Quemado	0,82	0,86	0,71	0,75	0,27	0,27	0,37	370,0	0,32	320,0	6,07	6,26	0,07	0,05	115,88	102,08	217,96	105,30	2,11	1053,00
14	Quemado	0,81	0,86	0,70	0,73	0,34	0,26	0,40	400,0	0,35	350,0	6,04	5,95	0,07	0,07	138,04	110,64	248,68	39,70	0,79	397,00
15	Quemado	0,85	0,85	0,78	0,76	0,27	0,27	0,36	360,0	0,36	360,0	6,14	5,98	0,04	0,06	117,55	125,28	242,83	65,50	1,31	655,00
16	Quemado	0,85	0,85	0,76	0,76	0,29	0,27	0,35	350,0	0,36	360,0	6,10	6,11	0,03	0,05	111,65	111,71	223,36	78,00	1,56	780,00
17	Quemado	0,83	0,86	0,74	0,75	0,27	0,19	0,37	370,0	0,35	350,0	6,14	6,07	0,06	0,05	118,03	111,65	229,68	69,40	1,39	694,00
18	Quemado	0,86	0,86	0,77	0,76	0,35	0,19	0,36	360,0	0,35	350,0	6,01	6,06	0,07	0,04	120,06	111,04	231,10	108,60	2,17	1086,00
Transecto 2.																					
1	No quemado	0,87	0,86	0,79	0,79	0,21	0,35	0,34	340,0	0,34	340,0	6,12	6,60	0,07	0,08	115,36	118,32	233,68	1259,70	25,19	12597,00
2	No quemado	0,86	0,88	0,75	0,75	0,35	0,29	0,35	350,0	0,34	340,0	6,64	6,36	0,05	0,04	128,30	114,38	242,67	1156,52	23,13	11565,20
3	No quemado	0,87	0,87	0,78	0,78	0,19	0,28	0,34	340,0	0,33	330,0	6,16	6,44	0,07	0,05	116,35	107,18	223,53	1396,82	27,94	13968,15
4	No quemado	0,88	0,85	0,73	0,73	0,30	0,38	0,31	310,0	0,31	310,0	6,15	6,88	0,07	0,07	94,40	103,39	197,78	1332,74	26,65	13327,36
5	No quemado	0,83	0,87	0,71	0,71	0,26	0,28	0,34	340,0	0,32	320,0	6,83	6,77	0,07	0,06	116,35	112,29	228,64	1424,60	28,49	14245,98
6	No quemado	0,86	0,80	0,73	0,73	0,30	0,30	0,33	330,0	0,39	390,0	6,58	6,91	0,09	0,08	110,06	132,33	242,38	1574,93	31,50	15749,27
7	No quemado	0,80	0,81	0,71	0,71	0,26	0,13	0,36	360,0	0,38	380,0	6,48	6,39	0,06	0,04	116,09	134,67	250,76	764,03	15,28	7640,28
8	No quemado	0,78	0,79	0,69	0,69	0,16	0,14	0,4	400,0	0,39	390,0	6,28	6,59	0,05	0,05	139,20	131,87	271,07	713,47	14,27	7134,71
9	No quemado	0,81	0,86	0,71	0,71	0,13	0,12	0,38	380,0	0,32	320,0	6,78	6,75	0,06	0,08	124,53	111,36	235,89	654,40	13,09	6543,98
10	No quemado	0,81	0,84	0,71	0,71	0,09	0,15	0,38	380,0	0,34	340,0	6,53	6,48	0,09	0,07	127,83	117,33	245,17	830,43	16,61	8304,30
11	No quemado	0,86	0,79	0,75	0,75	0,14	0,15	0,34	340,0	0,38	380,0	6,53	6,23	0,06	0,09	106,49	141,06	247,54	912,57	18,25	9125,73
12	No quemado	0,81	0,84	0,69	0,69	0,13	0,20	0,39	390,0	0,33	330,0	6,87	6,73	0,08	0,07	135,72	113,69	249,41	564,80	11,30	5648,05
13	No quemado	0,85	0,85	0,75	0,75	0,19	0,21	0,33	330,0	0,33	330,0	6,83	6,63	0,08	0,07	123,64	111,97	235,61	1167,04	23,34	11670,36
14	No quemado	0,87	0,83	0,76	0,76	0,19	0,18	0,32	320,0	0,36	360,0	6,34	6,54	0,05	0,06	112,47	125,28	237,75	1085,48	21,71	10854,76
15	No quemado	0,86	0,84	0,77	0,77	0,20	0,17	0,35	350,0	0,34	340,0	6,45	6,37	0,07	0,07	123,02	120,88	243,90	867,60	17,35	8675,98
16	No quemado	0,85	0,87	0,74	0,74	0,19	0,21	0,36	360,0	0,33	330,0	6,73	6,50	0,06	0,06	128,62	117,33	245,95	633,52	12,67	6335,16
17	No quemado	0,83	0,81	0,71	0,71	0,17	0,12	0,37	370,0	0,37	370,0	6,52	6,70	0,05	0,05	126,40	129,83	256,23	641,80	12,84	6418,01
18	No quemado	0,79	0,80	0,67	0,68	0,14	0,19	0,41	410,0	0,39	390,0	6,64	6,73	0,06	0,05	145,77	139,11	284,88	1148,09	22,96	11480,94

