

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Evaluación del efecto de incendios forestales históricos sobre propiedades
del suelo en el bosque protector Tambillo**

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

Autores:

Martha Verónica Tenelema Ojeda

Diego Orlando Morocho Morocho

Director:

Pablo Marcelo Borja Ramón

ORCID:  0000-0002-9852-101X

Cuenca, Ecuador

2024-09-25

Resumen

En el Ecuador, el bosque de neblina montano es uno de los más importantes por su diversidad de flora nativa y endémica, que en los últimos años se ha visto afectado por múltiples incendios en distintas localidades: A pesar de ello no existen suficientes estudios con respecto al efecto de los incendios sobre las propiedades del suelo y relación de los mismos con la riqueza y diversidad florística. Esta investigación evaluó el efecto de los incendios forestales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como, los índices de riqueza y diversidad florística en el Área Protegida Comunitaria Tambillo. Se plantearon tres objetivos específicos: determinar las propiedades físicas y químicas del suelo, caracterizar las coberturas vegetales y establecer diferencias a nivel de propiedades del suelo y la riqueza florística en tres tratamientos: T1 (zona alterada), T2 (zona en transición) y T3 (zona no alterada). Se utilizó un diseño completamente al azar con parcelas de 400 m² como unidad experimental con 5 repeticiones. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en variables como densidad aparente, porosidad, estructura, pH y contenido de potasio. Los índices de Shannon y Margalef también mostraron diferencias significativas, reflejando una variabilidad en la diversidad y riqueza de especies entre los tratamientos. T1 presentó 23 géneros en 12 familias, T2 tuvo 45 géneros en 22 familias, y T3 registró 37 géneros en 27 familias. En conclusión, las diferencias encontradas en nuestro estudio, indican que los incendios han tenido un impacto negativo en la regeneración y diversidad vegetal del área, y que, a pesar del tiempo transcurrido, las propiedades del suelo no se han recuperado completamente. Esto afecta el desarrollo de la cobertura vegetal y la riqueza florística en el Área Protegida Comunitaria Tambillo.

Palabras claves del autor: incendios, propiedades físicas, propiedades químicas, suelo



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

In Ecuador, the montane cloud forest is one of the most important due to its diversity of native and endemic flora. However, in recent years, it has been affected by multiple fires in different locations, yet there are no studies regarding the effects of fires on soil properties and their relationship with floristic richness and diversity. This research evaluated the effect of forest fires on the physical and chemical properties of the soil, as well as the indices of floristic richness and diversity in the Tambillo Community Protected Area. Three specific objectives were proposed: to determine the physical and chemical properties of the soil, to characterize the vegetation covers, and to establish differences in soil properties and floristic richness in three treatments: T1 (degraded area), T2 (transition area), and T3 (non-degraded area). A completely randomized design was used with 400 m² plots as experimental units with 5 replications. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in variables such as Bulk Density, Porosity, Structure, pH, and Potassium. The Shannon and Margalef indices also showed significant differences, reflecting variability in species diversity and richness between the treatments. T1 presented 23 genera in 12 families, T2 had 45 genera in 22 families, and T3 recorded 37 genera in 27 families. In conclusion, the differences found in our study indicate that the fires have had a negative impact on the regeneration and plant diversity of the area, and that despite the time elapsed, the soil properties have not fully recovered. This affects the development of vegetation cover and floristic richness in the Tambillo Community Protected Area.

Author keywords: fire, physical properties, chemical properties, soil



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

I. Introducción	14
II. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
III. Revisión Bibliográfica.....	15
3.1 Información general del Área Protegida Comunitaria Tambillo	15
3.2 Incendios Forestales	16
3.3 Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo.....	16
3.4 Estructura.....	17
3.5 Riqueza florística	17
3.6 Relación de la cobertura vegetal con los incendios forestales	17
3.7 Índice de Shannon	18
3.8 Índice de Simpson.....	18
3.9 Índice de Margalef	18
IV. Materiales y métodos.....	19
4.1 Ubicación y descripción del área de estudio	19
4.2 Diseño Experimental	19
4.3 Metodología para el objetivo específico uno:	20
“Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en zonas alteradas, zonas en transición y en zonas no alteradas”	20
4.3.1 Análisis de muestras	21
4.3.1.2 Análisis químicos	25
4.4 Metodología para el objetivo específico dos:	26
“Caracterizar las coberturas vegetales en zonas alteradas, zonas en transición y en zonas no alteradas”	26
4.4.1 Caracterización de las coberturas vegetales	26
4.5 Metodología para el objetivo específico tres:	27
“Establecer las diferencias a nivel de propiedades del suelo y riqueza florística de acuerdo a los 3 diferentes tipos de cobertura”.....	27
V. Análisis de Datos	28
5.1 Análisis descriptivo de variables edafológicas y de cobertura vegetal.	28
5.2 Análisis inferencial para comparar índices de riqueza florística y propiedades del suelo	28
VI. Resultados.....	29

6.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo y la cobertura vegetal	29
6.1.1 Análisis exploratorio de datos: propiedades físicas y químicas del suelo	29
6.2 Caracterización de las coberturas vegetales	31
6.2.1 Análisis exploratorios de datos: cobertura vegetal.....	35
6.3 Propiedades del Suelo y Riqueza Florística: Análisis Comparativo en Tres Coberturas Vegetales	36
VII. Discusion	47
VIII. Conclusión.....	55
IX. Recomendaciones	57
X. Referencias	58
XI. Anexos.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio: A) a Nivel Nacional, B) a Nivel Provincial C) a Nivel Cantonal. Suelos degradados (SD), Suelos en transición (ST), Suelos no degradados (SND)	19
Figura 2. a) Parcela de 400 m ² para la caracterización de coberturas vegetales. b) Subparcelas de 100 m ² y submuestras para análisis de suelo.	20
Figura 3. Mezcla de la solución en la batidora.....	22
Figura 4. Proceso para medir la densidad con el hidrómetro.....	23
Figura 5. Fracción de arena seca.....	23
Figura 6. Metodología utilizada para determinar la calidad estructural del suelo.	24
Figura 7. Gráfico de barras que representan los valores diferentes entre los tratamientos de la densidad aparente (mg m-3).	39
Figura 8. Gráfico de barras que representan los valores diferentes entre los tratamientos de la variable pH y K (meq/100mL).....	40
Figura 9. Gráfico de barras que representa las diferencias entre los tres tratamientos del índice de Shannon y Margalef.....	41

Índice de tablas

Tabla 1. Se enumeran los parámetros que fueron determinados con sus métodos estandarizados y las unidades correspondientes:	25
Tabla 2. Estadística Descriptiva de las propiedades de suelo (Media, ME, D.E, CV) para cada uno de los tratamientos estudiados en el “Área Protegida Comunitaria Tambillo”	29
Tabla 3. Caracterización de especies vegetales en el T1, identificados taxonómicamente hasta género y determinación de los índices de riqueza y dominancia florística.	31
Tabla 4. Caracterización de especies vegetales en el T2, identificados taxonómicamente hasta género y determinación de los índices de riqueza y dominancia florística	32
Tabla 5. Caracterización de especies vegetales en el T3, identificados taxonómicamente hasta género y determinación de los índices de riqueza y dominancia florística	34
Tabla 6. Estadística Descriptiva (Media, ME, D.E, CV) de los índices de diversidad para cada uno de los tratamientos de estudio en el “Área Protegida Comunitaria Tambillo <td>35</td>	35
Tabla 7. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk $p>0.01$) y Homogeneidad (de Levene $p>0.01$) para las variables físicas y químicas del suelo y los índices de riqueza florística... <td>37</td>	37
Tabla 8. Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis ($p<0.05$).....	38
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) en las propiedades físicas y químicas del suelo y los índices de riqueza, para los tres tratamientos. Con un nivel de significancia valor de $p < 0.05$	38
Tabla 10. Análisis de correlación entre las propiedades del suelo y riqueza florística en el T1 (Zonas alteradas).....	43
Tabla 11. Análisis de correlación entre las propiedades del suelo y riqueza florística en el T2 (Zonas en Transición)	44
Tabla 12. Análisis de correlación entre las propiedades del suelo y riqueza florística en el T3 (Zonas no alteradas).....	46

Agradecimiento

Con gran satisfacción y orgullo, llego al final de esta etapa tan importante en mi vida académica. Este logro no habría sido posible sin el apoyo, guía y paciencia de muchas personas a quienes quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesaria para completar este trabajo. Quiero también, agradecer a mi director de tesis, Ing. Pablo Borja, por su invaluable orientación, paciencia y apoyo. Su experiencia y consejos han sido fundamentales para la realización de esta tesis.

Un agradecimiento muy especial a mi familia, que ha sido mi pilar durante todo este proceso. A mis padres, por su amor incondicional, por creer en mí y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas. Gracias por estar siempre a mi lado, tanto en los momentos difíciles como en los de alegría. A mis hermanos, gracias por su constante apoyo, y por estar siempre a mi lado.

A mis profesores y profesoras, gracias por compartir su sabiduría y por fomentar en mí el deseo de aprender y superarme cada día. Al Ing. Juan Pablo Iñamagua y el Ing. Mateo León, por brindarme su disposición para ayudarme en todo momento que fueron cruciales para esta tesis.

A mis amigos, gracias por su amistad, por las discusiones académicas que me han hecho reflexionar y por los momentos compartidos que han hecho de esta experiencia algo inolvidable. Su compañía ha sido una fuente constante de apoyo y motivación.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a la Universidad de Cuenca, la Cooperativa Jima Ltda y The Rufford Foundation, cuya colaboración y recursos fueron esenciales para la realización de este trabajo.

A todos ustedes, mi más profundo y sincero agradecimiento.

Martha Verónica Tenelema Ojeda

Agradecimiento

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, a quienes junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para Dios, mis padres, mis hermanos, mi esposa y mis hijos. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que el verdadero amor y apoyo no es otra cosa más que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere y cumpla sus sueños.

Mi gratitud también a la Universidad de Cuenca por haberme permitido formarme en ella, expreso mi agradecimiento sincero al director de nuestra tesis Dr. Pablo Borja, como también a los revisores, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todo el periodo de la universidad, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo han aportado en gran parte a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Diego Orlando Morocho

Agradecimiento a las instituciones finanziadoras

A la iniciativa Tambillo Forest; Proyecto “Proyecto multipropósito en el Área Protegida Comunitaria Tambillo (zona bosque de neblina montano) con fines de reforestación a través de especies vegetales locales para su conservación, restauración de suelos, aprovechamiento integral y desarrollo comunitario”

La Cooperativa de Desarrollo de la Comunidad Jima Ltda.

New England Biolabs Foundation: Estudio Florístico y monitoreo fenológico de especies vegetales nativas para el establecimiento de un plan de restauración ecosistémica en el Área Protegida Comunitaria Tambillo.

Verónica Tenelema y Diego Orlando Morocho

Dedicatoria

Con todo mi cariño y gratitud, dedico esta tesis a mis queridos padres, Rosario y José por su apoyo constante y su fe inquebrantable en mí. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino. Este logro es tan suyo como mío. A mis hermanos por sus consejos brindados, en especial a mi hermano Walter por estar ahí para mí y apoyarme incondicionalmente.

A mi novio por su paciencia, comprensión y amor. Gracias por tu apoyo y por celebrar conmigo cada pequeño triunfo. Este logro no habría sido posible sin su constante ánimo y confianza en mí.

A mi mejor amiga, por siempre escucharme y estar conmigo. A mis amigos más cercanos, por los buenos momentos y experiencias compartidas durante la etapa universitaria.

Martha Verónica Tenelema Ojeda

Dedicatoria

La presente tesis lo dedico a Dios, ya que gracias a sus bendiciones he podido concluir mi carrera, a mis padres quienes han sido el pilar fundamental y me han regalado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, a su vez me han brindado su apoyo incondicional, han estado siempre conmigo en todo momento, dedico este logro también a mi Esposa y mis hijos quienes siempre han estado conmigo apoyándome sin importar las dificultades, por ultimo a mis hermanos quienes siempre me han estado apoyando y aconsejándome para hacer de mí una mejor persona.

Diego Orlando Morocho

Abreviaturas y Simbología

MO: Materia orgánica

Da: Densidad aparente

D.real: Densidad real

OMS: Organización Mundial de la Salud

N: Nitrógeno

P: Fosforo

S: Azufre

VESS: Evaluación visual de estructura del suelo

Sq: Calidad estructural del suelo

Sp: Subparcela

Sbm: Submuestra

pH: Potencial de hidrogeno

CE: Conductividad Eléctrica

Al+H: Aluminio + hidrogeno

Kg: kilogramos

GPS: Sistema de posicionamiento global.

µm: Micrones

g: Gramos

ml: mililitros

g cm⁻³: gramos por centímetro cubico

meq/100ml: miliequivalente

ppm: partes por millón

I. Introducción

El bosque de neblina montano en el Ecuador es uno de los ecosistemas más importantes por su riqueza y gran diversidad de flora y fauna nativa y endémica, a pesar de que en la última década se ha visto gravemente amenazado por el aumento de los incendios forestales (Carrión *et al.*, 2022).

Históricamente los incendios forestales han sido un fenómeno que no está ausente en ninguna región poblada y casi siempre es causante de problemas como, la perdida de la vegetación, alteración en las propiedades del suelo y degradación, siendo así este último uno de los principales impulsores para la degradación de los suelos forestales (Agbeshie *et al.*, 2022). A nivel mundial los incendios están aumentando en gravedad, frecuencia y duración (Agbeshie *et al.*, 2022). La probabilidad y el riesgo de los incendios se incrementan más con la sequía y los fuertes vientos (Agbeshie *et al.*, 2022).

Los incendios forestales influyen negativamente en los ecosistemas afectando la estructura, composición, densidad, productividad, patrones de vegetación paisajístico y los recursos edáficos e hidrológicos Pascual (2011). Influye también en la disminución de la población, efecto borde de bosque, extinción y migración de especies nativas como de flora y fauna (Nandakumar, 2023). Sin embargo, ha sido también parte de la formación y modelación de los diferentes ecosistemas, dependiendo del grado y la intensidad. Generalmente los incendios de mayor grado e intensidad se producen cuando se quema la acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo en menor o mayor grado de descomposición alcanzando profundidades considerables, modificando y alterando las propiedades físicas y químicas del suelo (Úbeda & Francos, 2018).

La alteración de las propiedades físicas y químicas puede producirse a corto, mediano y largo plazo, los efectos inmediatos se producen como resultado de la liberación de productos químicos en la ceniza. La combustión de la biomasa y la materia orgánica produce la liberación de diferentes gases y contaminantes a la atmósfera (Hardy *et al.*, 1998), además, los efectos de un incendio forestal a largo plazo pueden persistir muchos años o incluso ser permanentes (Kirkpatrick *et al.*, 2006).

II. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de incendios forestales históricos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en el bosque protector Tambillo.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo, en zonas alteradas, zonas en transición y zonas no alteradas.
- Caracterizar las coberturas vegetales en zonas alteradas, zonas en transición y zonas no alteradas.
- Establecer las diferencias a nivel de propiedades del suelo y riqueza florística en las zonas alteradas, zonas en transición y zonas no alteradas.

III. Revisión Bibliográfica

3.1 Información general del Área Protegida Comunitaria Tambillo

En la provincia de Morona Santiago cantón Gualaquiza parroquia de San Miguel de Cuyes se encuentra el área natural protegida comunitaria Tambillo, el 25 de marzo de 1991 fue declarada como área de Bosque y Vegetación Protectores, por el Ministerio del Medio Ambiente (MAE), con una superficie total de 3104 hectáreas, en el cual se han registrado 350 especies de flora y fauna (75 especies de aves y 22 especies de mamíferos). Finalmente, el 03 de mayo del 2018 el bosque fue elevado a la máxima categoría de Área Protegida Comunitaria del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, siendo la primera área protegida en recibir esta distinción (Tambillo Forest, 2021).

Hace aproximadamente unos 50 años atrás se produjo un incendio en el que se destruyó alrededor de 150 hectáreas de ecosistemas. Hasta la fecha especies del género Puya y Echevería predominan dicha zona. Se cree que durante el incendio forestal se perdieron las especies vegetales nativas y endémicas. Hasta la fecha, en esta zona se ha restaurado poca o ninguna vegetación que originalmente predominaba esta zona. Además, el suelo ha sufrido cambios en su estructura (Tambillo Forest, 2021).

En el Área Protegida Comunitaria Tambillo, se han identificado tres distintos ecosistemas: el Bosque Andino en la zona alta, el Páramo de pajonal en la zona intermedia y el Bosque Nublado en la parte baja (Arévalo & Matute, 2015).

3.2 Incendios Forestales

Los incendios forestales se han convertido en un problema grave a nivel mundial y son una de las principales causas que modifican drásticamente diferentes ecosistemas forestales, dejando como resultado más de 17 millones de hectáreas del bosque amazónico intervenido o quemado cada año según reporta (RAISG) Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (Praeli, 2023).

Ecuador es uno de los países con mayor diversidad a nivel mundial, no solamente por el número de especies que existe por unidad de área, sino también por los distintos tipos de ecosistemas que posee (Sarango *et al.*, 2019). Una de las principales causantes de pérdida de biodiversidad en nuestro país son los incendios forestales, mismos que traen consigo impactos complejos sobre los procesos ecológicos, debido a la variabilidad de las estructuras del paisaje y las diferentes respuestas de la vegetación (González, 2017).

3.3 Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo.