Nota: Fuente: J. Cáceres.

ANEXO C. Fichas de laboratorio

Ficha C1

Ficha de retención de humedad del suelo (PS-CC)

Código de la muestra	N° de anillo	Peso (g)							Observ.
		Peso húmedo del suelo (anillo + tela + elástico)				Peso del suelo seco + anillo	Peso tela + liga	Peso anillo	
		PS Saturación (columna de agua de 1 cm)	pF 0,5 (columna de agua 3,16 cm)	pF 1,5 (columna de agua 31,62 cm)	CC (Capacidad de campo 0,33 bares)				

Nota. Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U de Cuenca.

Ficha C2

Ficha de retención de humedad del suelo (PMP)

Código de la muestra	N° de anillo (repetición)	Peso (g)						Observ.
		pF 3,4 (2,46 Bares)			PMP (15 Bares)			
		Peso húmedo del suelo + anillo	Peso del suelo seco + anillo	Peso del anillo	Peso húmedo del suelo + anillo	Peso del suelo seco + anillo	Peso del anillo	

Nota. Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U de Cuenca.

Ficha C3

Registro de información para determinar el: pH, CE y MOS

ANÁLISIS DE PARÁMETROS DEL SUELO							
RESPONSABLE:							
FECHA:				ORIGEN DE LA MUESTRA:			
N°	Código muestra	pH	C.E. (dS/cm)	% MOS			
				Código del crisol	Peso crisol (g)	Peso suelo seco (g)	Peso de suelo incinerado + crisol (g)

Nota. Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U. de Cuenca.

ANEXO D. Comparación de las propiedades de estudio

Tabla D1

Propiedades hidrofísicas de suelos del sur del Ecuador y del área de estudio

Parámetro	Lugar	cm	m s.n.m.	cm ³ cm ⁻³	Fuente
Punto de saturación (PS)	ZA del PNC sin quema	0-10	3693	0,740	El autor
	ZA del PNC quemado	0-10	3693	0,833	
	ZA del PNC sin quema	10-20	3693	0,756	
	ZA del PNC quemado	10-20	3693	0,836	
	ZA del PNC sin quema	0-20	3693	0,784	
	ZA del PNC quemado	0-20	3693	0,835	
	Quimsacocha sin quema	0-29	3400-3900	0,700	Quichimbo et al. (2012)
	Quimsacocha quemado	0-22	3400-3900	0,074	
	Zhurucay ladera media	0-35	3400-3900	0,760	Aucapiña & Marín. (2014)
	Zhurucay ladera baja	0-35	3400-3900	0,830	
	Zhurucay bosque montano	0-40	2922-3130	0,670	Merecí & Suqui. (2014)
	Zhurucay pasto sin manejo	0-40	2955-3235	0,590	
	Pajonal	0-25	3700	0,650	Tapia & Pacheco. (2015)
	Pajonal	0-25	3500	0,750	
	Capacidad de campo (CC)	ZA del PNC sin quema	0-10	3693	0,640
ZA del PNC quemado		0-10	3693	0,730	
ZA del PNC sin quema		10-20	3693	0,651	
ZA del PNC quemado		10-20	3693	0,731	
ZA del PNC sin quema		0-20	3693	0,646	
ZA del PNC quemado		0-20	3693	0,730	
Quimsacocha sin quema		0-29	3400-3900	0,640	Quichimbo et al. (2012)
Quimsacocha quemado		0-22	3400-3900	0,730	
Zhurucay ladera media		0-35	3400-3900	0,690	Aucapiña & Marín. (2014)
Zhurucay ladera baja		0-35	3400-3900	0,670	
Zhurucay bosque montano		0-40	2922-3130	0,500	Merecí & Suqui. (2014)
Zhurucay pasto sin manejo		0-40	2955-3235	0,460	
Pajonal		0-25	3700	0,500	Tapia & Pacheco. (2015)
Pajonal		0-25	3500	0,640	
Punto de marchitez permanente (PMP)		ZA del PNC sin quema	0-10	3693	0,305
	ZA del PNC quemado	0-10	3693	0,200	
	ZA del PNC sin quema	10-20	3693	0,270	
	ZA del PNC quemado	10-20	3693	0,213	
	ZA del PNC sin quema	0-20	3693	0,289	
	ZA del PNC quemado	0-20	3693	0,206	
	Quimsacocha sin quema	0-29	3400-3900	0,330	Quichimbo et al. (2012)
	Quimsacocha quemado	0-22	3400-3900	0,280	
	Zhurucay ladera media	0-35	3400-3900	0,530	Aucapiña & Marín. (2014)
	Zhurucay ladera baja	0-35	3400-3900	0,510	
	Zhurucay bosque montano	0-40	2922-3130	0,350	Merecí & Suqui. (2014)
	Zhurucay pasto sin manejo	0-40	2955-3235	0,290	
	Pajonal	0-25	3700	0,310	Tapia & Pacheco. (2015)
	Pajonal	0-25	3500	0,400	
	Densidad aparente (Da)	ZA del PNC sin quema	0-10	3693	0,301
ZA del PNC quemado		0-10	3693	0,355	
ZA del PNC sin quema		10-20	3693	0,296	
ZA del PNC quemado		10-20	3693	0,349	
ZA del PNC sin quema		0-20	3693	0,298	
ZA del PNC quemado		0-20	3693	0,352	
Quimsacocha sin quema		0-29	3400-3900	0,850	Quichimbo et al. (2012)
Quimsacocha quemado		0-22	3400-3900	0,430	
Zhurucay ladera media		0-35	3400-3900	0,390	Aucapiña & Marín. (2014)
Zhurucay ladera baja		0-35	3400-3900	0,310	
Zhurucay bosque montano		0-40	2922-3130	0,860	Merecí & Suqui. (2014)
Zhurucay pasto sin manejo		0-40	2955-3235	1,030	
Pajonal		0-25	3700	0,680	Tapia & Pacheco. (2015)
Pajonal		0-25	3500	0,490	

Nota. PS, CC y PMP en cm³cm⁻³; Da: g cm⁻³, ZA del PNC; área de estudio. Fuente: J. Cáceres.