Los incendios forestales son los principales causantes de la pérdida de la biodiversidad y esto, por consiguiente, conlleva a la modificación de propiedades físicas y químicas del suelo que a su vez determinan el estado y la calidad del mismo, de modo que las propiedades químicas están directamente relacionadas con la calidad y disponibilidad de nutrientes para las plantas, mientras que las propiedades físicas indican cómo el suelo almacena y provee agua para las plantas (ASHES, 2019).

La alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo producido por los incendios forestales se puede evidenciar en la calidad del suelo, ya sea por los cambios denominados directos o indirectos como la perdida parcial o total de la cubierta vegetal (Mataix & Guerrero, 2007). La modificación de la densidad aparente, variaciones en el valor del pH debido a la acumulación de cenizas y la solubilización de los compuestos procedentes de los mismos, en algunos casos puede tardar años para recuperar su valor inicial antes del incendio (Khanna & Raison, 1986). O también puede ser relativamente rápido el restablecimiento del valor de pH por la erosión de las cenizas (Mataix *et al.*, 2009).

La conductividad eléctrica (CE) también suele incrementar con los incendios forestales como consecuencia de la solubilización de compuestos que da lugar a la liberación de iones según menciona Mataix *et al.*, (2009), los iones liberados pueden suponer la mejora de fertilidad del suelo en algunos casos, mientras que en otros casos se vuelve un problema y tarda de entre 1 a 2 años para volver a tener valores pre-incendio o hasta incluso más

bajos. El Nitrógeno (N) es también, uno de los elementos más afectados tras los incendios forestales (Prieto, 1996; Raison, 1979).

Como consecuencia de los incendios forestales, se ve afectado el ciclo de nutrientes y disminuye la materia orgánica (MO) (Zornoza *et al.*, 2007). Además, provoca la perdida de diversidad de especies tanto de la microflora y microfauna, la misma que juega un papel importante en el mejoramiento del suelo, es decir, en la transformación y asimilación de materia orgánica, convirtiéndolo en partículas más asimilables para la planta (Calderón *et al.*, 2018).

Según Rosero & Osorio (2013), el ciclo de los nutrientes es afectado por la combustión de la MO acumulada en el suelo y la biomasa disponible, por ende, aumentan la disponibilidad de algunos nutrientes, pero también disminuyen la disponibilidad de otros elementos como Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Azufre (S).

3.4 Estructura

La estabilidad estructural puede aumentar tras un incendio de severidad baja debido a formación de una película hidrofóbica en la superficie externa de los agregados (Mataix & Doerr, 2004), sin embargo, si el incendio es de severidad alta este puede disminuir drásticamente con la combustión de la MO (Baldía & Martí, 2003).

3.5 Riqueza florística

El Ecuador es considerado el país con mayor diversidad florística, nativa y endémica que brinda servicios ecosistémicos según menciona Jadán *et al.*, (2017); la diversidad y la composición florística son los atributos más importantes para caracterizar cada comunidad vegetal así lo afirma Quito & Serrano (2022). Sin embargo, esta se ve amenazada por el constante avance de frontera agrícola, la tala de árboles y los incendios forestales (León & Endara, 2023).

3.6 Relación de la cobertura vegetal con los incendios forestales

Diferentes especies vegetales de un ecosistema responden de forma específico al efecto del fuego, las especies adaptadas a un ecosistema en particular, toleran de la mejor manera el calor y las altas temperaturas y tienen un mecanismo propio de regeneración natural (Jaksic & Fariña, 2015). En especies no adaptadas, la resistencia y la tolerancia al fuego es baja o nula, con mayor riesgo de mortalidad, aunque la intensidad sea baja (Jaksic & Fariña, 2015).

La preservación de los individuos vegetales de una comunidad depende específicamente de la tolerancia al fuego, resistencia a la incineración de las semillas presentes en la planta o disponibles en el suelo, la capacidad de regeneración de las plantas dañadas o la colonización con especies que están a su alrededor (Whelan, 2009).

Las especies leñosas pueden soportar de mejor manera un incendio forestal de intensidad baja, sin embargo, si la intensidad es alta pueden sufrir daños irreversibles y su regeneración natural será más difícil y demorada. Esto dependerá de la facilidad de dispersión de las semillas de áreas cercanas no afectadas. Las especies herbáceas son más susceptibles a la incineración, sin embargo, tiene mayor probabilidad de regeneración natural y sucesión en áreas quemadas (Jaksic & Fariña, 2015).

3.7 Índice de Shannon

Este índice es el más usado para cuantificar la biodiversidad específica, refleja la heterogeneidad de una comunidad bajo dos factores específicos: la riqueza de especies que contempla la cantidad de especies presentes en un área de estudio y la abundancia que indica la cantidad relativa de individuos de cada una de las especies (Pla, 2006).

El resultado de la ecuación en la mayoría de ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5 donde valores menores a 2 indica diversidad baja de especies y valores por encima de 3 indica diversidad alta de especies, pero un ecosistema excepcionalmente rico puede superar valores de 5 (Flores, 2019).

3.8 Índice de Simpson

Este índice muestra la probabilidad de que dos especies extraídos al azar de una muestra finita pertenezca a la misma especie. Se utiliza para medir la abundancia y la equidad de las especies de una localidad, ya que, mientras más alta es la probabilidad menos diversa es la comunidad y viceversa. Valores cercanos a 1 indica alta dominancia de una especie y valores cercanos a 0 indica baja dominancia de especies en una población (Kiernan, 2023). El índice de Simpson suele expresarse como su inverso ($1/D$) o su complemento ($1 - D$) conocido también como Gini-Simpson (Kiernan, 2014).

3.9 Índice de Margalef

Este índice permite estimar la biodiversidad de una comunidad y relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos, donde los valores inferiores a 2 son zonas de baja diversidad y valores superiores a 5 indican alta diversidad (Herrera, 2023).

IV. Materiales y métodos

4.1 Ubicación y descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Amazonía Ecuatoriana en el espacio correspondiente al Área Protegida Comunitaria Tambillo, al cual el Ministerio del Ambiente incorporó al Sistema Nacional de Áreas Protegidas como la primera área protegida comunitaria del Ecuador en 2018. Es un ecosistema de bosque de neblina montano el mismo que está situado a una altura que va desde los 2400 a 3100 m s.n.m. Con temperatura media anual de 14°C, precipitación media anual de 3505 mm y Humedad relativa de 85 %. El área está ubicada en la parroquia San Miguel de Cuyes del cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago y cubre una superficie total de 3104 hectáreas de bosque, vegetación y fuentes hídricas (MAE, 2018). Del cual se trabajó en las 96.129 hectáreas, considerando la representatividad en cuanto a las 3 zonas de estudio, uniformidad en la pendiente y accesibilidad al área de estudio.

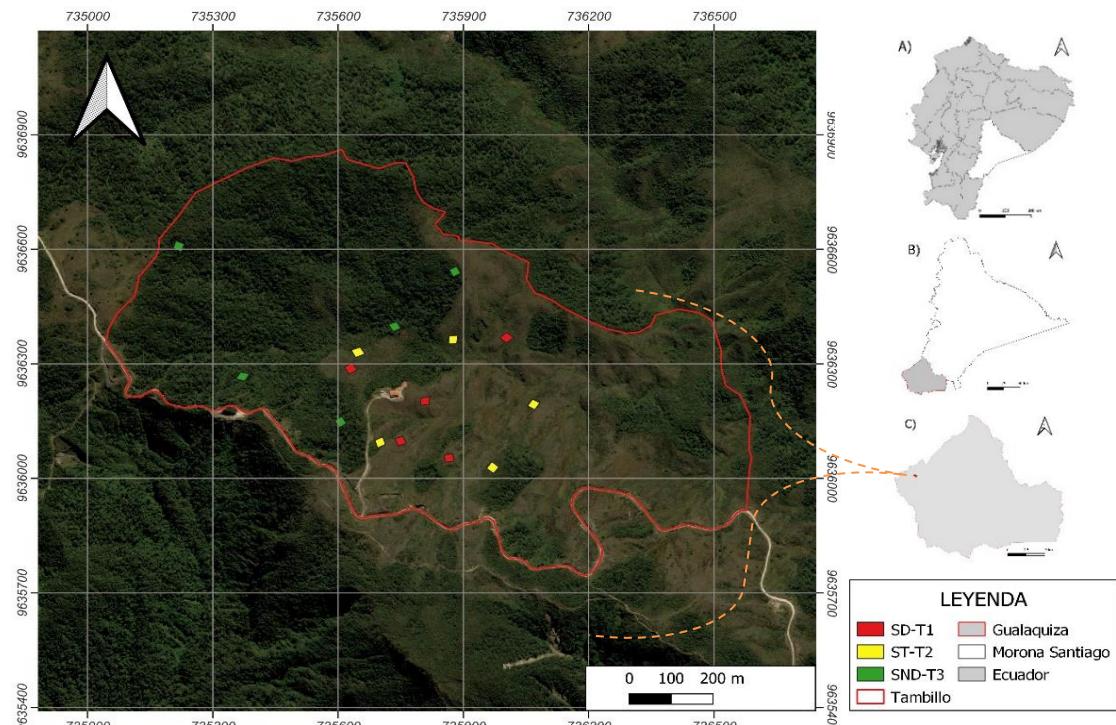


Figura 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio: A) a Nivel Nacional, B) a Nivel Provincial C) a Nivel Cantonal. Zonas alteradas (SD), Zonas en transición (ST), Zonas no alteradas (SND).

4.2 Diseño Experimental

El diseño experimental que se aplicó fue uno de tipo completamente al azar (DCA), en donde se utilizó los diferentes tipos de cobertura del suelo como tratamientos (T1, T2 y T3).

En este estudio las zonas alteradas (T1) son aquellas donde predominan la vegetación herbácea post incendio, las zonas en transición (T2) son aquellas donde predominan especies arbustivas post incendio y las zonas no alteradas (T3) donde prevalecen las especies leñosas constituyendo el testigo. La unidad experimental consistió en una parcela de 400 m² (20m x 20m) como se representa en la Figura 2a, dentro del cual se instaló 3 subparcelas (Sp) de 100 m² (10m x 10m). Dentro de las Sp se tomó 3 submuestras (Sbm) para ejecutar el objetivo específico uno como se muestra en la Figura 2, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente dentro de cada tratamiento, en zonas que cumplieron ciertas condiciones de pendiente (entre 15° - 20°), para que cada unidad experimental sea homogénea en cuanto a la topografía. Cada tratamiento contó con 5 repeticiones.

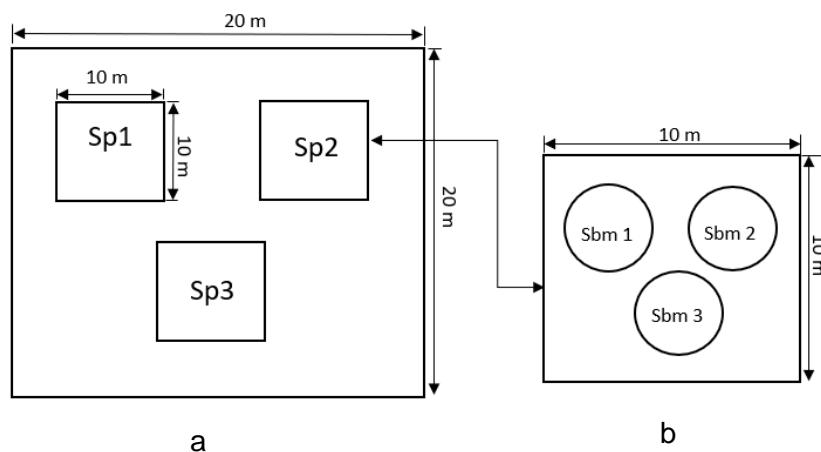


Figura 2. a) Parcela de 400 m² para la caracterización de coberturas vegetales. b) Subparcelas de 100 m² y submuestras para análisis de suelo.

Fuente: (Cadena et al., 2020), (Quito & Serrano, 2022)

4.3 Metodología para el objetivo específico uno: “Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en zonas alteradas, zonas en transición y en zonas no alteradas”.

a). Se instaló las parcelas después de la aleatorización respectiva tomando en cuenta la accesibilidad y la pendiente entre 15 a 20°; de igual manera aspectos relevantes como la predominancia de especies herbáceas en un 95% para el T1, especies arbustivas en un 85% para el T2 y especies leñosas en un 80% para el T3.

Se utilizó un GPS para la geo-referenciación, un clinómetro para determinar la pendiente, cinta métrica, piola plástica y estacas de madera para la delimitación de la parcela.

b) La toma de muestra se realizó a una profundidad de 20 cm en el horizonte A, exceptuando el horizonte O que conforma la hojarasca. Se tomó muestras inalteradas para

determinar la densidad aparente y estructura. Para evaluar las propiedades químicas, textura, densidad real y porosidad del suelo se tomó 2 kg de muestra alterada a la misma profundidad, una vez tomadas las muestras se colocó en fundas plásticas y se etiquetó respectivamente.

c) El procesamiento se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. Las muestras alteradas se colocaron en bandejas para que se sequen al ambiente, posterior a ello se utilizó un tamiz de 2 mm para filtrar las muestras y obtener material homogéneo para preparar las muestras compuestas.

4.3.1 Análisis de muestras

4.3.1.1 Análisis físicos

4.3.1.1.1 Densidad aparente

Para determinar esta variable se tomó las muestras utilizando cilindros de kopecky. Estas muestras fueron procesados en el laboratorio de la siguiente manera:

- Se tomó el peso húmedo de la muestra.
- Se secó en la estufa a 105°C por 24 horas.
- Se tomó el peso de la muestra seca.
- Se tomó el peso y las medidas del cilindro para calcular el volumen respectivo.

Con los datos obtenidos, utilizando la siguiente fórmula se calculó la Densidad aparente.

$$Da = \frac{(Peso\ seco\ del\ suelo + anillo) - (peso\ del\ anillo)}{Volumen\ del\ anillo}$$

4.3.1.1.2 Densidad real

Para la determinación de la densidad real se utilizó el Método del Picnómetro, el cual consistió en utilizar el suelo seco, el peso del picnómetro y el agua. Luego se empleó la siguiente fórmula para el cálculo respectivo.

$$Dr = \frac{Pss}{Pss - ((Pss + agua) - Pag) \times D. agua}$$

P_{ss} = suelo seco – el peso del picnómetro seco y vacío.

P_{ss} + agua = peso del suelo seco + agua sin picnómetro.

P_{ag} = peso del agua sin el peso del picnómetro.

D. Agua = Densidad del agua.

4.3.1.1.3 Porosidad

La porosidad se obtuvo mediante cálculo matemático con los valores obtenidos de la densidad aparente y la densidad real utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Porosidad} = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) \times 100$$

4.3.1.1.4 Textura

Esta variable se determinó aplicando el método de Bouyoucos, para ello se utilizó el hidrómetro que valora los porcentajes de arena, limo y arcilla mediante la separación de estas partículas de acuerdo a su tamaño. Para aplicar este método primeramente las muestras de suelo ya tamizado se secaron a 105°C durante 24 horas, posteriormente, se pesó 20 g de suelo y se colocó en un vaso con agua destilada, a esto, se le agregó 20 ml de hexametafosfato de sodio utilizado para separar las partículas. Esta solución se mezcló en la batidora durante 15 minutos (Figura 3).



Figura 3. Mezcla de la solución en la batidora

Seguidamente, se lavó la mezcla con agua destilada. La arena fue separada de la arcilla y limo mediante un tamiz de 63 µm (0.063 mm). Las fracciones de limo y arcilla se colocaron en una probeta de 1000 ml y se aforo con agua destilada, después, se realizaron mediciones de densidad con el hidrómetro a los 50 segundos, 5 minutos, 2 horas, 16 horas y 24 horas (Figura 4). El procedimiento consistió básicamente en medir la densidad de la suspensión, la cual está en función de la concentración y tipo de partículas presentes. La fracción de la arena retenida en el tamiz se colocó en un recipiente y se procedió a secar a 105° C por 24 horas (Figura 5).

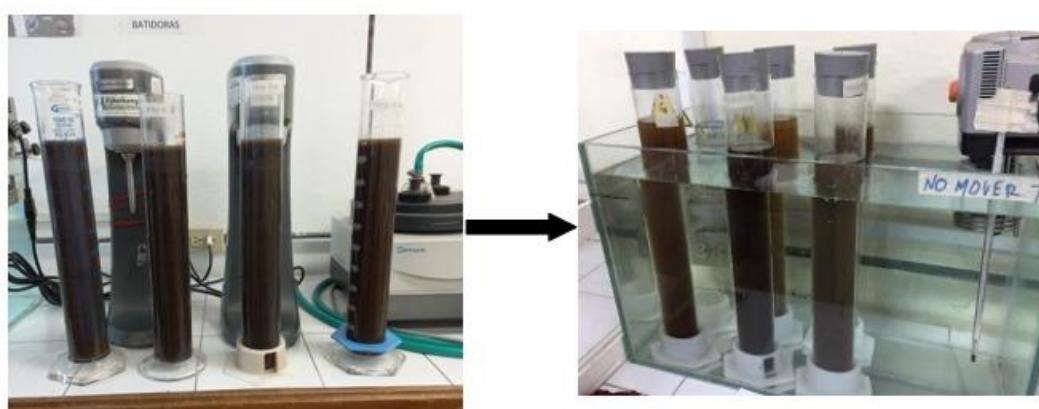


Figura 4. Proceso para medir la densidad con el hidrómetro



Figura 5. Fracción de arena seca

El cálculo de la textura por el método del Bouyoucos presenta restricciones en cuanto a la separación de partículas sobre todo en suelos formados a partir de cenizas volcánicas, por lo que los resultados pueden presentar errores. De modo que el método producirá una separación incompleta de las partículas debido a los complejos orgánico-minerales que forman pseudo agregados de arenas y limos (Llambí *et al.*, 2012).

4.3.1.1.5 Estructura del suelo

Los agregados del suelo se pueden describir de manera cualitativa mediante la observación de características morfológicas en campo y de manera semicuantitativa. Según Peerlkamp (1957), evaluó de manera semicuantitativa la estructura del suelo utilizando la técnica de evaluación visual de suelo (VESS) midiendo el tamaño de los agregados, la fuerza empleada para romper, la conectividad de los poros, el color y las raíces, de igual manera Ball *et al.*, (2007) categoriza como calidad estructural (Sq) de 1 a 5 donde 1 se refiere a una estructura buena y 5 un suelo de estructura pobre (Figura 6), esto citado por Guimaraes *et al.*, (2011).

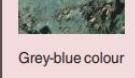
Structure quality	Size and appearance of aggregates	Visible porosity and Roots	Appearance after break-up: various soils	Appearance after break-up: same soil different tillage	Distinguishing feature	Appearance and description of natural or reduced fragment of ~ 1.5 cm diameter
Sq1 Friable Aggregates readily crumble with fingers	Mostly < 6 mm after crumbling	Highly porous Roots throughout the soil			 Fine aggregates	 The action of breaking the block is enough to reveal them. Large aggregates are composed of smaller ones, held by roots.
Sq2 Intact Aggregates easy to break with one hand	A mixture of porous, rounded aggregates from 2 mm –7 cm. No clods present	Most aggregates are porous Roots throughout the soil			 High aggregate porosity	 Aggregates when obtained are rounded, very fragile, crumble very easily and are highly porous.
Sq3 Firm Most aggregates break with one hand	A mixture of porous aggregates from 2 mm –10 cm; less than 30% are <1 cm. Some angular, non-porous aggregates (clods) may be present	Macropores and cracks present. Porosity and roots both within aggregates.			 Low aggregate porosity	 Aggregate fragments are fairly easy to obtain. They have few visible pores and are rounded. Roots usually grow through the aggregates.
Sq4 Compact Requires considerable effort to break aggregates with one hand	Mostly large > 10 cm and sub-angular non-porous; horizontal/platy also possible; less than 30% are <7 cm	Few macropores and cracks All roots are clustered in macropores and around aggregates			 Distinct macropores	 Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, in cube shapes which are very sharp-edged and show cracks internally.
Sq5 Very compact Difficult to break up	Mostly large > 10 cm, very few < 7 cm, angular and non-porous	Very low porosity. Macropores may be present. May contain anaerobic zones. Few roots, if any, and restricted to cracks			 Grey-blue colour	 Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, although considerable force may be needed. No pores or cracks are visible usually.

Figura 6. Metodología utilizada para determinar la calidad estructural del suelo.
Fuente: (Guimaraes *et al.*, 2011).

La estructura del suelo se estimó utilizando indicadores semicuantitativos, basado en la metodología mejorada de calidad estructural (Sq) realizado por Guimaraes *et al.*, (2011), para ello se extrajo muestras de suelo de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. Este método consistió en recolectar con una pala, una tajada de suelo inalterado cuyas dimensiones deben ser de 25 cm de profundidad, 10 cm de largo y 20 cm de ancho,

posteriormente fue dividido de forma manual a lo largo de planos de fractura entre agregados.

Para evaluar la resistencia de los agregados, se empleó fuerza progresiva primero utilizando los dedos, luego la mano y posteriormente las dos manos. Además, se asignaron rangos que va de 1 al 5, donde 1 Sq significa que el suelo tiene una buena estructura y un 5 Sq significa que tiene una mala estructura. Los atributos visuales que se consideró para esta evaluación fueron: el tamaño de las partículas, la fuerza aplicada para romper, cantidad y calidad de los poros, disposición de las raíces y el color de las partículas como se muestra en la (Figura 6).

4.3.1.2 Análisis químicos

Las propiedades químicas que se analizaron fueron: El pH y la CE (Conductividad eléctrica), estas propiedades se analizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

El N (Nitrógeno), P (Fosforo), K (Potasio), Mg (Magnesio), Ca (Calcio), Zn (Zinc), Cobre (Cu), Mn (Manganeso), Hierro (Fe) y MO (Materia orgánica) se enviaron 250 g de suelo seco y tamizado al laboratorio del INIAP Estación experimental del Austro ubicada en Gualaceo. La acidez intercambiable (Al+H) se analizó en el laboratorio del INIAP Estación Experimental Santa Catalina ubicado en la provincia de Pichincha, para la cual se envió 500 g de suelo seco.

Tabla 1. Se enumeran los parámetros que fueron determinados con sus métodos estandarizados y las unidades correspondientes:

Variables	Metodología	Unidades
pH	Potenciometría	
CE	Extracto de pasta saturada	dS/m
N		
P	Colorimetría	ppm
K		
Mg	Absorción Atómica	meq/100mL
Ca		
Zn		
Cu	Absorción Atómica	ppm
Mn		
Fe		
MO	Oxidación vía Húmeda (método Walkley & Black)	%
Al+H	Titulación NaOH	ppm

4.4 Metodología para el objetivo específico dos: “Caracterizar las coberturas vegetales en zonas alteradas, zonas en transición y en zonas no alteradas”**4.4.1 Caracterización de las coberturas vegetales**

La caracterización de las coberturas vegetales se realizó basándose en la metodología propuesta por (Aguirre & Aguirre, 1999, citado por (Aguirre & Bustamante, 2009). Para esto se procedió a extraer una muestra de cada parcela, el cual se codificó en el cuaderno de campo, así mismo las plantas no conocidas se evidenciaron con una fotografía, el prensado correspondiente y un código específico, para su posterior identificación.

En la vegetación herbácea se caracterizó biotipos de tamaño ≥ 5 cm de altitud exceptuando musgos, líquenes y epifitas, ya que estas no necesariamente necesitan del suelo para su desarrollo, en cuanto a la vegetación arbustiva se consideró características descritas por la FAO (2004), es decir plantas leñosas generalmente de más de 0.5 m y menos de 5 m de altura en su madurez y sin una copa definida. Para las especies leñosas se consideraron biotipos que tengan ≥ 5 cm de DAP (Aguirre & Bustamante, 2009).

Para la identificación se procedió a contabilizar e identificar taxonómicamente hasta el género: los individuos herbáceos, arbustos y leñosos, con la información adquirida por las personas conocedoras de las especies. Además, la identificación de los individuos se realizó mediante la información de docentes con conocimiento en el área e información relevante de sitios web como el Herbario Azuay – Universidad del Azuay, Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador (Minga & Navas, 2016) y la aplicación PlantNet.

Para determinar la riqueza y dominancia florística se empleó índice de Shannon, índice de Margalef e índice de Simpson. Los índices se determinaron en función de todo lo que contiene el inventario por cada tratamiento después de hacer la identificación y contabilización de los individuos de cada género.

El índice de Shannon se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^s P_i + \ln(P_i)$$

H' = Índice de Shannon, S = Número de especies P_i = Proporción del número total de individuos que constituye la especie.

Para el índice de Margalef se utilizó la siguiente formula:

$$DMg = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Donde: \ln = logaritmo natural (base e), S = número de especies y N = el número total de individuos

Para calcular el índice de Simpson (S) se utilizó la siguiente formula:

$$S = \frac{1}{\sum \frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}}$$

ni = Número de individuos en la i -ésima especie, N = Número total de individuos.

4.5 Metodología para el objetivo específico tres: “Establecer las diferencias a nivel de propiedades del suelo y riqueza florística de acuerdo a los 3 diferentes tipos de cobertura”

Este objetivo se efectuó con la comparación de cada una de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo a los tipos de cobertura y a los resultados de índice de riqueza florística, para esto, previamente se armó una base de datos que incluye las propiedades físicas y químicas del suelo, y los diferentes índices. Posterior a esto, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk y homogeneidad de Levene para verificar si las variables presentaban una distribución normal y homogeneidad de varianzas. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas en las propiedades físicas-químicas del suelo en los diferentes tipos de cobertura.

Adicionalmente, se realizó una correlación de Pearson mediante el Software R, con la finalidad de evaluar las relaciones entre las diferentes propiedades del suelo y los índices de riqueza florística. Para interpretar la correlación de Pearson se tomaron los valores entre positivos y negativos que oscilan entre -1 y +1, lo que nos indica que valores menores a 0 presentan una correlación negativa, es decir, que las variables están asociadas en sentido inverso, mientras que si un valor es mayor que 0 nos indica que existe una correlación positiva, en este caso, las variables estarían asociadas en sentido directo (Lalinde *et al.*, 2018).

V. Análisis de Datos

5.1 Análisis descriptivo de variables edafológicas y de cobertura vegetal.

Para los dos primeros objetivos, se empleó estadística descriptiva. Se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación) para caracterizar: i) las variables edafológicas y ii) las variables de cobertura vegetal.

Para la interpretación de las variables se basó en la clasificación de los valores según Hazelton & Murphy (2017).

El coeficiente de variación se utilizó principalmente para evaluar la variabilidad con respecto a la media en las diferentes variables en estudio, este parámetro fue analizado según el criterio de Chinchilla *et al.*, (2011), en el cual valores inferiores a 30 % son considerados de baja variabilidad u homogéneo, valores entre 30 % y 70 % variabilidad moderada u heterogéneo y valores superiores a 70 % de alta variabilidad o muy heterogéneo.

5.2 Análisis inferencial para comparar índices de riqueza florística y propiedades del suelo

Para el tercer objetivo, se utilizó estadística inferencial para comparar los índices de riqueza florística y las propiedades del suelo entre los 3 tratamientos.

Se consideró la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas para seleccionar las pruebas adecuadas y se realizaron pruebas de ANOVA, para determinar si existen diferencias significativas en los índices de riqueza florística y las propiedades del suelo entre los tres tipos de cobertura vegetal. Además, se realizaron pruebas no paramétricas (Kruskal – Wallis) con datos que no cumplieron con los supuestos.

Se interpretaron los resultados de las pruebas estadísticas, considerando los valores de $p<0.05$, para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Para el análisis se utilizó el software estadístico R.

VI. Resultados

6.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo y la cobertura vegetal

6.1.1 Análisis exploratorio de datos: propiedades físicas y químicas del suelo

En la Tabla 2 se presenta la estadística descriptiva para los datos de propiedades físicos y químicos del suelo obtenidos en nuestra investigación.

Tabla 2. *Estadística Descriptiva de las propiedades de suelo (Media, ME, D.E, CV) para cada uno de los tratamientos estudiados en el “Área Protegida Comunitaria Tambillo”*

Variables	Unidades	T1				T2				T3			
		Media	ME	D.E	C.V(%)	Media	ME	D.E	C.V(%)	Media	ME	D.E	C.V(%)
DA	g cm ⁻³	0.49	0.51	0.08	16.3*	0.45	0.36	0.18	40**	0.31	0.29	0.08	25.8*
D. real	g/cm ³	2.26	2.29	0.15	6.6*	2.16	2.13	0.17	8.1*	2.15	2.13	0.48	22.5*
Arena	%	48	52	7.16	15*	54	52	6.32	11.7*	54.4	56	5.54	10.2*
Limo	%	19	18	5.93	31.2**	16.4	16	3.20	19.5*	13.6	12	3.26	24*
Arcilla	%	33	32	2.83	8.6*	29.6	28	4.63	15.6*	32	32	3.35	10.5*
Estructura	Sq	3.20	3.5	0.63	19.8*	2.95	3.3	0.81	27.5*	1.63	1.5	0.45	27.3*
Porosidad	%	78.2	78.3	2.91	3.7*	77.8	82.2	9.90	12.7*	85.5	85.5	3.88	4.5*
Nitrógeno	ppm	57.8	69.7	19.6	34**	73.5	89.9	25.42	34.6**	64	59.6	14.49	22.6*
Fósforo	ppm	12.9	13.3	6.25	48.4**	20.3	20	2.65	13.1*	17.3	19.2	4	23.1*
Potasio	meq/100mL	0.09	0.09	0.01	10.2*	0.16	0.13	0.07	42.7**	0.12	0.12	0.01	8.2*
Magnesio	meq/100mL	0.33	0.33	0.02	6*	0.36	0.37	0.05	13.9*	0.35	0.34	0.02	5.8*
Calcio	meq/100mL	1.2	1.21	0.07	5.8*	1.09	1.04	0.28	25.7*	1.11	1.04	0.13	11.7*
Al+H	ppm	8.2	8.36	0.33	4*	9.44	9.37	1.18	12.5*	8.34	8.15	1.03	12.4*
Zinc	ppm	7.18	7.1	6.15	85.7***	5.38	2.4	4.66	86.6***	2.2	2.1	0.34	15.5*
Cobre	ppm	1.78	1.8	0.5	28.1*	2.42	2.4	0.68	28.1*	2.6	2.5	0.37	14.2*
Manganoso	ppm	4.7	4.5	1.26	26.8*	4.52	4.3	1.37	30.3*	3.94	3.8	1.21	30.7**
Hierro	ppm	104	1140	469	45.2**	172	2070	838	48.7**	153	1670	479	31.3**
pH	-	4.43	4.4	0.29	6.5*	4.32	4.3	0.13	3*	4.08	4	0.13	3.2*
CE	dS/m	0.06	0.06	0.01	16.7*	0.06	0.06	0.02	33.3**	0.07	0.06	0.01	14.3*
MO	%	17.1	15.3	4.51	26.4*	17.1	17.3	2.71	15.9*	18.1	17.8	3.68	20.3*

Nota: Da (Densidad aparente), D. real (Densidad Real), CE (Conductividad eléctrica), MO (materia orgánica), Sq (Calidad estructural), ME (Mediana), D.E (Desviación estándar), C.V (Coeficiente de variación): se simbolizó de la siguiente manera (poco variable u homogéneo ≤ 30 %*), (variabilidad moderada u heterogéneo 30 % < CV ≤ 70 % **) y (alta variabilidad o muy heterogéneo > 70 % ***).

En base a la clasificación e interpretación de los valores de las propiedades del suelo por (Hazelton & Murphy, 2017), se encontró que los valores medios de densidad aparente que se determinaron de las propiedades del suelo en los diferentes tratamientos presentaron valores bajos de 0.31 a 0.49 g cm⁻³, de igual forma, los niveles de pH estudiados mostraron valores de 4.08 a 4.43 y se clasificaron como suelos muy ácidos.

Así mismo, las propiedades químicas del suelo como el potasio, magnesio y calcio, mostraron niveles muy bajos, bajos y muy bajos respectivamente, de acuerdo a sus valores medios, según la clasificación e interpretación Hazelton & Murphy (2017). Para los contenidos de MO en los tres tratamientos presentaron valores medios de 17.1 a 18.1% (niveles muy altos).

La textura del suelo se describió como franco-arcillo-arenoso para todos los tratamientos por los porcentajes de arena, limo y arcilla. De igual forma, la estructura que se analizó de manera semicuantitativa, el T1 y T2 de acuerdo a la interpretación de Guimaraes *et al.*, (2011), presentaron valores medios de 3.20 Sq y 2.95 Sq respectivamente, lo que indican, una estructura moderada, mientras que el T3 mostró una media de 1.63 Sq, indicando una buena estructura.

En cuanto al coeficiente de variación (CV), según la categorización de Chinchilla *et al.* (2011), las variables físicas del suelo en los tres tratamientos se comportaron de manera similar con una variabilidad baja (< 30%), a excepción de la Da en el T2 que presentó un CV de 40 % (variabilidad moderada), mientras que las propiedades químicas en los diferentes tratamientos indicaron baja variabilidad y una variabilidad moderada, excepto el Zinc que en el T1 y T2 presentaron valores > 70%, es decir una alta variabilidad .

6.2 Caracterización de las coberturas vegetales

Tabla 3. Caracterización de especies vegetales en el T1, identificados taxonómicamente hasta género y determinación de los índices de riqueza y dominancia florística.

Herbáceas					
Familia	Género	Nº de plantas	I. Shannon	I. Simpson	I. Margalef
Bromeliaceae	<i>Puya</i>	15011			
Poaceae	<i>Calamagrostis</i>	2480			
Cyperaceae	<i>Carex</i>	138			
Poaceae	<i>Pseudosasa</i>	51	0.60	0.68	0.37
Iridaceae	<i>Orthrosanthus</i>	14			
Poaceae	<i>Cortaderia</i>	211			
Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus</i>	242			
Arbustos					
Ericaceae	<i>Bejaria</i>	79			
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	144			
Ericaceae	<i>Hesperomeles</i>	2			
Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	130			
Sapindaceae	<i>Cupania</i>	25			
Melastomataceae	<i>Miconia</i>	97			
Melastomataceae	<i>Brachyotum</i>	48			
Asteraceae	<i>Baccharis</i>	358	1.87	0.20	1.52
Ericaceae	<i>Gaultheria</i>	23			
Myrsinaceae	<i>Myrsine</i>	10			
Asteraceae	<i>Loricaria</i>	10			
Caprifoliaceae	<i>Valeriana</i>	16			
Asteraceae	<i>Andicolea</i>	33			
Ericaceae	<i>Macleania</i>	91			
Ericaceae	<i>Calluna</i>	6			
Cunoniaceae	<i>Weinmannia</i>	13			

En la Tabla 3 se muestra el total de las especies vegetales identificados taxonómicamente hasta su género. En total se identificaron 23 géneros en 12 familias distintas, entre las familias botánicas que más sobresalen en este tratamiento: son las ericáceas que abarca 6 géneros, las asteráceas con 4 géneros y las poaceas con 3 géneros distintos respectivamente.