Tabla D2

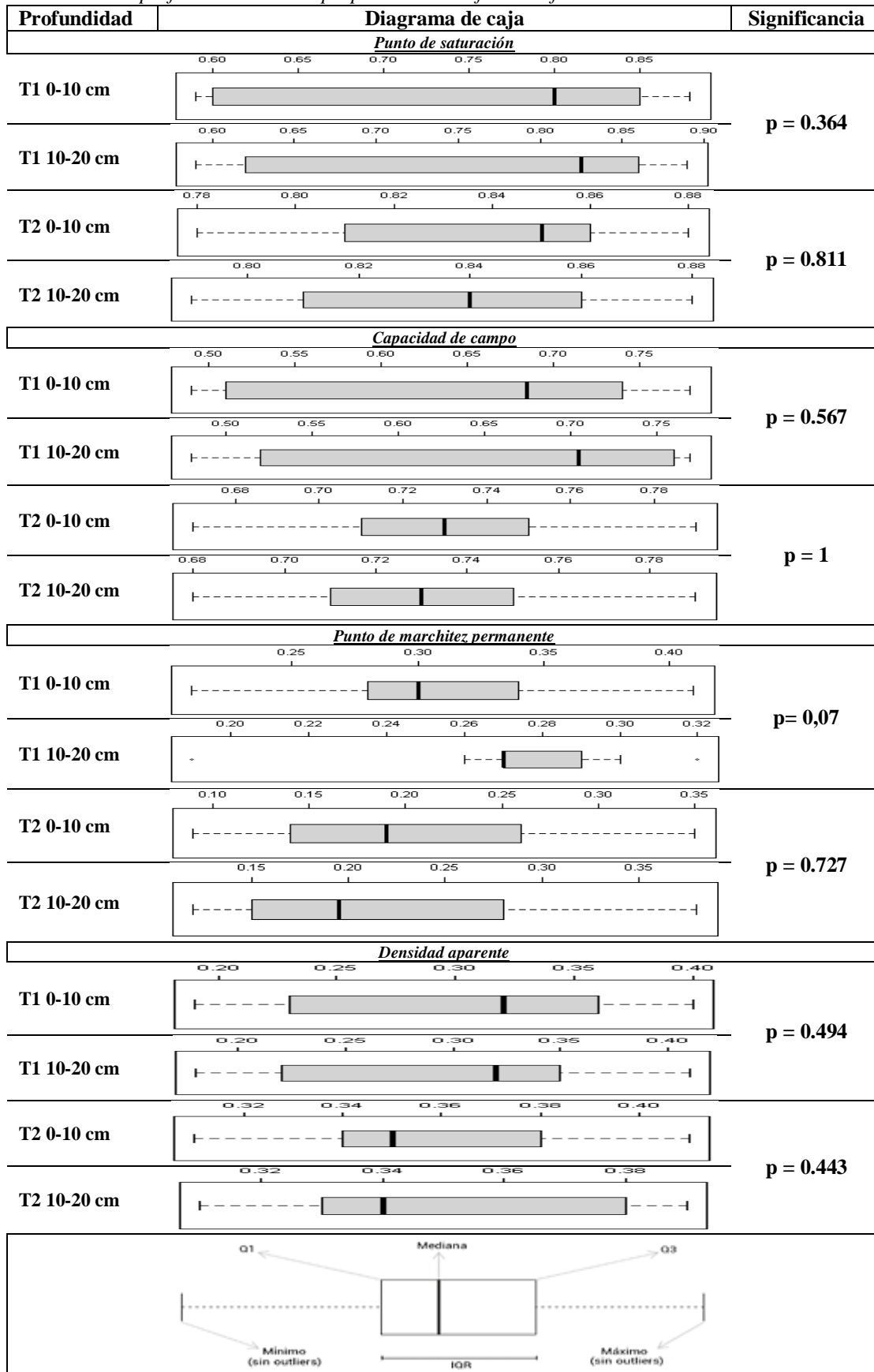
Propiedades hidrofísicas comparación de transectos

	PS		CC		PMP		Densidad aparente	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<i>Profundidad 0–10 cm</i>								
Media (SD)	0,740 (0,117)	0,833 (0,031)	0,640 (0,115)	0,730 (0,033)	0,305 (0,044)	0,200 (0,069)	0,301 (0,069)	0,355 (0,027)
Max-Min	0,88-0,59	0,88-0,78	0,78-0,49	0,79-0,67	0,41-0,21	0,35-0,09	0,40-0,19	0,41-0,31
Shapiro-Wilks	p = 0,001	p = 0,073	p = 0,004	p = 0,733	p = 0,584	p = 0,310	p = 0,063	p = 0,661
Levene	p = 0,944		p = 0,854		p = 0,012		p = 1,707e-07	
U de Mann-Whitney	p = 0,014		p = 0,048		p = 6,918e-05		p = 0,034	
<i>Profundidad 10–20 cm</i>								
Media (SD)	0,756 (0,120)	0,836 (0,029)	0,651 (0,116)	0,731 (0,032)	0,270 (0,034)	0,213 (0,080)	0,296 (0,074)	0,349 (0,027)
Max-Min	0,89-0,59	0,88-0,79	0,77-0,48	0,79-0,68	0,32-0,19	0,38-0,12	0,41-0,18	0,39-0,31
Shapiro-Wilks	p = 0,000	p = 0,120	p = 0,000	p = 0,503	p = 0,002	p = 0,088	p = 0,021	p = 0,030
Levene	p = 0,208		p = 0,722		p = 2,2e-16		p = 0,407	
U de Mann-Whitney	p = 0,181		p = 0,166		p = 0,038		p = 0,075	

Nota. SD: desviación estándar; Max: valores máximos; Min: valores mínimos; prueba de normalidad: *Shapiro-Wilks*; prueba de homogeneidad de varianzas: *Levene*; prueba de comparación de medias entre transectos: *U de Mann-Whitney*. PS: punto de saturación ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); CC: capacidad de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PMP: punto de marchitez permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Da: densidad aparente (g cm^{-3}). Transecto 1 (área quemada) = T1; Transecto 2 (área no quemada) = T2. Fuente: J. Cáceres.

Figura D1

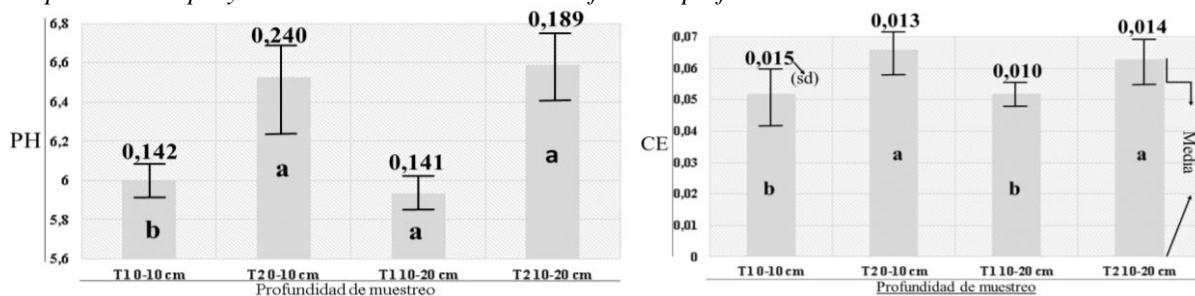
Diferencia entre las profundidades de las propiedades hidrofísicas diferencias



Nota. Q3: valor atípico a la derecha; Q1: valor atípico a la izquierda; IQR: conjunto de datos; T1: Transecto 1; T2: Transecto 2; *p*: significancia entre el T1 y el T2. Fuente: J. Cáceres.

Figura D2

Comparación del pH y de la CE del área de estudio a diferentes profundidades



Nota: a: distribución normal de los datos; b: distribución no normal de los datos; sd: desviación estándar.
Fuente: J. Cáceres.

Tabla D3

Contenido de carbono a diferentes profundidades

Lugar	Descripción	m s.n.m.	COS	Profundidad	Referencia
Zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas	Pajonal-quema	3693	98,587	0-10	El autor
	Pajonal		121,700	0-10	
	Pajonal-quema		96,948	10-20	
	Pajonal		121,237	10-20	
	Pajonal-quema		195,535	0-20	
	Pajonal		242,937	0-20	
Parque Nacional Cayambe	Páramo-turbera	3387-3709	707	5-100	Hribljan et al. (2016)
Parque Natural Nor Yauyos Cochas, Perú	Vegetación natural	3800	398	0-40	Vásquez et al. (2014)

Nota. COS (Mg ha^{-1}); profundidad (cm). El COS está relacionado directamente con la profundidad del perfil del suelo y el contenido de materia orgánica. Fuente: J. Cáceres.