El género *Puya* y *Calamagrostis* con un total de 15011 y 2480 plantas respectivamente, son los que mayor presencia tuvieron en este tratamiento (Tabla 3). Esto hace que el índice de Simpson sea alto indicando la dominancia de una o dos especies, tal es el caso del género *Puya*. De manera general en el T1 el índice de Shannon y Margalef indica diversidad baja y moderada de especies.

Tabla 4. Caracterización de especies vegetales en el T2, identificados taxonómicamente hasta género y determinación de los índices de riqueza y dominancia florística

		Herbáceas			Arbustos						
Familia	Género	Nº de plantas	I. Shannon	I. Simpson	I. Margalef	Familia	Género	Nº de plantas	I. Shannon	I. Simpson	I. Margalef
Poaceae	<i>Pseudosasa</i>	343				Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	328			
Poaceae	<i>Cortaderia</i>	267				Ericaceae	<i>Macleania</i>	165			
Poaceae	<i>Deschampsia</i>	22				Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	478			
Bromeliaceae	<i>Puya</i>	493				Sapindaceae	<i>Cupania</i>	23			
Smilacaceae	<i>Smilax</i>	71				Asteraceae	<i>Baccharis</i>	79			
Orobanchaceae	<i>Pedicularis</i>	14				Cunoniaceae	<i>Weinmannia</i>	161			
Xanthorrhoeaceae	<i>Phormium</i>	12				Myrsinaceae	<i>Myrsine</i>	28			
Asteraceae	<i>Mutisia</i>	1	1.40	0.31	1.09	Asteraceae	<i>Cacosmia</i>	40			
Polygalaceae	<i>Muehlenbeckia</i>	10				Rosaceae	<i>Hesperomeles</i>	21			
Poaceae	<i>Calamagrostis</i>	75				Polygalaceae	<i>Monnina</i>	25			
Iridaceae	<i>Orthrosanthus</i>	16				Rubiaceae	<i>Palicourea</i>	18			
Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus</i>	889				Melastomataceae	<i>Brachyotum</i>	16	1.87	0,17	1.92
Poaceae	<i>Chusquea</i>	147				Ericaceae	<i>Bejaria</i>	25			
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	94				Ericacea	<i>Gaultheria</i>	12			
Asteraceae	<i>Hieracium</i>	14				Passifloraceae	<i>Passiflora</i>	14			
Árboles											
Clusiaceae	<i>Clusia</i>	19				Asteraceae	<i>Ageratina</i>	139			
Clethraceae	<i>Clethra</i>	40				Viburnaceae	<i>Viburnum</i>	15			
Melastomataceae	<i>Axinaea</i>	5				Hypericaceae	<i>Hypericum</i>	6			
Miricaceae	<i>Morella</i>	11	0.73	0.39	0.46	Asteraceae	<i>Loricaria</i>	3			
Primulaceae	<i>Myrsine</i>	144				Asteraceae	<i>Aristeguietia</i>	377			
Celastraceae	<i>Maytenus</i>	80				Ericaceae	<i>Pernettya</i>	53			
Cunoniaceae	<i>Weinmannia</i>	61				Melastomataceae	<i>Miconia</i>	898			
						Rosaceae	<i>Rubus</i>	169			

En la Tabla 4 se muestra el inventario total de especies vegetales identificados hasta género en el T2, donde predomina la vegetación arbustiva.

Se describió los individuos en 45 géneros diferentes, identificados en 22 familias distintas, dentro de las familias botánicas se encontró alta diversidad. En donde, las familias más representativas fueron las asteráceas que abarcan 8 géneros distintos, seguido por ericáceas y poaceas que abarcan 5 géneros diferentes cada uno. Dentro de los que más sobresalen encontramos también a las familias botánicas como melastomataceae y rosaceae con 3 géneros distintos respectivamente.

Los individuos más predominantes están asociados a la vegetación arbustiva y herbácea perteneciente a los géneros: *Miconia* con 898, *Vaccinium* con 478, *Paepalanthus* con 889 y *Puya* con 493 plantas, también, se identificaron árboles del género *Myrsine* y *Maytenus* con 144 y 80 individuos respectivamente.

Mediante la determinación de Índices de Shannon, Simpson y Margalef se aprecia la diversidad baja-moderada tanto para la vegetación herbácea y arbustiva, sin embargo, para los árboles los índices de Shannon y Margalef presentan baja diversidad. Mientras que para el Índice de Simpson los valores muestran baja dominancia en el tratamiento en general.

Tabla 5. Caracterización de especies vegetales en el T3, identificados taxonómicamente hasta género y determinación de los índices de riqueza y dominancia florística.

En la Tabla 5 se presenta la identificación taxonómica de las plantas hasta su género. Se contabilizó los individuos de 37 géneros identificados en 25 familias botánicas, cabe mencionar que en este tratamiento existe una gran diversidad de familias. Del total de géneros identificados 17 de ellos están asociados al tipo de vegetación leñosa o árboles, donde predomina el género *Miconia* con 120 y *Weinmania* con 16 individuos entre árboles y arbustos. Además, se identificó un número importante de árboles del género *Clusia* y *Ocotea* con 25 y 29 individuos respectivamente.

Con los datos obtenidos se calculó los índices respectivos, en donde muestra que el índice de Simpson es bajo, es decir, que no hay una especie dominante y que todas las especies están distribuidas de manera relativamente uniforme. En general el índice de Shannon indica diversidad baja dentro del T3, mientras que el índice de Margalef nos muestra una diversidad moderada en los árboles, lo que nos indica que existe una gran cantidad de especies arbóreas presentes en la zona.

6.2.1 Análisis exploratorios de datos: cobertura vegetal

Para el análisis de los datos obtenidos de los índices de diversidad se utilizó estadística descriptiva en donde se evaluaron de igual manera las medias, medianas, desviación estándar y coeficiente de variación (Tabla 6).

Tabla 6. Estadística Descriptiva (Media, ME, D.E, CV) de los índices de diversidad para cada uno de los tratamientos de estudio en el “Área Protegida Comunitaria Tambillo

Variable	Tratamiento	Media	ME	D.E	C.V(%)
Índice de Shannon	T1	1.23	1.50	0.78	63**
	T2	1.33	1.40	0.60	45**
	T3	1.32	1.23	0.50	38**
Índice de Simpson	T1	0.44	0.28	0.33	76***
	T2	0.29	0.23	0.21	73***
	T3	0.31	0.33	0.14	45**
Índice de Margalef	T1	0.95	0.90	0.64	67**
	T2	1.16	0.96	0.80	69**
	T3	1.09	0.82	0.71	65**

Nota: ME (Mediana), D.E (Desviación estándar), C.V (Coeficiente de variación): se simbolizó de la siguiente manera (poco variable u homogéneo $\leq 30\%*$), (variabilidad moderada u heterogéneo $30\% < CV \leq 70\%**$) y (alta variabilidad o muy heterogéneo $> 70\%***$).

Con el índice de Shannon (H') se determinó la diversidad máxima en función al número de individuos y si están distribuidas homogéneamente. Los resultados mostraron que los tres tratamientos presentan una diversidad moderadamente baja, con valores de H' por debajo de 2. En el T1 se identificaron 19232 individuos en total, entre la vegetación herbácea y arbustiva con un valor medio de 1.23 y un CV de 63 %.

Para el T2 se contabilizó 5921 individuos distribuidos entre herbáceas, arbustos y árboles con un valor medio de 1.33 y con CV de 45 %, mientras que en el T3 se contabilizó un total de 776 individuos entre herbáceas, arbustos y arboles con un valor medio de 1.32 y CV de 38%. El coeficiente de variación presentó variabilidad moderada en los tres tratamientos, lo que indica una variabilidad considerable en la abundancia de las especies, es decir, que algunas especies son más abundantes que otras.

En cuanto al índice de Simpson, que mide la dominancia de las especies, se observan diferencias entre los tres tratamientos. El T1 presenta un valor medio de 0.44, lo que indica una mayor dominancia en comparación con T2 (0.29) y T3 (0.31). Esto indica que en T1 una especie o un grupo reducido de especies concentran una mayor proporción de la abundancia total, como es el caso del género Puya, mientras que en T2 y T3 la distribución de la abundancia es más equitativa entre las diferentes especies. El coeficiente de variación complementa este análisis. El T1 y T2 presentan valores de CV similares de 76% y 73%, respectivamente, lo que indica una alta variabilidad en la abundancia de las especies en estos tratamientos. En contraste, el T3 presenta un CV de 45%, es decir una variabilidad moderada, sugiriendo una distribución de la abundancia menos desigual.

En la Tabla 6 también se presenta el índice de Margalef, una medida de la biodiversidad basada en la distribución numérica de las especies. Los valores medios para los tratamientos T1, T2 y T3 son 0.95, 1.16 y 1.09, respectivamente. Esto indica que la diversidad es baja en los tres tratamientos. Sin embargo, es importante considerar el coeficiente de variación. En este caso, el T1 tiene un CV del 67%, mientras que T2 y T3 tienen valores de 69% y 65%, respectivamente, lo que indica una variabilidad moderada, es decir, que algunas especies son más abundantes que otras.

6.3 Propiedades del Suelo y Riqueza Florística: Análisis Comparativo en Tres Coberturas Vegetales

6.3.1 Análisis de datos

Se verificó el cumplimiento de los supuestos de la estadística tanto de Normalidad como Homogeneidad de varianza para las diferentes propiedades del suelo y los índices de riqueza florística en los tres tipos de cobertura.

Para el análisis de Normalidad de los datos obtenidos se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.01$) para cada una de las variables. En cuanto al análisis de Homogeneidad las variables fueron sometidos a la prueba estadística de Levene ($p > 0.01$) (Tabla 7).

Tabla 7. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk $p > 0.01$) y Homogeneidad (de Levene $p > 0.01$) para las variables físicas y químicas del suelo y los índices de riqueza florística.

Variables	valor de p	
	Normalidad	Homogeneidad
DA	0.071	0.066
D. real	5.408e-05	0.071
Arena	0.832	0.935
Limo	0.043	0.875
Arcilla	0.609	0.533
Estructura	0.005	0.440
Porosidad	0.017	0.022
Nitrógeno	0.401	0.790
Fósforo	0.069	0.549
Potasio	0.030	0.275
Magnesio	0.292	0.113
Calcio	0.618	0.074
Acidez intercambiable	0.109	0.319
Zinc	0.322	0.143
Cobre	0.965	0.484
Manganoso	0.84	0.951
Hierro	0.751	0.525
pH	0.091	0.368
CE	0.388	0.019
MO	0.057	0.226
I. Shannon	0.011	0.015
I. Simpson	0.017	0.208
I. Margalef	0.013	0.972

Nota: Los valores en **negrita** no cumplieron prueba de supuesto Normalidad.

Los resultados que se obtuvo luego de realizar la prueba de Normalidad en cada una de las variables en los diferentes tratamientos, se lograron determinar que todos los datos presentaron Normalidad, excepto las variables físicas como la densidad real y la estructura que mostraron un valor de $p = 5.408e-05$ y un valor de $p = 0.005$ respectivamente (Tabla

7). En el caso del supuesto Homogeneidad se pudo verificar que todas las variables mostraron Homogeneidad en los datos.

Para las variables que no presentaron normalidad se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis ($p<0.05$) como se muestra en la (Tabla 8). En donde, los diferentes tratamientos mostraron diferencias significativas en la variable estructura. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la densidad real.

Tabla 8. Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis ($p<0.05$).

Prueba no Paramétrica de Kruskal -Wallis	
Variables	Valor de p
Densidad Real	0.164
Estructura	0.0000165

En la Tabla 9 se muestran los resultados del ANOVA de las propiedades del suelo y los diferentes índices, donde se presenta el valor de significancia en los diferentes tratamientos. Si el valor de $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que los datos presentan diferencias significativas, es decir que al menos uno de los tratamientos es diferente.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) en las propiedades físicas y químicas del suelo y los índices de riqueza, para los tres tratamientos. Con un nivel de significancia valor de $p < 0.05$

Variables	Valor de p
Densidad aparente	0.0005**
Arena	0.317*
Limo	0.25*
Arcilla	0.432*
Porosidad	0.0025**
Conductividad eléctrica	0.309*
pH	0.038**
Materia orgánica	0.885*
Nitrógeno	0.488*
Fosforo	0.070*
Potasio	0.038**
Magnesio	0.475*
Calcio	0.595*
Acidez intercambiable	0.107*
Zinc	0.242*
Cobre	0.072*
Hierro	0.24*
Manganoso	0.631*
I. Shannon	0.011**
I. Simpson	0.236
I. Margalef	0.035**

Nota: valores ($< 0.05^{**}$) presentan significancia y ($> 0.05^*$) no presentan significancia

En base a los datos proporcionados en esta tabla, nos muestra que las siguientes variables presentaron diferencias significativas: las propiedades del suelo como la densidad aparente con un valor de $p = 0.0005$, porosidad con 0.0025, pH con 0.038 y potasio con un valor de $p = 0.038$. En cuanto a los índices de diversidad, tanto el índice de Shannon como el índice de Margalef presentan un nivel de significancia menor a 0.05, lo que indica diferencias significativas en la diversidad y riqueza de especie. En el caso, de las variables restantes no presentaron diferencias significativas.

A continuación, se muestran gráficas de barras para entender las variables que presentaron diferencias significativas.

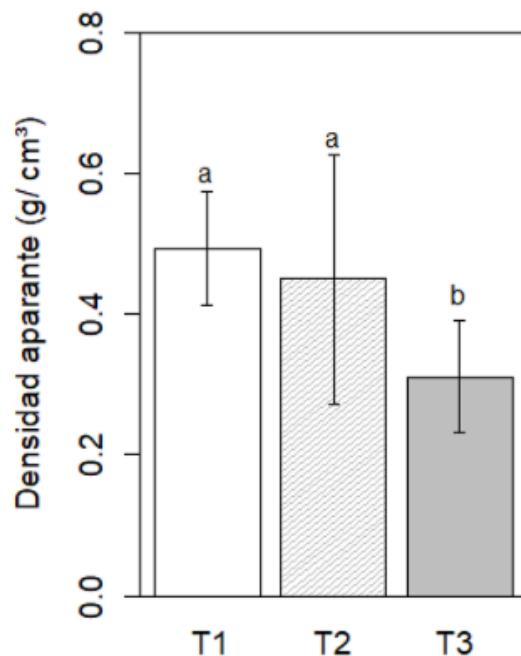


Figura 7. Gráfico de barras que representan los valores diferentes entre los tratamientos de la densidad aparente (g/cm^3).

En la Figura 7 se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos para la variable densidad aparente, el cual presentó dos grupos (a y b) que representan la diferencia entre los tratamientos, es decir que el T1 y T2 presentan densidades aparentes promedio similares, pero diferentes al T3.

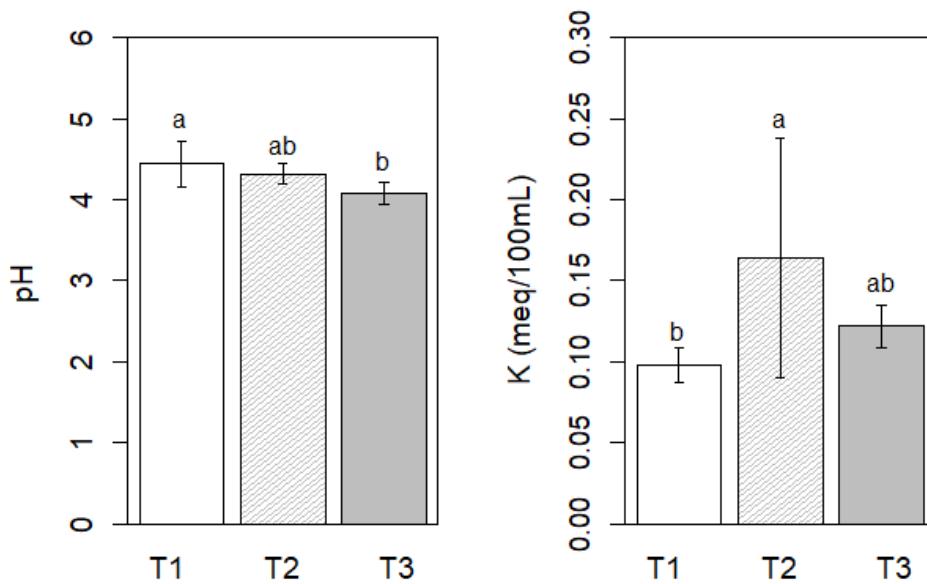


Figura 8. Gráfico de barras que representan los valores diferentes entre los tratamientos de la variable pH y K (meq/100mL).

En cuanto a las variables químicas del suelo: el pH y el potasio (K), mostraron diferencias entre significativas entre los tratamientos. Se identificaron tres grupos (a, b y ab) para cada variable. Los grupos "a" y "b" indican que los tratamientos dentro de cada grupo presentan diferencias significativas entre sí. El grupo "ab", por otro lado, indica que no hay diferencias entre los tratamientos que se encuentran dentro de ese grupo (Figura 8).

En el caso del pH, se observa una diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T3, aunque el T2 es igual o similar al T1 como al T3. Por su parte, para el K los tratamientos T1 y T2 presentan diferencias significativas sí, pero el T3 presenta valores equivalentes tanto a T1 como a T2.