Tabla D4

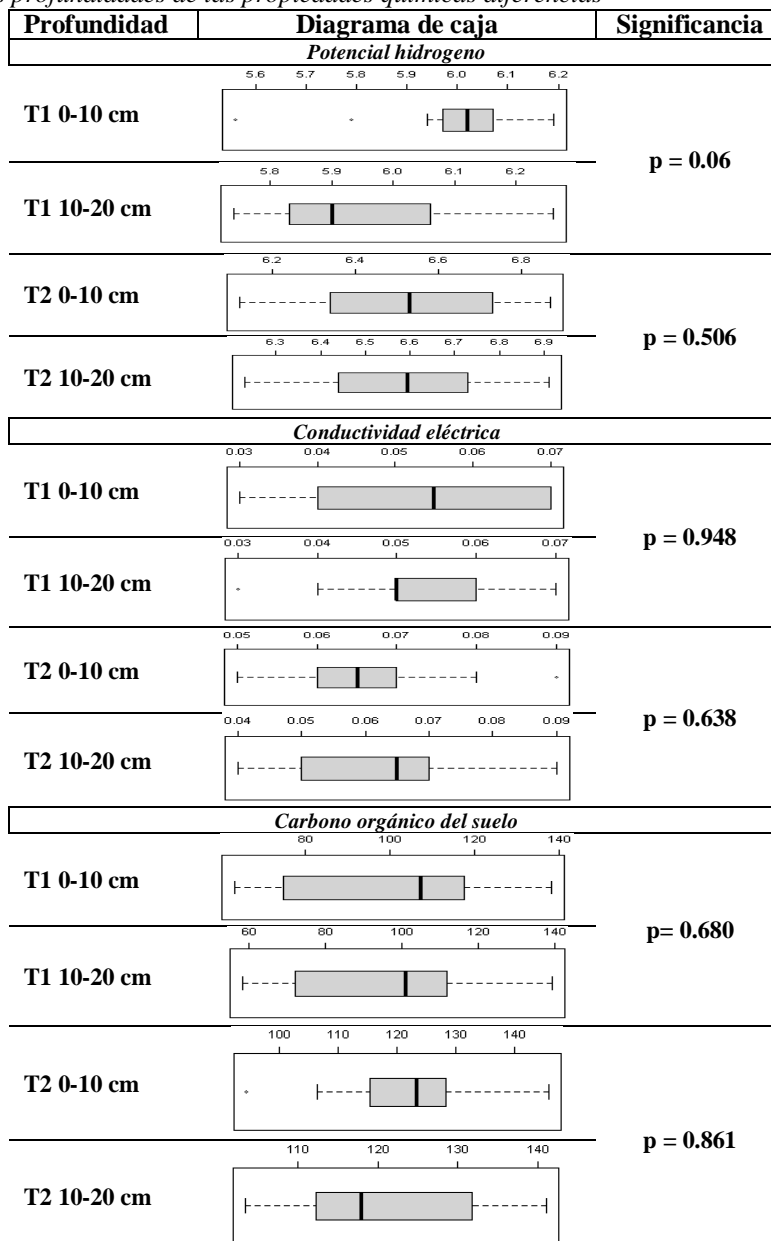
Propiedades químicas y contenido de carbono del suelo comparación de transectos

	pH		CE		COS	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<i>Profundidad 0-10 cm</i>						
Media (SD)	6,003 (0,142)	6,526 (0,240)	0,052 (0,015)	0,066 (0,013)	98,587 (24,846)	121,700 (12,303)
Max-Min	6,19-5,56	6,87-6,12	0,07-0,03	0,09-0,05	138,04-63,48	145,77-94,40
Shapiro-Wilks	p = 0,003	p = 0,298	p = 0,009	p = 0,068	p = 0,051	p = 0,971
Levene	p = 2,2e-16		p = 0,618		p = 2,526e-15	
U de Mann-Whitney	p = 7,283e-07		p = 0,013		p = 0,04	
<i>Profundidad 10-20 cm</i>						
Media (SD)	5,934 (0,141)	6,589 (0,189)	0,052 (0,010)	0,063 (0,014)	96,948 (25,497)	121,237 (11,224)
Max-Min	6,26-5,74	6,91-6,23	0,07-0,03	0,09-0,04	139,11-58,46	141,06-103,39
Shapiro-Wilks	p = 0,315	p = 0,897	p = 0,012	p = 0,318	p = 0,134	p = 0,366
Levene	p = 5,639e-16		p = 0,529		p = 1,728e-15	
U de Mann-Whitney	p = 3,788e-07		p = 0,021		p = 0,001	

Nota. SD: desviación estándar; Max: valores máximos; Min: valores mínimos; prueba de normalidad: *Shapiro-Wilks*; prueba de homogeneidad de varianzas: *Levene*; prueba de comparación de medias entre transectos: *U de Mann Whitney*. CE: conductividad eléctrica (dS m⁻¹); COS: carbono orgánico del suelo (Mg ha⁻¹). Transecto 1 (área quemada) = T1; Transecto 2 (área no quemada) = T2. Fuente: J. Cáceres.

Figura D3

Diferencia entre las profundidades de las propiedades químicas diferencias



Nota. T1: Transecto 1; T2: Transecto 2; *p*: significancia entre el T1 y el T2. Fuente: J Cáceres.

Tabla D5

BA, BAS, CBA de diferentes sitios de estudio

Lugar del estudio	BA	BAS	CBA	Referencia
ZA del PNC a 18 meses de la quema	5,374	2,390	1,198	El autor
ZA del PNC a 18 meses de la quema (Max)	8,480	4,708	2,354	
ZA del PNC a 18 meses de la quema (Min)	3,900	0,794	0,397	
ZA del PNC sin quema	44,775	20,142	10,071	
ZA del PNC sin quema (Max)	57,400	31,499	15,750	
ZA del PNC sin quema (Min)	31,440	11,296	5,648	
Parque Nacional Chingaza, , Colombia	26,25	n/a	13,125	Tol & Cleef. (1994)
Parque Nacional Cochabamba, Perú	38	n/a	19	Vásquez et al. (2014)
Parque Nacional Podocarpus, Ecuador	100	n/a	50	Chave et al. (2005)

Nota. ZA (zona de amortiguamiento); PNC (Parque Nacional Cajas); Max (valor máximo); Min (valor mínimo); BA (biomasa vegetal aérea); BAS (biomasa vegetal seca); CBA (carbono contenido en la biomasa vegetal seca); n/a (no hay reporte del valor), BA, BAS y CBA en Mg ha⁻¹. Fuente: J. Cáceres.



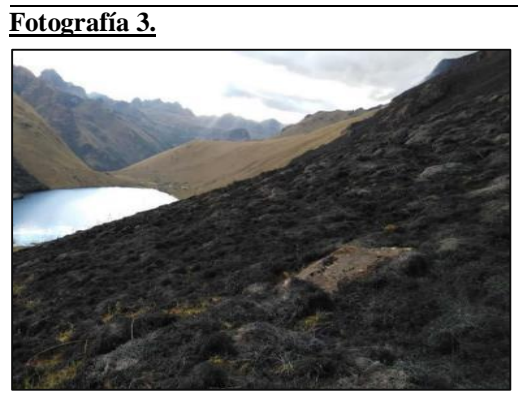
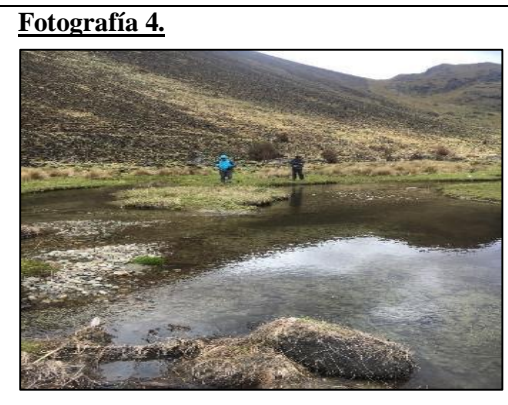
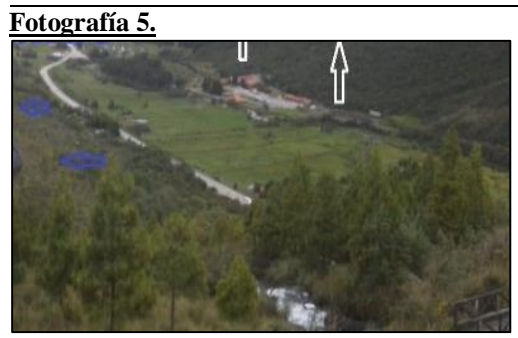
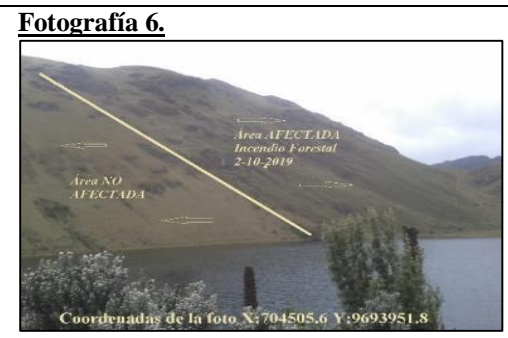
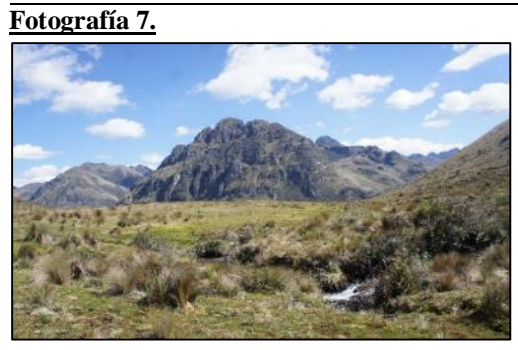