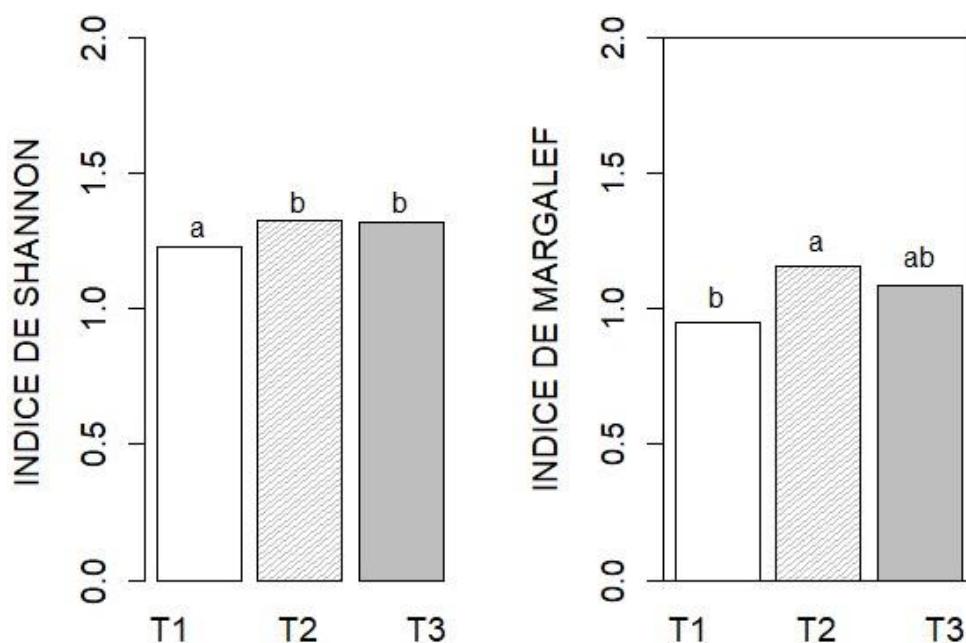


Figura 9. Gráfico de barras que representa las diferencias entre los tres tratamientos del índice de Shannon y Margalef.

Los resultados presentados en la figura 9, muestran las diferencias entre los tratamientos tanto para el índice de Shannon como para el índice de Margalef. De acuerdo al ANOVA, el índice de Shannon mostró diferencias significativas, identificándose en distintos grupos (a, b, y b) que corresponden a los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente, indicando que el T1 es significativamente diferente de T2 y T3, aunque el T2 no presenta diferencias significativas con el T3. El índice de Margalef también mostró diferencias, evidenciando tres grupos estadísticamente diferentes (b, a, y ab). En este caso, los tratamientos T1 y T2 presentan diferencias significativas entre sí, mientras que T3 no muestra una diferencia en comparación con los otros tratamientos dentro del grupo ab.

En el Anexo 4 se muestran los resultados de la comparación de medias (Tukey) de los tratamientos estudiados, donde se muestra que los valores medios de las variables presentaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos.

6.3.2 Relaciones entre las propiedades del suelo y Riqueza florística

Para evaluar las relaciones entre las propiedades del suelo y la diversidad florística se analizó mediante la correlación de Pearson, el cual nos indica las relaciones que hay entre las variables en los diferentes tratamientos de manera positiva y negativa. Por lo tanto, para tener una relación más a fin, se analizó una correlación por separado es decir por tratamiento.

En los diferentes tratamientos (T1, T2 y T3), se puede apreciar las relaciones entre las variables físicas y químicas del suelo y los índices de riqueza y diversidad florística. En la Tabla 10 se puede observar una correlación positiva entre el índice Shannon con las variables CE, Fe y P. A medida, que aumentan los valores de conductividad eléctrica, hierro y fósforo en el suelo, también lo hace el índice de Shannon, lo que significa que la riqueza y diversidad florística también aumentan, mientras que las correlaciones negativas con estructura, K y MO sugieren un efecto adverso sobre estas variables, es decir que un aumento en los valores de las propiedades del suelo ya mencionadas se asocia con una disminución en el índice de Shannon, lo que significa que la riqueza y diversidad florística disminuyen.

Las correlaciones positivas observadas con el índice Simpson entre el Zn y Mn indica un aumento en la dominancia de algunas especies, mientras que las correlaciones negativas con MO y K indica que existe una relación inversa, es decir, que un mayor contenido de MO y K en el suelo se asocia con un aumento en la diversidad de especies.

El índice de Margalef muestra una correlación positiva con las siguientes variables: CE, Fe, Cu, N, Da y P, lo que nos indica un aumento en la riqueza de especies vegetales. Por otro lado, presenta una correlación negativa con el pH, MO, Ca, Mg y Al+H, lo que nos refleja una disminución en la riqueza de especies vegetales.

Tabla 10. Análisis de correlación entre las propiedades del suelo y riqueza florística en el T1 (Zonas alteradas).

Nota: Valores positivos indican correlación positiva y valores negativos indican correlación negativa. MO (Materia orgánica), Ar (Arena), Li (Limo), Arc (Arcilla), N (Nitrógeno), P (Fósforo), K (potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), Zn (Zinc), Cu (Cobre), Fe (Hierro), Mn (Manganoso), Al+H (Acidez intercambiable), Da (Densidad aparente), CE (Conductividad eléctrica), D.re (Densidad real), Es (Estructura), I. Sh (Índice de Shannon), I.S (Índice de Simpson), I.M (Índice de Margalef).

Tabla 11. Análisis de correlación entre las propiedades del suelo y riqueza florística en el T2 (Zonas en Transición)

Nota: Valores positivos indican correlación positiva y valores negativos indican correlación negativa. MO (Materia orgánica), Ar (Arena), Li (Litio), Arc (Arcilla), N (Nitrógeno), P (Fósforo), K (potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), Zn (Zinc), Cu (Cobre), Fe (Hierro), Mn (Manganoso), Al+H (Acidez intercambiable), Da (Densidad aparente), CE (Conductividad eléctrica), D.re (Densidad real), Es (Estructura), I. Sh (Índice de Shannon), I.S (Índice de Simpson), I.M (Índice de Margalef).

En la Tabla 11, se observa la relación positiva que existe entre el índice Shannon con las variables Al+H, Cu, Mg y Ca. Esta correlación nos indica que un mayor contenido de estas propiedades del suelo se asocia con un aumento en la riqueza y diversidad florística. Por otro lado, se identifica una correlación negativa con el N, P y Fe, indicando que niveles más altos de estos nutrientes pueden estar asociados con una menor diversidad de especies.

En cuanto al índice de Simpson, se evidencia una correlación positiva con los elementos Ca, Mg y Cu, lo que nos indica que un aumento en estos elementos puede estar asociado con una mayor dominancia de ciertas especies en el ecosistema. Por otro lado, se observa una correlación negativa con las variables de N, P, K y Fe, indicando que niveles más altos de estos nutrientes están relacionados con una menor diversidad específica.

Así mismo, al analizar el índice de Margalef se observa una correlación positiva con las variables: Cu, Mg y Ca. Esto implica que un incremento en estas variables está relacionado con una mayor riqueza de especies según lo medido por el índice de Margalef. De igual manera, se muestra una correlación negativa con el N, P, Fe y Es, lo que evidencia una menor diversidad de especies en el ecosistema.

Tabla 12. Análisis de correlación entre las propiedades del suelo y riqueza florística en el T3 (Zonas no alteradas).

Nota: Valores positivos indican correlación positiva y valores negativos indican correlación negativa. MO (Materia orgánica), Ar (Arena), Li (Litio), Arc (Arcilla), N (Nitrógeno), P (Fósforo), K (potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), Zn (Zinc), Cu (Cobre), Fe (Hierro), Mn (Manganoso), Al+H (Acidez intercambiable), Da (Densidad aparente), CE (Conductividad eléctrica), D.re (Densidad real), Es (Estructura), I.Sh (Índice de Shannon), I.S (Índice de Simpson), I.M (Índice de Margalef).

En la Tabla 12 se muestra las correlaciones entre las propiedades del suelo y los diferentes índices de diversidad florística en el T3. Se observa, una correlación positiva entre el Índice de Shannon con la MO, N, K, Fe, CE y Al+H, lo que indica que estas propiedades favorecen la presencia de una mayor variedad de especies. No obstante, este índice también se correlaciona negativamente con el pH, Ca y estructura.

Por otro lado, el índice de Simpson muestra una correlación positiva con la CE, lo que sugiere que esta propiedad también favorece la presencia de una mayor variedad de especies. En contraste, el índice de Simpson se correlaciona negativamente con el Mn.

El índice de Margalef presenta una correlación positiva con el N, K, Zn, Cu, Fe, Al+H y CE. De manera similar al índice de Shannon, el índice de Margalef se correlaciona negativamente con el pH, Ca y Da. Estas correlaciones indican que ciertos nutrientes y características del suelo pueden influir significativamente en la diversidad florística en el T3.

VII. Discusión

La duración de los cambios inducidos por el fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo no se conoce bien, ya que, la mayoría de los estudios se limitan a los primeros años después del incendio, y sólo unos pocos amplían más el período de estudio (Xofis *et al.*, 2023).

7.1 Efecto de los incendios sobre las propiedades del suelo.

De los tres tratamientos estudiados, las propiedades físicas y químicas del suelo: la Da, pH y K presentaron diferencias significativas por efecto del fuego. En las zonas alteradas (T1), se determinó un aumento en el pH y la densidad aparente a diferencia de las zonas en transición (T2) y zonas no alteradas (T3). En este contexto, respecto a la densidad aparente coincidimos con los resultados obtenidos por Goforth *et al.*, (2005) y Chandra & Bhardwaj (2015) quienes demostraron que cuando los incendios son de alta gravedad, la densidad aparente tiende a aumentar en valor y genera una mayor compactación del suelo. Así mismo, Cerdà & Doerr (2008) demostraron que el aumento de la densidad aparente se debe al colapso de los agregados y la obstrucción de los poros por cenizas y minerales arcillosos dispersos. Como consecuencia, la porosidad del suelo disminuye a medida que la densidad aparente aumenta cuando las cenizas alcanzan los primeros centímetros del suelo. Por el contrario, Certini (2005) nos dice en su estudio realizado “sobre efecto de fuego en las propiedades de suelo”, que un incendio de baja gravedad provocó una disminución del valor de la densidad aparente y una menor compactación del suelo. Por lo que coincidimos con el

autor ya que, en nuestro estudio, la zona en transición (T2) presento un valor bajo en comparación con el T1. Esto podría deberse a la mayor cantidad de materia orgánica del suelo aportada por la vegetación que no fue completamente quemada. Además, el T3, es más bajo que el T1 y T2 por lo que asimilamos que no hubo incidencia de fuego en el bosque, de acuerdo con lo que estos autores mencionan.

Po otro lado, Carrión *et al.*, (2022) en su investigación realizada sobre “Efecto de la severidad de incendios sobre las propiedades físicos – químicos en el Sur del Ecuador a una altura de 2100 a 3420 m s.n.m” menciona que después del incendio la densidad aparente en el suelo quemado presenta un valor de 0.33 g cm^{-3} y en el suelo no quemado 0.30 g cm^{-3} . A su vez, realizaron análisis de la Da en el transcurso de un año, el mismo que demostró que con el pasar del tiempo estos valores aumentaron de 0.33 a 0.50 g cm^{-3} y de 0.30 a 0.46 g cm^{-3} , por esta razón, creemos que los datos de Da obtenidos en nuestra investigación cambiaron con el pasar del tiempo.

Durante los incendios forestales, se producen pérdidas de biomasa y capas orgánicas, como resultado se añaden cenizas ricas en nutrientes a la superficie del suelo. Esto aumenta el pH, debido a la liberación de iones procedentes de la combustión de la materia orgánica (Agbeshie *et al.*, 2022). También, el aumento del pH se debe al mayor contenido de óxidos, hidróxidos y carbonatos de potasio y sodio en las cenizas (Marfella *et al.*, 2023). Por otro lado, varios investigadores han documentado un aumento del pH después de un incendio de alta intensidad (Dzwonko *et al.*, 2015; Akburak *et al.*, 2018; Francos *et al.*, 2019).

Carrión *et al.*, (2023) en su investigación realizada sobre “Efectos de incendios en las propiedades Fisicas-Químicas en un paramo de Ecuador a una altura de 3050 m s.n.m” afirma que el pH se vio afectado por el fuego. Los valores de pH determinados oscilaron entre 4.1 y 4.5, lo que indica una acidez óptima para el desarrollo de las plantas en estos ecosistemas. De acuerdo a los valores obtenidos en nuestra investigación, concordamos con lo expuesto por Carrión-Paladines *et al.*, (2023), ya que en nuestra investigación, se observó que el pH en los tres tratamientos (T1, T2, T3) presentaron valores de 4.4, 4.3 y 4.0 respectivamente. En el T1 se identificó un aumento con respecto al T3, se cree que existe esta variabilidad por el efecto del incendio. A pesar de que el incendio se produjo hace muchos años, encontramos esta diferencia significativa en el pH. Sin embargo, Neary *et al.*, (2005), menciona que estos cambios en el pH no son persistentes durante mucho tiempo y el aumento en el pH puede depender del pH inicial, el contenido de nutrientes y la cantidad de ceniza depositada, así mismo, Mataix (1999) nos dice que el tiempo de recuperación del

pH afectado por un incendio forestal va a depender de varios factores; de la intensidad, la duración, cantidad de materia orgánica quemado y acumulación de cenizas. Pero tambien Mataix (1999) asevera que el tiempo de recuperación del pH puede tardar alrededor de 50 años, por tanto, coicidimos con estos autores, ya que, según nuestra investigacion deducimos que el pH se estabilizo, debido a que el incendio se produjo hace aproximadamente 50 años, y creemos que el pH pudo haberse recuperado durante este tiempo, mencionamos esto debido a que el pH encontrado en nuestros resultados, se encuentran dentro del rango de los suelos de paramo como lo menciona Borja *et al.*, (2008), que en el Ecuador los suelos de páramo son ácidos y poseen valores promedio de pH que van desde 3.9 a 5.8 debido a su situación geográfica.

Por el contrario, otros informes indicaron que el pH se mantuvo sin cambios después del incendio (Badía *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2015; Fultz *et al.*, 2016; Downing *et al.*, 2017). Esto podría estar asociado con las condiciones ambientales posteriores al incendio. De igual manera los datos encontrados por Marfella *et al.*, (2023) en su investigación realizada 5 años después de la quema, no confirmaron un aumento en el pH. De hecho, el pH en todos los sitios quemados disminuyó leve pero significativamente en comparación con el control; en el control el pH aumentó según reporte en el primer año después del incendio. Del mismo modo, Ubéda (1998) en su trabajo realizado, comprobó que el pH aumentó con la intensidad del incendio y 2 años más tarde este valor disminuyó.

Por otro lado, varios autores como Granged *et al.*, (2011); Maynard *et al.*, (2014); James *et al.*, (2018) mencionan que el aumento de las concentraciones de cationes intercambiables ($\text{Ca } 2+$, $\text{Mg } 2+$, $\text{K } +$ y $\text{Na } +$) en los suelos después del incendio puede ser de corta duración y pronto regresar a sus niveles previos al incendio. Debido a sus altos umbrales de vaporización, las pérdidas de cationes intercambiables pueden surgir de la erosión de las cenizas y la lixiviación de cationes, junto con la absorción de las plantas durante la sucesión posterior al incendio. Así mismo, Martínez *et al.*, (1991) comentan que el potasio, el magnesio y el calcio experimentan incrementos tras el incendio de hasta cuatro veces sus valores iniciales; sin embargo, el incremento del potasio desaparece rápidamente, y a los cuatro meses de ocurrido el fuego sus valores son similares a los iniciales, y a los dos años pueden llegar a ser inferiores. Nuestros resultados apoyan esta observación, ya que, como se muestra en la Figura 7, estadísticamente el T1 y T2 son similares al T3, lo que sugiere que con el tiempo los valores del Potasio se restablecieron de manera similar al tratamiento control (T3).

En otras investigaciones realizadas por Dimitrakopoulos & Martin (1994) y Carrión *et al.*, (2022), se menciona que, si el suelo alcanza temperaturas entre los 700 a 900°C, la disponibilidad del K disminuye notablemente por efecto de la volatilización y la dispersión de las arcillas. Además, si no existe reposición de este elemento por parte de la MO tras el incendio, este elemento se verá reducido. Al comparar estos hallazgos con nuestros resultados, observamos que en el T1 la concentración de potasio es de 0.09 *meq/100mL*, en el T2 es de 0.16 *meq/100mL*, y en el T3 es de 0.12 *meq/100mL*, 50 años después del incendio. Estos valores indican que, aunque posiblemente hubo una volatilización inicial del potasio debido a posibles altas temperaturas del incendio, con el tiempo, se ha producido una cierta recuperación. La diferencia en los valores podría indicar una variabilidad en la reposición de potasio por la materia orgánica y otros factores ambientales que influyen en la regeneración del suelo. La menor cantidad de potasio en T1 podría estar relacionada con una menor incorporación de materia orgánica o una mayor pérdida inicial, mientras que los valores en T2 muestran una recuperación más significativa, probablemente debido a la reposición gradual de nutrientes y la estabilización de las condiciones del suelo.

Según Carrión *et al.*, (2023) en su investigación realizada en un ecosistema similar al de nuestro estudio, se observó un aumento en el K inmediatamente después del incendio. Un año más tarde, este disminuyó hasta estabilizarse en su valor inicial. Estas observaciones resaltan la importancia del factor tiempo en el estudio de estos elementos. Nuestros resultados coinciden con esta observación, ya que muestran cómo la concentración de potasio se ha ajustado a lo largo de 50 años, reflejando la dinámica temporal de la reposición y estabilización de nutrientes en el suelo.

Los componentes de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) presentan altos umbrales de temperatura y generalmente no son afectados por el fuego. La arcilla, sin embargo, es la más sensible, comenzando a modificarse a temperaturas de 400°C y siendo completamente destruida entre 700°C y 800°C. Así mismo, para afectar la arena o el limo se necesitarían temperaturas superiores a 1.414°C, situaciones que raramente se presentan (Beyers *et al.*, 2008). No obstante, algunos estudios indican que las temperaturas del suelo durante un incendio forestal no son suficientes para cambiar significativamente la distribución de partículas (Certini, 2005; Christensen, 1994). A pesar de que la arcilla puede disminuir, muchos investigadores no han encontrado cambios significativos en la textura del suelo (Scharenbroch *et al.*, 2012; Heydari *et al.*, 2017; Moya *et al.* 2019). Los resultados de nuestro estudio, que no presentaron diferencias significativas en la textura del suelo, apoyan esta observación, ya que, se esperaría una reducción en la arcilla debido posiblemente a las altas temperaturas, pero, como han transcurrido 50 años desde el incendio, no podemos

determinar si las temperaturas fueron altas o bajas, por lo que, es posible que el paso del tiempo haya permitido la recuperación y estabilización de las características texturales del suelo.

Por otro lado, según la literatura informada por Giovannini *et al.*, (1990); Kennard & Gholtz (2001) nos dicen que a pesar de la pérdida inicial de materia orgánica, poco después del incendio tiende a recuperar sus valores previos al incendio en un período que oscila entre unos pocos meses y 3 años, dependiendo del grado de destrucción. Para que esta recuperación suceda se debe principalmente a la regeneración natural o incorporación de las especies vegetales en el suelo como también las condiciones ambientales, ya que este favorece la acumulación de materia orgánica en el suelo.

Por otro lado, nuestros resultados mostraron un coeficiente de variación bajo y moderado en las propiedades del suelo a diferencia del zinc que en el T1 y T2 presenta un CV alto, en comparación del T3, que tuvo una baja variabilidad. Estudios como los de Beyers *et al.*, (2008) y Certini (2005) han demostrado que los incendios forestales pueden causar volatilización de ciertos nutrientes, incluida la redistribución del zinc en el suelo. Este proceso puede causar una alta variabilidad inicial en las concentraciones de zinc debido a la heterogeneidad de la deposición de cenizas y la mezcla del suelo. Además, Johnson *et al.*, (2004); Carter & Foster (2004) han señalado que la recolonización de la vegetación y la incorporación de nueva materia orgánica pueden crear una distribución heterogénea de nutrientes. Las plantas pioneras y la sucesión ecológica pueden resultar en un mosaico de microambientes con diferentes concentraciones de zinc. Esto puede explicar la alta variabilidad observada en T2, ya que la zona está en proceso de recuperación y estabilización de los nutrientes. La baja variabilidad en el T3 podría deberse a la estabilidad del suelo y la vegetación que no han sido perturbadas por incendios, ya que (Wan *et al.*, 2001; Duran *et al.*, 2010) mencionan que la acumulación constante y uniforme de materia orgánica y la estabilidad del microambiente resultan en una distribución más homogénea de zinc. En contraste, la alta variabilidad de zinc en T1 y T2 comparado con del T3, pueden ser explicados también, por los efectos inmediatos y a largo plazo del incendio forestal, así como por los procesos de recuperación ecológica.

7.2 Efecto de los incendios sobre la cobertura vegetal.

Según Reyes (2023) en su investigación sobre la “Influencia de los incendios forestales en la composición y estructura de combustibles vegetales en zonas quemadas”, expone los resultados de su investigación indicando cambios en la estructura y composición del bosque

en términos de riqueza, diversidad y regeneración natural, así como también una pérdida de biomasa. Al comparar estos resultados con los nuestros, hemos evidenciado cambios en la cobertura vegetal. En el T1 predomina la vegetación herbácea, sin evidencia de árboles; en el T2 identificamos la regeneración y sucesión natural, donde ya se observan árboles; mientras que el T3 (control), que no fue afectado por el fuego, actúa como un indicador claro de las condiciones previas a los incendios, ofreciéndonos una visión más precisa de cómo era el área antes de las perturbaciones.

Considerando la investigación de Oliveras *et al.*, (2013) en un ecosistema de bosque de Neblina Montano, se identificaron arbustos y especies de tamaño mediano y pequeño, así como especies herbáceas que surgieron después de un incendio, además, se observó la ausencia de especies leñosas en la zona quemada, incluso después de transcurridos 15 años desde el incendio. Al comparar estos resultados con los obtenidos en nuestra investigación, corroboramos lo expuesto por estos autores ya que en el T1 (Tabla 3), se observa una dominancia de especies herbáceas como el género *Puya* y una escasa presencia de especies arbustivas de tamaño reducido. Por otro lado, en el T2 (Tabla 4), se identificaron especies arbustivas con mayor diversidad, junto con la presencia de algunos árboles de tamaño mediano y pequeño.

En la caracterización de las coberturas vegetales en el T1 o zona alterada mostró gran presencia del género *Puya* alrededor de 15011 individuos, de igual manera en el resultado que se obtuvo al realizar el análisis del Índice de Simpson presento mayor dominancia en comparación con los otros tratamientos, así lo menciona Villaseñor & Sáiz (1990) donde señalan que las especies del género *Puya* se pueden clasificar como “no afectadas” por el fuego, pues, a pesar de sufrir incendios sus ejemplares continúan con su crecimiento vegetativo e incluso florecen durante esa misma temporada, de igual manera Ramírez *et al.*, (2014) nos dicen que en su investigación realizada en la anatomía de hojas quemadas de *Puya* después del incendio, se observó que las hojas afectadas por el fuego continúan su crecimiento tal como si nunca se hubiesen quemado. Los resultados mostraron que las hojas de esta especie tienen estructuras clave, para no verse afectadas por el fuego y continuar con su crecimiento sin tener la necesidad de renovarlas.

Por otro lado, Muso (2023), menciona que las especies con mayor recuperación y dominancia parcial después del incendio, pertenecen a las familias botánicas de Asterácea y Poaceas. Dentro de la familia Asteráceae se encontró el género *Baccharis*, mientras que en la familia Poaceae se identificaron los géneros *Cortaderia* y *Calamagrostis*. Los autores sugieren que estas familias podrían presentar características que les confieren resistencia a

las condiciones extremas después al incendio. Estos resultados coinciden con nuestra investigación, en el cual identificamos géneros de las mismas familias botánicas regenerándose en el T1 y en el T2.

Además, Stein *et al.*, (2014); White & Pickett (1985), mencionan que un coeficiente de variación alto en los índices de riqueza y diversidad florística puede deberse a la heterogeneidad ambiental, ya que, la variación en las condiciones ambientales, influenciada por factores como el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y la luz, es uno de los factores más importantes que rigen los gradientes de la riqueza de especies, sin embargo, los incendios forestales pueden crear mosaicos de hábitats en diferentes estados de sucesión, lo que puede incrementar o disminuir la diversidad. Los resultados de nuestro estudio apoyan las conclusiones de estas investigaciones, ya que observamos un alto coeficiente de variación en los índices, especialmente en el índice de Simpson en el T1 y T2. Esto sugiere la presencia de una heterogeneidad en la riqueza y diversidad de especies, así como la existencia de mosaicos de hábitat en diferentes etapas de sucesión.

7.3 Relación de las propiedades del suelo y los índices de diversidad y riqueza florística

Los cambios en las propiedades del suelo detectados en los bosques quemados, tales como el incremento del pH y la disminución de algunas de las propiedades del suelo, se asocian principalmente a la combustión de la materia orgánica, que tiene un rol clave en el ciclo de nutrientes, el intercambio de cationes y la retención de agua (Urretavizcaya *et al.*, 2018). Al relacionar esta investigación con nuestro estudio podemos deducir que los cambios observados en nuestros resultados en los tratamientos T1 y T2 pueden estar asociados con el efecto de un incendio ocurrido hace muchos años. En el T1 el pH fue mayor en comparación con los otros tratamientos, además existe una correlación positiva fuerte entre la MO y el pH, este aumento de pH puede atribuirse a la liberación de cationes básicos procedentes de la combustión de la materia orgánica, tanto viva como muerta, como menciona Arocena & Opio, (2003). Esta observación ha sido corroborada por otros autores, como Pardini *et al.*, (2004) y Certini *et al.*, (2011), en estudios sobre incendios naturales. Además, Hernández *et al.*, (2013) informan que suelen encontrarse aumentos en el pH y en la conductividad eléctrica tras los incendios forestales, vinculados a la liberación de cationes básicos tras la quema de los combustibles.

El Fósforo es uno de los elementos más dinámicos en el suelo después de eventos como los incendios, muestra una ligera tendencia a incrementar, lo que puede estar asociado con la mineralización de la MO en el momento de la quema (Camargo *et al.*, 2012), de igual

manera Litton & Santelices (2003) y Alauzis *et al.*, (2004) mencionan que en sus trabajos se registró también un aumento del fósforo intercambiable inmediatamente después del incendio, a diferencia de nuestra investigación, en donde el fosforo es menor en las zonas quemadas, mostrando una correlación positiva con la MO en el T3, por lo que Urretavizcaya *et al.* (2018), nos dicen que la respuesta del fósforo disponible luego del fuego es variable y más difícil de predecir que los otros nutrientes ya que durante el fuego de alta severidad, puede perderse por volatilización.

Mataix (2000) señala en su trabajo, la correlación negativa que hay entre el pH y la CE (0.8), la cual se justifica por el hecho de que es más importante el efecto acidificante de la materia orgánica que la repercusión de las propias sales aportadas, sobre un incremento potencial del pH. Nuestros resultados respaldan esta afirmación, ya que en el T3 se muestra una correlación negativa de -0.7 entre el pH y CE. Este hallazgo subraya la importancia de la materia orgánica en la regulación del pH del suelo, lo que puede tener implicaciones significativas para la gestión del suelo post-incendio y la restauración ecológica. Además, encontramos una correlación negativa entre la Da y M.O en las zonas alteradas (T1), de manera similar ocurre con los resultados de Camargo *et al.*, (2012), quienes mostraron en su investigación que el comportamiento de la Da respondió a los cambios mostrados en la MO, siendo más alta a medida que la MO disminuía, lo que se confirma con el análisis de correlación ($R = -0.66$). Esta relación inversa destaca la importancia de la materia orgánica en la mejora de la estructura del suelo y la reducción de la compactación, lo que es crucial para la regeneración de la vegetación y la recuperación del ecosistema después de un incendio.

El estudio de las relaciones entre las características físicas y químicas del suelo y la diversidad de la flora es fundamental para comprender la ecología de los ecosistemas terrestres. La correlación positiva entre el contenido de hierro en el suelo y el índice de Shannon sugiere que este micronutriente juega un papel significativo en la diversidad de la flora, ya que el hierro es esencial para muchas funciones biológicas en las plantas. Su presencia en niveles adecuados puede promover el crecimiento de una variedad de especies vegetales, contribuyendo así a una mayor diversidad florística. Según Marschner (2012) destaca la importancia del hierro en la nutrición de las plantas, señalando que su deficiencia puede limitar severamente el crecimiento y desarrollo vegetal. De acuerdo con nuestros resultados apoyamos lo expuesto por el autor, debido a que, según nuestros resultados, el Fe fue bajo en el T1 a comparación con el T2 y T3. El T1 no presentó mayor diversidad, por lo que asumimos que el suelo no se ha recuperado en su totalidad y como consecuencia no presenta diversidad de vegetación.

Además, se observó una correlación positiva entre el zinc y manganeso con el índice de Simpson. Esta correlación sugiere que un mayor contenido de Zn y Mn en el suelo se asocia con un aumento en la dominancia de algunas especies y una disminución en la diversidad de especies. Según Marschner (2012), esto puede explicarse por la toxicidad de estos metales para algunas especies vegetales, lo que favorece la dominancia de aquellas más tolerantes, también hace mención a que algunas especies han desarrollado mecanismos de tolerancia a estos metales, lo que les permite sobrevivir y proliferar en suelos con altas concentraciones de Zn y Mn, como es el caso de género *Puya* que muestra una notable tolerancia al zinc debido a adaptaciones fisiológicas y bioquímicas que incluyen la acumulación de metales en tejidos específicos y la activación de sistemas antioxidantes, así lo menciona Haydon & Cobbett (2007). Comparado con nuestros resultados coincidimos con lo mencionado por los autores, debido a que se encontró dominancia del género *Puya* en el T1.

Alloway (2013); Kabata (2010), también encontraron que altos niveles de Zn y Mn en el suelo pueden ser perjudiciales para la mayoría de las plantas, favoreciendo la dominancia de un número limitado de especies tolerantes. Estos autores destacan que la presencia excesiva de estos metales pesados puede alterar significativamente la composición de la vegetación y reducir la diversidad florística.

VIII. Conclusión

Los resultados de nuestro estudio permiten concluir que los incendios forestales tienen un impacto considerable y duradero en las propiedades del suelo, así como en la diversidad florística del Área Protegida Comunitaria Tambillo, afectando diversas propiedades a corto y mediano plazo. Sin embargo, el efecto a largo plazo no se conoce con certeza. Los resultados obtenidos indican que las zonas alteradas presentan una menor riqueza y diversidad de especies en comparación con las zonas no alteradas, lo que refleja que los incendios no solo alteran la composición vegetal, sino que también afectan negativamente la capacidad de regeneración natural de la flora.

En nuestro análisis se observaron diferencias significativas en las variables de pH, potasio (K) y densidad aparente (Da), lo que nos indica que la recuperación del suelo y su funcionalidad ecológica no ha sido completa, incluso después de un tiempo considerable. Según la literatura, el pH es una de las propiedades químicas más afectadas por el fuego y tiende a estabilizarse con el tiempo.

Por otro lado, los índices de diversidad y riqueza florística mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Específicamente, los índices de Shannon y Margalef, que indican diversidad y riqueza de especies, presentaron variaciones notables. Mientras que el índice de Simpson no mostró diferencias significativas, no obstante, el valor medio en T1 indica dominancia con respecto a los otros tratamientos.

En conclusión, este estudio resalta la importancia de implementar estrategias de manejo y restauración en áreas afectadas por incendios forestales para promover la regeneración de las especies nativas y mejorar las condiciones del suelo. Estas acciones son fundamentales para contribuir a la sostenibilidad del ecosistema del bosque de neblina montano y garantizar la conservación de la biodiversidad en el Área Protegida Comunitaria Tambillo.

IX. Recomendaciones

- I. Generar más información con propiedades físicas y químicas del suelo en el Área Protegida Comunitaria Tambillo.
- II. Establecer parcelas con especies nativas y endémicas de la zona con monitoreo constante.
- III. Establecer un experimento incorporando materia orgánica descompuesta y semidescompuesta extraído del T3 (bosque), en las zonas afectados por los incendios forestales, ya que estas disponen de semillas y es un medio natural para la germinación respectiva.

X. Referencias

- Llambí, L., Soto, A., Celleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). Ecología , hidrología y suelos de páramos. *Páramos Andinos* , 238, 239.
- Aaltonen, H., Köster, K., Köster, E., Berninger, F., Zhou, X., Karhu, K., & Pumpanen, J. (2019). Forest fires in Canadian permafrost region: the combined effects of fire and permafrost dynamics on soil organic matter quality. *Biogeochemistry*, 143, 257-274.
- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., & Awuah, R. (2022). A review of the efects of forest fre on soil properties. *J. For. Res.*, 1419-1441. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Aguirre, M. Z., & Bustamante, N. E. (2009). Composición florística, estructura y endemismo en el bosque seco de la reserva natural Laipuna, Macará, Loja. *Biblioteca F.A.R.N.R.* Obtenido de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5357>
- Akburak, S., Son, Y., Makineci, E., & Çakir, M. (2018). Impactos de la quema prescrita de baja intensidad en las propiedades microbianas y químicas del suelo en un bosque de Quercus frainetto. *J para Res*, 29(3):687–696.
- Alauzis , M., Mazzarino, M., Raffaele, E., & Roselli, L. (2004). Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a Nothofagus forest soil. *Forest Ecology and Management*, 192(2-3), 131-142.
- Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. *Springer Science & Business Media*.
- Arévalo, M. A., & Matute, C. S. (2015). Propuesta de tres rutas de aviturismo alternativas para la provincia del Azuay, 2014. *Universidad de Cuenca*.
- Arocena, J., & Opio, C. (2003). Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma*, 113(1-2), 1-16.
- ASHES, T. L. (28 de 03 de 2019). *Incendios forestales*. Obtenido de El Suelo: El Gran perjudicado tras los incendios.: <https://www.ashestolife.es/el-suelo-el-gran-perjudicado-tras-los-incendios/>
- Badía, D., Martí, C., Aguirre, A., Aznar, J., González-Pérez, J., De la Rosa, J., & Echeverría, T. (2014). Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: changes at cm-scale topsoil. *Catena*, 113, 267-275.
- Baldía, D., & Martí, C. (2003). Plant Ash and Heat Intensity Effects on Chemicaland Physical Properties of Two Contrasting Soils. *Arid Land Research and Management*, 23-41. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/15324980301595>
- Ball, B., Batey, T., & Munkholm, L. (2007). Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*, 329 - 337.