ANEXO E. Operacionalización de las variables

Tabla E1
Operacionalización de las variables de las propiedades de estudio

Objetivos específicos	Variables	Operacionalización		Medidas	Fuente de información	Análisis de información	Equipos / Instrumentos
		Tipo	parámetro				
1. Evaluar los cambios en las propiedades hidrofísicas (punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente) y químicas (pH, conductividad eléctrica y contenido de carbono) del suelo posterior a un incendio sucedido en octubre de 2019 en una zona de páramo localizada en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas.	Propiedades hidrofísicas (variable observacional-descriptiva)	Cuantitativa continua	Capacidad de campo	cm ³ cm ⁻³	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Caja de succión
			Punto de saturación	cm ³ cm ⁻³	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Caja de succión
			Punto de marchitez permanente	cm ³ cm ⁻³	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Cámaras extractoras de presión
			Densidad aparente	g cm ⁻³	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Anillos de Kopecky y estufa
	Propiedades químicas (variable observacional-descriptiva)	Cuantitativa continua	pH	Escala de pH	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	pH-metro
			CE	dS m ⁻¹	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Conductímetro
			Carbono	to ha ⁻¹	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Mufla y balanza
2. Evaluar el efecto del incendio sucedido en octubre de 2019 en la biomasa vegetal aérea en el área de estudio.	Biomasa (variable observacional-descriptiva)	Cuantitativa continua	Materia seca	kg ha ⁻¹	Información primaria (datos de campo)	Estadística descriptiva e inferencial	Estufa y balanza

Nota. Fuente: J. Cáceres.

ANEXO F. Fotografías de las actividades desarrolladas en esta tesis

<u>Fotografía 1.</u>	<u>Fotografía 2.</u>	<u>Descripción</u>
		Fotografías 1 y 2. Área de estudio.
		Fotografías 3 y 4. Consumo total de la cobertura vegetal por el efecto del fuego el dos de octubre del 2019.
		Fotografía 5 y 6. Camino de acceso al área de estudio. Al norte del camino de acceso.
		Fotografía 7 y 8. Descripción: tiene que seguir la dirección contraria del río y llegara a la laguna Dos Chorreras.
		Fotografía 9 y 10. Materias usados para colección de información primaria.

Fotografía 11.



Fotografía 12.



Fotografía 11 y 12. Levantamiento o de información primaria.

Fotografía 13.

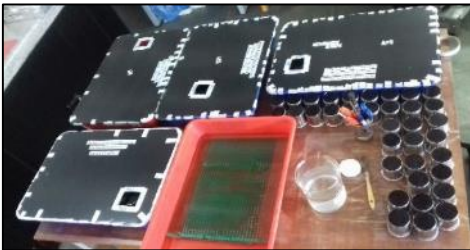


Fotografía 14.



Fotografía 13 y 14. Enrazado con el uso de una cierra de cinta.

Fotografía 15.



Fotografía 16.



Fotografía 15 y 16. Saturación del suelo contenido en los anillos de Kopecky.

Fotografía 17.



Fotografía 18.



Fotografía 17 y 18. Peso del contenido gravimétrico de agua.

Fotografía 19.



Fotografía 20.



Fotografía 19 y 20. Suelo en anillos al ser colocados en los platos de cerámica, después son colocados en las ollas extractoras.

Fotografía 21.



Fotografía 22.



Fotografía 21 y 22. Suelo desecado al salir de estufa.

Fotografía 23.



Fotografía 24.



Fotografía 23 y 24. Incineración de las muestras alteradas de suelo.

Fotografía 25.



Fotografía 26.



Fotografía 25 y 26. Determinación de la masa de las muestras de cobertura vegetal.

Fotografía 27.



Fotografía 28.



Fotografía 27 y 28. Muestras de cobertura vegetal desecadas.

Fotografía 29.



Fotografía 30.



Fotografía 29 y 30. Determinación de pH.

Fotografía 31.



Fotografía 32.



Fotografía 31 y 32. Determinación de la conductividad eléctrica de las muestras de suelo.

Nota final. Fuente: Juan Carlos Cáceres Lazo.