- Beyers, J., Brown, J., Busse, M., & Debano, L. (2008). *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soil and water*. Lincoln: University of Nebraska, United States Department of Agriculture, Rocky Mountain Research Station. .
- Bodí, M. B., Cerdà, A., Solera, M. J., & Doerr, S. H. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: Revisión bibliográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 33-55.
- Borja, P., De Biévre, B., & Cisneros, P. (2008). . Desarrollo de funciones de Edafotransferencia para la caracterización hidráulica de Andosoles.
- Boyer, W., & Miller, J. (1994). Effect of burning and brush treatments and soil physical properties in young ongleaf pine stands. . *Forest Ecology and Management*, 311-318.
- Cadena, Z. D., Flores-Garnica, J. G., Flores-Rodríguez, A. G., & Lomelí, Z. M. (2020). Effect of fires on understory vegetation and chemical properties of temperate forest soil. *Agro productividad*, 13(4), 65-72. Obtenido de <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1684>
- Calderón, M. C., Bautista, M. G., & Rojas, G. S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 141-157. Obtenido de <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Camargo, G. J., Dossman, M. Á., Rodríguez, J. A., Arias, L. M., & Galvis, Q. J. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica*, 151-165.
- Campos, C. J. (2020). *Metodologías de muestreo de la diversidad florística*. Jáen - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3767>
- Cárdenas, O. D., & Zapata, F. E. (2015). *Determinación experimental de los cambios en las propiedades físico, químicas en dos diferentes tipos de suelos expuestos a distintas temperaturas simulando incendios forestales*. Quito.
- Carrión, P. V., Fries, A., Hinojosa, M., Oña, A., Álvarez, L., Benítez, A., & García-Ruiz, R. (2023). Effects of Low-Severity Fire on Soil Physico-Chemical Properties in an Andean Páramo in Southern Ecuador. *Fire*, 6-12.
- Carrión, P. V., Hinojosa, M. B., Jiménez, Á. L., Reyes, B. F., Correa, Q. L., & García, R. R. (2022). Effects of the Severity of Wildfires on Some Physical-Chemical Soil Properties in a Humid Montane Scrublands Ecosystem in Southern Ecuador. *Fire*, 5-66. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/fire5030066>
- Carter, M. C., & Foster, C. D. (2004). Prescribed burning and productivity in southern pine forests: a review. *Forest Ecology and Management*, 191(1-3), 93-109.
- Celaya, M. H., & Castellanos, V. A. (2011). Nitrogen Mineralization on Arid and Semi-Arid Land Soil. *Terra Latinoamericana*, 343-356. Obtenido de Nitrógeno disponible en el suelo.

- Cerdà, A., & Doerr, S. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena*, 74, 256–263.
- Certini, G. (2005). Effect of fire on properties of soil—A review. *Oecologia*, 143, 1–10.
- Certini, G., Nocentini, C., Knicker, H., Arfaiooli, P., & Rumpel, C. (2011). Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests. *Geoderma*, 167, 148–155.
- Chandra , K., & Bhardwaj, A. (2015). Incidence of forest fire in India and its effect on terrestrial ecosystem dynamics, nutrient and microbial status of soil. *Int. J. Res. Agric. For*, 5, 69–78.
- Chinchilla, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2011). Andisoles, incepisoles y entisoles de la subcuenca del Río Pirrís, región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 83-107.
- Christensen, N. L. (1994). The effects of fire on physical and chemical properties of soils in Mediterranean-climate shrublands. In *The role of fire in Mediterranean-type ecosystems* , (pp. 79-95).
- DeBano, L. F. (1991). The effect of fire on soil properties. Proceedings-Management and Productivity of Western-Montane Forest. *Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station.*, 151-156. Obtenido de <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/42163>
- Dimitrakopoulos, A. P., & Martin, R. E. (1994). Soil erosion as a consequence of forest fires. *Geoderma*, 199 - 206.
- Downing, T., Imo, M., Kimanzi, J., & Otinga, A. (2017). Effects of wildland fire on the tropical alpine moorlands of Mount Kenya. *Catena*, 149, 300-308.
- Duran, J., Rodríguez, A., Fernández-Palacios, J. M., & Gallardo, A. (2010). Changes in soil N and P availability in a *Pinus canariensis* fire chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 75-82.
- Dzwonko , Z., Loster, S., & Gawroński, S. (2015). Impacto de la gravedad del incendio en las propiedades del suelo y el desarrollo de especies de árboles y arbustos en un bosque húmedo de pino silvestre en el sur de Polonia. *Para Gestión Ecológica*, 342:56–63.
- FAO. (08 de 2004). *Inventario forestal nacional manual de campo*. Obtenido de Programa de Evaluación de Recursos Forestales: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d6c9e042-8573-4b84-a311-64ec92106bdc/content>
- FAO. (21 de Noviembre de 2023). *Estructura del suelo*. Obtenido de Estructura del suelo: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/.!54026!x6706s07.htm#:~:text=La%20estructura%20del%20suelo%20se,mayores%20y%20se%20denominan%20agregados%20

- Fernández, F. M., Gómez, R. M., & González, P. S. (2015). Effects of fire and three fire-fighting chemicals on main soil properties, plant nutrient content and vegetation growth and cover after 10 years. *Science of the Total Environment*, 515, 92-100.
- Flores, M. S. (2019). Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bolognia para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 17(17), 215-138.
- Francos , M., Stefanuto , E., Úbeda , X., & Pereira , P. (2019). Impacto a largo plazo de la quema prescrita en las propiedades químicas del suelo en una interfaz urbano-forestal. Noreste de la Península Ibérica. *Ciencia ambiente total*, 689:305–311.
- Fultz, L., Moore-Kucera, J., Davinic, M., Perry, G., Wester, D., & Rideout-Hanzak, S. (2016). Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. *Applied Soil Ecology*, 99, 118-128.
- Giovannini, G., Lucchesi, S., & Giachetti, M. (1990). Efectos del calentamiento sobre algunos parámetros químicos relacionados con la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. *Ciencia del suelo*., 149 , 344–350.
- Goforth, B., Graham, R., Hubbert, K., Zanner, C., & Minnich, R. (2005). Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, southern California. *Int. J. Wildland Fire* , 14, 343–354.
- González, B. J., González-Cervantes, G., & Chávez, R. E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 21-32.
- González, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. *Biblioteca de Congreso Nacional de Chile / BCN*.
- Granged , A., Zavala , L., Jordán , A., & Bárcenas-Moreno , G. (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, 164(1-2), 85-94.
- Guimaraes, R. M., Ball, B. C., & Tormena, C. A. (27 de September de 2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, 395-403. doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x
- Hardy, C., Menakis, J., Long, D., Brown, J., & Bunnell, D. (1998). Mapping historic fire regimes for the western United States: Integrating remote sensing and biophysical data. *Natural Resources Management Using Remote Sensing and GIS, Proceedings of the 7Th Biennial Forest Service Remote Sensing Applications Conference*.
- Haydon, M. J., & Cobbett, C. S. (2007). A Novel Major Facilitator Superfamily Protein at the Tonoplast Influences Zinc Tolerance and Accumulation in Arabidopsis. *Plant Physiology*, Volume 143, Issue 4, 1705-1719.

- Hazelton, P., & Murphy, B. (2017). Una guía para la interpretación de los resultados de las pruebas de suelo. *Melbourne*.
- Hernández, A., Rodríguez, C., Rodríguez, N., del Pino, J., del Arco Aguilar, M., & Rodríguez, A. (2013). Efectos de un incendio forestal (Tenerife, Islas Canarias, verano de 2007) bajo bosques de pinar sobre algunas propiedades del suelo y su relación con la repelencia al agua a corto y medio plazo. *Spanish Journal of Soil Science: SJSS*, 3(1), 56-72.
- Herrera, L. C. (2023). *Composición Florística y Diversidad del Bosque Siempre Verde Montano Alto y del Bosque de Neblina Montano de la Reserva Natural Madrigal del Podocarpus, Loja, Ecuador*. Loja: Universidad Nacional de Loja .
- Heydari , M., Rostamy , A., Najafi , F., & Dey DC, D. (2017). Effect of fire severity on physical and biochemical soil properties in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests in Iran. *Journal of Forestry Research*, 28, 95-104.
- Ibarra, C. D., Ruiz, C. J., González, E. D., Flores, G. J., & Díaz, P. G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 267-276. Recuperado el 01 de Diciembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000300003&lng=es&tlng=es
- Jadán, O., Quizhpe, W., Pacheco, E., Aguirre, Z., González, M., Ponce, E., & Peña, D. (2017). Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/172>
- Jaksic, F. M., & Fariña, J. M. (2015). Wildland fires, sucession and ecological restoration in context. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 43(1). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100003>
- James , J., Kern , C., & Miesel , J. (2018). Legacy effects of prescribed fire season and frequency on soil properties in a *Pinus resinosa* forest in northern Minnesota. . *For Ecol Manage* , 415:47–57.
- Johnson , D. W., Susfalk, R. B., Murphy , J. D., & Caldwell, T. G. (2004). Fire Effects on carbon and nitrogen budget in forests. *Water, Air, and Soil Pollution . Focus*, 4(2-3), 263-275.
- Johnson, D. W., Fenn, M. E., Miller, W. W., & Hunsaker, C. F. (2009). Fire effects on carbon and nitrogen cycling in forests of the Sierra Nevada. *Developments in Environmental Science*, 8. doi:10.1016/S1474-8177(08)00018-1
- Kabata, P. A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press.
- Kennard, D., & Gholz, H. (2001). Efectos de los incendios de alta y baja intensidad sobre las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas en un bosque seco de Bolivia. *Suelo vegetal* , 234 , 119-129.

- Khanna, P., & Raison, R. (1986). Efecto de la intensidad del fuego en la química de la solución del suelo superficial bajo un bosque de *Eucalyptus pauciflora*. *Soil Research*, 423-434.
- Kiernan, D. (16 de Enero de 2014). 10.1: Introduction, Simpson's Index and Shannon-Weiner Index. En D. Kiernan, *Natural Resources Biometrics*. Obtenido de 10.1: Introducción, índice de Simpson e índice Shannon-Weiner: <https://milneopentextbooks.org/natural-resources-biometrics>.
- Kiernan, D. (7 de Octubre de 2023). *LibreText Statistics*. Obtenido de Introduction, Simpson's Index and Shannon-Weiner Index: [https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Applied_Statistics/Natural_Resources_Biometrics_\(Kiernan\)/10%3A_Quantitative_Measures_of_Diversity_Site_Similarity_and_Habitat_Suitability/10.01%3A_Introduction__Simpsons_Index_and_Shannon-Weiner_Index](https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Applied_Statistics/Natural_Resources_Biometrics_(Kiernan)/10%3A_Quantitative_Measures_of_Diversity_Site_Similarity_and_Habitat_Suitability/10.01%3A_Introduction__Simpsons_Index_and_Shannon-Weiner_Index)
- Kirkpatrick, C., Conway, C. J., & Jones, P. B. (1 de Octubre de 2006). Distribution and relative abundance of forest birds in relation to burn severity in southeastern Arizona. *Journal of Wildlife Management*, 1005-1012. doi:10.2193/0022-541X(2006)70[1005:DARAOF]2.0.CO;2
- Lalinde , J., Castro, F., Rodríguez, J., Rangel , J., Sierra, C., Torrado, M., & Pirela, V. (2018). sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5), 587-595.
- León, Y. S., & Endara, L. (2023). *Generalidades del estado de conservación de las especies de plantas endémicas del Ecuador*. Ecuador. Obtenido de <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/home>
- Litton, C., & Santelices, R. (2003). Effect of wildfire on soil physical and chemical properties in a *Nothofagus glauca* forest, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(4), 529-542.
- MAE. (03 de 05 de 2018). *Tambillo, primera área protegida comunitaria del Ecuador*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/tambillo-primer-area-protegida-comunitaria-del-ecuador/>
- Marfella, L., Marzaioli, R., Pazienza, G., Mairotta, P., Glanville, H., & Rutigliano, F. (2023). Medium-term effects of wildfire severity on soil physical, chemical and biological properties in *Pinus halepensis* Mill. woodland (Southern Italy): an opportunity for invasive *Acacia saligna* colonization? *Forest Ecology and Management*, 542, 121010.
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. . Academic Press.
- Martínez, H. E., Fuentes, E. J., & Acevedo, E. H. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 68-96. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>

- Martínez, J., De las Heras, J., & Herranz, J. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. *La Mancha*.
- Mataix , J. (2000). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales: contribución a su conservación y regeneración.
- Mataix, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Bárcena, G., Zornoza, R., Pérez, A., . . . Pereira. (2009). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. *Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València*, 185-217.
- Mataix, S. J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración.
- Mataix, S. J., & Doerr, S. (2004). Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in Southeastern Spain. *Geoderma*, 118, 77-88. doi:10.1016/S0016-7061(03)00185-X
- Mataix, S. J., & Guerrero, C. (2007). Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica*, 18-21.
- Maynard , D., Paré , D., Thiffault , E., Lafleur, B., Hogg , K., & Kishchuk , B. (2014). How do natural disturbances and human activities affect soils and tree nutrition and growth in the Canadian boreal forest? . *Environ Rev* , 22(2):161–178.
- Minga, O. D., & Verdugo, N. A. (2016). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8784>
- Moya , D., González-De Vega , S., Lozano , E., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Lucas-Borja, M., & de Las Heras , J. (2019). The burn severity and plant recovery relationship affect the biological and chemical soil properties of *Pinus halepensis* Mill. stands in the short and mid-terms after wildfire. *Journal of environmental management*, 235, 250-256.
- Muso, J. B. (2023). Análisis de sucesión vegetal tras dos años del incendio forestal originado en el Cerro Putzalahua. *UTC. Latacunga*, 123.
- Nandakumar, E. (16 de Septiembre de 2023). Effects of Forest Fire on Soil Properties. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35, 8-17. doi:DOI: 10.9734/IJPSS/2023/v35i203780
- Neary , D., Ryan , K., & DeBano , L. (2005). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 4*. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station., 250 p., 42.
- Oliveras, I., Malhi, Y., Salinas, N., Huaman, V., Urquiaga-Flores, E., Kala-Mamani, J., & Román-Cuesta, R. M. (2013). Changes in forest structure and composition after fire in tropical montane cloud forests near the Andean treeline. . *Plant Ecology & Diversity* , 329-340.
- OMS. (2023). *Incendios Forestales* . Obtenido de Organización Mundial de Salud (OMS): <https://www.who.int/health->

topics/wildfires?gclid=EA1aIQobChM1pLry4cbLggMV1oFaBR0beAqqEAAVASAAEgJ6lfD_BwE#tab=tab_1

Ortiz, D.-G. M., González, N. J., & López, T. S. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 64-75.

Pardini, G., Gispert, M., & Dunjó, G. (2004). Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. . *Science of the total Environment*, 328(1-3), 237-246.

Pascual, G. A. (23 de Marzo de 2011). Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio,.

Peerlkamp, P. (1957). A visual method of soil structure evaluation. 216 - 221.

Pinot, R. H. (2000). *Manual de Edafología*. Chile: Ed. Computec.

Pinzón, P. A. (2016). Effect on the physical properties of a soil of paramo by anthropic action. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*, 51 - 58.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.

Praeli, S. Y. (6 de Julio de 2023). *Los incendios forestales afectan 17 millones de hectáreas de bosques amazónicos al año*. Obtenido de PERIODISMO AMBIENTAL INDEPENDIENTE EN LATINOAMERICA: <https://es.mongabay.com/2023/07/incendios-forestales-afectan-millones-de-hectareas-de-bosques-amazonicos/>

Prieto, F. A. (1996). Ecosistemas forestales quemados: dinámica del nitrógeno y de la biomasa. *Tesis Doctoral. Universidad de*.

Quito, F. S., & Serrano, A. J. (2022). *Evaluación de la regeneración natural y suelos afectados por un incendio en plantaciones de Pinus patula en la granja Irquis, Azuay-Ecuador*. Cuenca.

Raison, R. J. (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations. *A review. Plant and Soil*, 73– 108.

Ramírez, P., Villaseñor, R., Eyzaguirre, A., Morales, N., & Muñoz, A. (2014). Foliar anatomy of *Puya chilensis* Molina (Bromeliaceae), a fire-resistant plant. *Chloris Chilensis, Revista chilena de flora y vegetación*.

Reyes, P. A. (2023). Influencia de los incendios forestales en la composición y estructura de combustibles vegetales en zonas quemadas del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque. *Universidad Nacional de Colombia*, 309.

Rosero, C. J., & Osorio, G. I. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado de arte. *Cuaderno activa* , 59-67.

- Rubio, G. A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales*. Sevilla.
- Santander, M. S., Falcón, A. M., Suárez, S. M., & Durán, Á. J. (2021). Degradación de estructura en un suelo agrogénico: análisis de factores incidentes, medidas de conservación asociadas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542021000400003&lng=es&tlng=es
- 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. *Bosques Latitud Cero* 9(2), 101-114. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/687>
- Scharenbroch , B., Nix , B., Jacobs , K., & Bowles , M. (2012). Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*, 183:80–91.
- Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23).
- Sosa, P. G., & Rodríguez, T. D. (2003). Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de pinus patula en un área quemada. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 34-43. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62990104>
- Stein , A., Gerstner, K., & Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 866-880.
- Tambillo Forest. (2021). *Iniciativa Tambillo Forest*. Obtenido de Proyecto de Reforestación: <https://tambilloforest.com/>
- Toledo, D. M., Arzuaga, S. A., Galantini, J. A., & Vazquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencia del suelo*, 1-12. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000200001&lng=es&tlng=es
- Ubéda, X. (1998). Influencia de la intensidad de quemado sobre alguna propiedades del suelo despues de un incendio forestal. *Edafología* , 48-49.
- Úbeda, X., & Francos, M. (5 de Noviembre de 2018). Incendios forestales. Un fenomeno global. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales Universitat de Barcelona*.
- Urretavizcaya, M., Peri, P., Monelos, L., Arriola, H., Oyharçabal, M., Contardi, L., & Defossé, G. (2018). Condiciones de suelo y vegetación en tres bosques quemados de *Nothofagus pumilio* en Argentina y experiencias para su restauración activa. *Ecología austral*, 28(2), 383-399.

- Villaseñor, R., & Sáiz, F. (1990). Incendios forestales en el Parque Nacional La Campana, Sector Ocoa, V Región, Chile: efecto sobre el estrato arbustivo-arbóreo. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*, 21(1): 15-26.
- Wan, S., Hui, D., & Luo, Y. (2001). Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: a meta-analysis. . *Ecological Applications*, 11(5), 1349-1365.
- Whelan, R. J. (2009). The Ecology of Fire - Developments since 1995 and Outstanding Questions. *Proceedings of the Royal Society of Queensland*, 115. doi:10.5962/p.357727
- White, P., & Pickett, S. (1985). Natural Disturbance and Patch Dynamics: An Introduction. *Open Journal of Ecology*, 13-16.
- Xofis, P., Buckley, P., Kefalas , G., Chalaris, M., & Mitchley, J. (2023). Mid-Term Effects of Fire on Soil Properties of North-East Mediterranean Ecosystems. *Fire*, 6(9), 337.
- Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., & Mataix-Beneyto, J. (2007). The use of soil quality indices to evaluate and monitor burned soils. *International meeting on fire effects on soil properties*.

XI. Anexos

Anexo A. Resultados de los análisis químicos remitido de la estación experimental del Austro.



INFORME DE ANALISIS DE SUELOS													
DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD					DATOS DE LA MUESTRA					
Nombre : Verónica Tenelema	Dirección : Don Bosco	Ciudad : GUALAJAQUIZA	Provincia : MORONA SANTIAGO	Parroquia : SAN MIGUEL DE CUYES	Ubicación : El Tambillo	Latitud :	Longitud:	Fecha Muestreo : 21/04/2023	Fecha Ingreso : 05/06/2023	Fecha Emisión : 09/06/2023	Cultivo Actual : BOSQUE		
Teléfono : 0983287852	Correo-e : N/E	Técnico:											
Nº Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm	meq/100ml	ppm	ppm	meq/100ml						
7720	SD-T1-R1	4.9 Mac RC	30.30 M	2.71 B	0.11 B	1.29 B	0.36 B	1.4 B	1.1 M	220.0 A	3.6 B	1.76	3.58 M
7721	SD-T1-R2	4.5 Mac RC	71.10 A	17.70M	0.09 B	1.21 B	0.33 B	9.2 A	2.3 M	1360.0 A	3.4 B	1.63	3.67 M
7722	SD-T1-R3	4.2 Mac RC	69.70 A	18.30M	0.11 B	1.11 B	0.32 B	1.8 B	1.8 M	1330.0 A	4.5 B	1.54	3.47 M
7723	SD-T1-R4	4.4 Mac RC	43.70 A	13.30M	0.09 B	1.25 B	0.34 B	7.1 M	1.5 M	140.0 A	5.8 M	1.68	3.68 M
7724	SD-T1-R5	4.2 Mac RC	74.00 A	12.70M	0.09 B	1.20 B	0.32 B	16.4 A	2.2 M	1140.0 A	6.2 M	1.56	3.59 M
7725	ST-T2-R1	4.4 Mac RC	91.30 A	19.60M	0.29 M	1.04 B	0.37 B	1.8 B	1.9 M	2070.0 A	3.6 B	1.70	2.81 M
7726	ST-T2-R2	4.2 Mac RC	89.90 A	23.70M	0.12 B	0.85 B	0.32 B	8.9 A	2.4 M	2440.0 A	6.6 M	1.29	2.66 M
7727	ST-T2-R3	4.5 Mac RC	61.30 A	21.80M	0.13 B	0.80 B	0.30 B	2.0 B	1.7 M	2320.0 A	4.3 B	1.23	2.67 M
7728	ST-T2-R4	4.3 Mac RC	34.00 M	20.80M	1.39 B	0.39 B	0.24 B	2.7 M	429.0 A	3.1 B	1.89	3.56 M	
7729	ST-T2-R5	4.2 Mac RC	60.50 A	20.00M	0.17 B	1.36 B	0.42 B	11.8 A	3.4 M	1340.0 A	5.0 B	1.95	3.24 M
7730	SND-T3-R1	4.3 Mac RC	58.20 A	14.40M	0.11 B	1.33 B	0.35 B	2.5 B	2.5 M	890.0 A	2.2 B	1.81	3.59 M
7731	SND-T3-R2	4.1 Mac RC	59.60 A	10.20M	0.13 B	1.14 B	0.34 B	2.1 B	2.7 M	1670.0 A	5.4 M	1.51	3.06 M
7732	SND-T3-R3	4.0 Mac RC	50.40 A	11.80M	0.11 B	1.14 B	0.32 B	2.0 B	2.3 M	1180.0 A	3.6 B	1.57	2.62 M
7733	SND-T3-R4	4.0 Mac RC	66.80 A	21.10M	0.12 B	1.04 B	0.37 B	1.8 B	2.3 M	2000.0 A	4.7 B	1.53	2.81 M
7734	SND-T3-R5	4.0 Mac RC	57.90 A	20.00M	0.14 B	1.02 B	0.34 B	2.6 B	3.2 M	1910.0 A	3.8 B	1.50	3.00 M

Interpretación	
N, P, K, Ca, Mg, S	Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	
B = Bajo	M = Alto
M = Medio	M = Med. Ácido
A = Alto	L = + Lig. Ácido
PN = Poco Neutral	AI = + Alcalino
PN = Poco. Neutral	RC = Regulares Cal.
<i>[Signature]</i>	
Responsable Laboratorio	

N/E : No entrega
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.

Fecha de Impresión: 12/06/2023

Página 1 de 2

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS													
DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD					DATOS DE LA MUESTRA					
Nombre : Verónica Tenelema	Dirección : Don Bosco	Ciudad : GUALAJAQUIZA	Provincia : MORONA SANTIAGO	Parroquia : SAN MIGUEL DE CUYES	Ubicación : El Tambillo	Latitud :	Longitud:	Fecha Muestreo : 21/04/2023	Fecha Ingreso : 05/06/2023	Fecha Emisión : 09/06/2023	Cultivo Actual : BOSQUE		
Teléfono : 0983287852	Correo-e : N/E	Técnico:											
Nº Laborat.	Identificación	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	c.c.	Sat.	P.M.	A.D.	C.H.	D.A.	Al+H	Na
7720	SD-T1-R1	36	30	34	Franco-Arcillo-Arenoso	0.32	0.50	0.19	0.13	0.27	1.28		0.13 NS
7721	SD-T1-R2	52	17	31	Franco-Arcillo-Arenoso	0.28	0.48	0.18	0.10	0.26	1.32		0.17 NS
7722	SD-T1-R3	52	18	30	Franco-Arcillo-Arenoso	0.28	0.48	0.17	0.11	0.29	1.32		0.14 NS
7723	SD-T1-R4	56	12	32	Franco-Arcillo-Arenoso	0.28	0.48	0.18	0.10	0.23	1.32		0.18 NS
7724	SD-T1-R5	44	18	36	Franco-Arcillo-Arenoso	0.32	0.50	0.21	0.11	0.18	1.28		0.25 NS
7725	ST-T2-R1	50	14	36	Franco-Arcillo-Arenoso	0.30	0.49	0.20	0.10	0.19	1.29		0.11 NS
7726	ST-T2-R2	52	20	28	Franco-Arcillo-Arenoso	0.27	0.48	0.16	0.11	0.34	1.33		0.10 NS
7727	ST-T2-R3	64	12	24	Franco-Arcillo-Arenoso	0.24	0.46	0.15	0.09	0.45	1.38		0.10 NS
7728	ST-T2-R4	58	16	26	Franco-Arcillo-Arenoso	0.25	0.47	0.15	0.10	0.38	1.36		0.10 NS
7729	ST-T2-R5	46	20	34	Franco-Arcillo-Arenoso	0.30	0.49	0.19	0.11	0.23	1.30		0.10 NS
7730	SND-T3-R1	56	12	32	Franco-Arcillo-Arenoso	0.28	0.48	0.18	0.10	0.23	1.32		0.07 NS
7731	SND-T3-R2	47	17	36	Franco-Arcillo-Arenoso	0.31	0.50	0.20	0.11	0.20	1.29		0.17 NS
7732	SND-T3-R3	56	10	34	Franco-Arcillo-Arenoso	0.28	0.49	0.19	0.09	0.20	1.31		0.19 NS
7733	SND-T3-R4	63	11	26	Franco-Arcillo-Arenoso	0.25	0.47	0.16	0.09	0.36	1.36		0.17 NS
7734	SND-T3-R5	50	18	32	Franco-Arcillo-Arenoso	0.29	0.49	0.18	0.11	0.25	1.31		0.23 NS

Interpretación	
C.E.	M.O.
Ad = Adecuado	NS = No Suficiente
LT = Ligeramente	LS = Lig. Suficiente
T = Tóxico	S = Suficiente
MH = Mucho Suficiente	B = Bajo
<i>[Signature]</i>	
Responsable Laboratorio	

N/E : No Entrega
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.

Fecha de Impresión: 12/06/2023

Página 2 de 2

Anexo B. Resultado de análisis de Aluminio de la estación experimental

MC-LASPA-2201-01



INFORME DE ENSAYO No: 23-0232

NOMBRE DEL CLIENTE: Tenelema Ojeda Martha Verónica
 PETICIONARIO: Tenelema Ojeda Martha Verónica
 EMPRESA/INSTITUCIÓN: Tenelema Ojeda Martha Verónica
 DIRECCIÓN: Av. De Bosco y Av. Loja
 Morono Santiago/Gualajiquiza/San Miguel de Cuyes/Tambillo

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
 FECHA DE ANÁLISIS:
 FECHA DE EMISIÓN:
 ANÁLISIS SOLICITADO:

03/07/2023
 11:05
 10/07/2023
 19/07/2023
 Acidez Intercambiable

Análisis	Ph*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Σ Bases	M.O.*	CO.*	Textura (%)*			IDENTIFICACIÓN		
																meq/100g	%	Arena	Limo	Arcilla	
																	0,00	0,00	0,00	0,00	

Análisis	Al+H	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NOS*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACIÓN							
											ppm	ppm	meq/100g	%	ppm	meq/100g	ppm	
23-1182	8,36	A																SD-T1-R1
23-1183	7,64	A																SD-T1-R2
23-1184	8,36	A																SD-T1-R3
23-1185	8,48	A																SD-T1-R4
23-1186	8,15	A																SD-T1-R5

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA		
pH =	Suelo Agua (1:2,5)	P & Ca Mg = Oliva Modificada
LR =	Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Oliva Modificada
Al+H =	+ +	Cianuro

INTERPRETACION	
pH	Elemento
Ac =	Ácido
AlAc =	Liger. Ácido
M =	Medio
PW =	Prac. Neutro
Al =	Alcalino
RC =	Requerir Cal
T =	Tóxico (Bromo)

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

MC-LASPA-2201-01



INFORME DE ENSAYO No: 23-0233

NOMBRE DEL CLIENTE: Tenelema Ojeda Martha Verónica
 PETICIONARIO: Tenelema Ojeda Martha Verónica
 EMPRESA/INSTITUCIÓN: Tenelema Ojeda Martha Verónica
 DIRECCIÓN: Av. De Bosco y Av. Loja
 Morono Santiago/Gualajiquiza/San Miguel de Cuyes/Tambillo

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
 FECHA DE ANÁLISIS:
 FECHA DE EMISIÓN:
 ANÁLISIS SOLICITADO:

03/07/2023
 11:05
 10/07/2023
 19/07/2023
 Acidez Intercambiable

Análisis	Ph*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Σ Bases	M.O.*	CO.*	Textura (%)*			IDENTIFICACIÓN			
																meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	
																	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Análisis	Al+H	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NOS*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACIÓN							
											ppm	ppm	meq/100g	%	ppm	meq/100g	ppm	
23-1187	8,94	A																ST-T2-R1
23-1188	9,37	A																ST-T2-R2
23-1189	9,54	A																ST-T2-R3
23-1190	8,07	A																ST-T2-R4
23-1191	11,3	A																ST-T2-R5

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA		
pH =	Suelo Agua (1:2,5)	P & Ca Mg = Oliva Modificada
LR =	Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Oliva Modificada
Al+H =	+ +	Cianuro

INTERPRETACION	
pH	Elemento
Ac =	Ácido
AlAc =	Liger. Ácido
M =	Medio
PW =	Prac. Neutro
Al =	Alcalino
RC =	Requerir Cal
T =	Tóxico (Bromo)

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

MC-LASPA-2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutupapua
Telf. (02) 3007284 / (02) 2504240
Mail: laboratorio.desa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 23-0234

NOMBRE DEL CLIENTE: Tenelema Ojeda Martha Verónica
PETICIONARIO: Tenelema Ojeda Martha Verónica
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Tenelema Ojeda Martha Verónica
DIRECCIÓN: Av. De Bosco y Av. Loja
Morono Santiago/Gualaquiza/San Miguel de Cuyes/Tambillo

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 03/07/2023
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:05
FECHA DE ANÁLISIS: 10/07/2023
FECHA DE EMISIÓN: 19/07/2023
ANÁLISIS SOLICITADO:

Acidez Intercambiable
11:05
10/07/2023
19/07/2023
Acidez Intercambiable

Análisis	Ph*	N*	P*	S*	B*	K*	Ca*	Mg*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Σ	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Bases	MO*	CO*	Textura (%)*	Clase Textural	IDENTIFICACIÓN
		ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla				
													0.00	0.00	0.00	0.00						

Análisis	Al+H	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACIÓN
	ppm	ppm	ppm	meq/100g	%	ppm	meq/100g	ppm	ppm		
23-1192	7,45	A									SNDT-T3-R1
23-1193	8,15	A									SNDT-T3-R2
23-1194	7,46	A									SNDT-T3-R3
23-1195	8,70	A									SNDT-T3-R4
23-1196	9,93	A									SNDT-T3-R5

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGÍA USADA	
pH =	Suelo: Agua (1:2,5)
LL =	Fosfato de Calcio
CE =	Oxígeno Disuelto
MO =	Carcinoma

INTERPRETACION	
pH	Elemento
Ac =	N = Neutro
Lac =	B = Bajo
PN =	AI = Lige Alcalino
Al =	M = Medio
RC =	A = Alto
	T = Tóxico (Bajo)

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGÍA USADA	
CE =	Pasta Saturada
MO =	Dilución de la Titulación
Al/H =	Titulación NaOH

INTERPRETACION	
Al/H/Al + Na	C.E.
WS =	No Salino
5 =	Salino
LS =	Bajo Salino
MS =	Muy Salino
	M = Medio
	A = Alto
	T = Tóxico (Bajo)

Anexo C. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para las variables que no cumplieron con los supuestos de Homogeneidad.

Prueba No Paramétrica de Kruskal Wallis: Estructura

Tratamiento	Medianas	Grupos
T1	31.30	a
T2	27.43	a
T3	10.27	b

Prueba No Paramétrica de Kruskal Wallis: Densidad real

Tratamiento	Medianas	Grupos
T1	28.20	a
T2	21.13	a
T3	19.67	a

Anexo D. Comparación de medias de los tratamientos con la prueba de Tukey ($p<0.05$)

Variables	Tratamientos	Valor de p	Variables	Tratamientos	p-valor
Densidad aparente	T1 – T2	0.59	Aluminio	T1 – T2	0.13
	T1 – T3	0.0005**		T1 – T3	0.97
	T2 – T3	0.009**		T2 – T3	0.18
Arena	T1 – T2	0.41	Cobre	T1 – T2	0.18
	T1 – T3	0.36		T1 – T3	0.07

	T2 – T3	0.99		T2 – T3	0.85
Limo	T1 – T2	0.68	Manganeso	T1 – T2	0.97
	T1 – T3	0.22		T1 – T3	0.63
	T2 – T3	0.64		T2 – T3	0.76
Arcilla	T1 – T2	0.42	Hierro	T1 – T2	0.23
	T1 – T3	0.92		T1 – T3	0.45
	T2 – T3	0.64		T2 – T3	0.88
pH	T1 – T2	0.61	Zinc	T1 – T2	0.80
	T1 – T3	0.034**		T1 – T3	0.22
	T2 – T3	0.18		T2 – T3	0.52
Porosidad	T1 – T2	0.99	CE	T1 – T2	0.98
	T1 – T3	0.005**		T1 – T3	0.44
	T2 – T3	0.008**		T2 – T3	0.33
Nitrógeno	T1 – T2	0.46	Materia	T1 – T2	1
	T1 – T3	0.88	orgánica	T1 – T3	0.91
	T2 – T3	0.74		T2 – T3	0.90
Fósforo	T1 – T2	0.05		T1 – T2	0.77
	T1 – T3	0.32		T1 – T3	0.80
	T2 – T3	0.56		T2 – T3	0.99
Potasio	T1 – T2	0.03**			
	T1 – T3	0.36			
	T2 – T3	0.32			
Magnesio	T1 – T2	0.44			
	T1 – T3	0.78			
	T2 – T3	0.83			
Calcio	T1 – T2	0.60			
	T1 – T3	0.73			
	T2 – T3	0.97			

Nota: valores (**< 0.05****) presentan significancia. Tratamientos (tipos de cobertura)

Anexo E. Visita previa y análisis de tipo de suelo en la zona de estudio





Anexo F. Delimitación de las parcelas y toma de muestras





Anexo G. Recolección de las especies vegetales





Anexo H. Procesamiento de muestras



Anexo I. Análisis de muestras en el laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca



Densidad aparente



Textura



CE y pH



Densidad real.

Anexo J. Identificación de especies vegetales