



Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento Madera Rameal Fragmentada en suelos degradados de los Andes, caso volcán Ilaló

Evaluation of soil amendment based on a Ramial Chipped Wood treatment in degraded Andean soils, Ilaló volcano case

Avaliação da correção edáfica a partir do tratamento de Madeira Rameal Fragmentada em solos degradados da Cordilheira dos Andes, caso do vulcão Ilaló.

Kevin Muñoz¹ , Kevin Valencia^{1,2} , Angélica Vaca^{1,2} , Paul Dehousse³  & Santiago Bonilla-Bedoya^{1,2} 

¹ Facultad de Ciencias de Medio Ambiente, Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos. Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito-Ecuador. Correo: muñozkevin@indoamerica.edu.ec

² Centro de Investigación para el Territorio y el Hábitat Sostenible. Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito-Ecuador. Correo: valenciakevin@indoamerica.edu.ec, angelicavaca@indoamerica.edu.ec, santiagobonilla@uti.edu.ec

³ Colectivo Ilaló Verde paul.dehousse@gmail.com

Fecha de recepción: 15 de julio de 2021.

Fecha de aceptación: 29 de octubre de 2021.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN. La constante degradación de los suelos a nivel global es un problema de suma importancia, el cual en la actualidad se está afrontando con diversas propuestas de restauración, entre las cuales se encuentra el uso de la madera rameal fragmentada (MRF). **OBJETIVO.** La presente investigación analiza la variación de diferentes factores físicos y químicos que nos permiten inferir la viabilidad de la MRF como una propuesta para la enmienda edáfica de suelos degradados en los paisajes andinos. **MÉTODO.** Para ello se recolectaron muestras de suelo de dos parcelas, una con tratamiento y una sin tratamiento, muestras a las cuales se les realizó un análisis de fertilidad con cuyos resultados se procedió a analizar la variación temporal y espacial, utilizando un ANOVA y realizando una ponderación de distancia inversa (IDW) respectivamente. **RESULTADOS.** Nuestros resultados muestran una mejor condición y calidad del suelo en la parcela con tratamiento, así como diferencias significativas en los indicadores de calidad del suelo. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.** Los resultados obtenidos en esta investigación



Muñoz, Valencia, Vaca, Dehousse & Bonilla-Bedoya. Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento madera rameal fragmentada en suelos degradados de los andes, caso volcán Ilaló.

Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.380>





respaldan el uso de la MRF como una enmienda edáfica efectiva para el tratamiento de suelos andinos degradados.

Palabras claves: Madera Rameal Fragmentada, Enmienda edáfica, Andes.

ABSTRACT

INTRODUCTION. The ceaseless global degradation of soils is a problem of significant importance, which is currently coped with different restoration proposals, among which is the use of Ramial Chipped Wood (RCW). **OBJECTIVE.** This research analyzes the variation of different physical and chemical factors that allow us to infer the viability of the RCW as a proposal for the soil amendment of degraded soils in Andean landscapes. **METHOD.** For this purpose, soil samples were collected from two plots, one with treatment and one without treatment, in these samples we conducted a fertility analysis, with those results the temporal and spatial variation were analyzed, using an ANOVA and Inverse Distance Weighting (IDW), respectively. **RESULTS.** Our results show a better condition and quality of the soil in the plot with treatment, as well as significant differences in the soil quality indicators. **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** The results we obtained in this research support the use of RCW as an effective soil amendment for the treatment of degraded Andean soils.

Keywords: Ramial Chipped Wood, Soil amendment, Andes.

RESUMO

INTRODUÇÃO. A constante degradação dos solos a nível global é um problema de grande importância, que se encontra actualmente perante várias propostas de restauro, entre as quais se destaca a utilização de Madeira rameal fragmentada (MRF). **OBJECTIVO** em negrito. E comece com uma letra maiúscula indicando o propósito de sua investigação. Em seguida, escreva com audacioso **MÉTODO.** Esta pesquisa analisa a variação de diferentes fatores físicos e químicos que permitem inferir a viabilidade do MRF como uma proposta de correção edáfica de solos degradados em paisagens andinas. **RESULTADOS.** Para tanto, foram coletadas amostras de solo em duas parcelas, uma com tratamento e outra sem tratamento, amostras para as quais foi realizada uma análise de fertilidade cujos resultados foram analisados pela variação temporal e espacial, utilizando ANOVA e ponderação inversa de distância (IDW). respectivamente. **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.** Os resultados obtidos nesta pesquisa apóiam o uso do RCW como um corretivo de solo eficaz para o tratamento de solos andinos degradados.

Palavras-chave: Madeira Rameal Fragmentada, Emenda edáfica, Andes.

INTRODUCCIÓN

Hoy por hoy los seres humanos hemos modificado directamente ~70 millones de km², o > 50 % de la superficie terrestre libre de hielo de la Tierra [1]. El crecimiento de la superficie destinada a la producción de alimentos, es sin duda el principal protagonista tras la modificación del paisaje global [2], [3]. No obstante, en relativa proporción, también influyen factores directos e indirectos como: el cambio climático, la actividad



Muñoz, Valencia, Vaca, Dehousse & Bonilla-Bedoya. Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento madera rameal fragmentada en suelos degradados de los andes, caso volcán Ilaló.

Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.380>





minera, la actividad maderera, el crecimiento del área urbana, el aumento del consumo y los flujos de [4], [5].

Una de las consecuencias del cambio global en el uso del suelo, ha sido la degradación del mismo. A inicios de la década de los noventa se estimó que la degradación del suelo había afectado al 15 % de la superficie terrestre total [1], sin embargo, evaluaciones más recientes estiman que la degradación puede abarcar hasta el 24 % de la superficie terrestre total (35 millones de km² o 3 500 millones de ha) [7], [8], afectando directamente a los medios de subsistencia de 1 500 millones de personas c.

Esta degradación sin precedentes a la par con la creciente conciencia ambiental de la sociedad [10], ha incidido en la aparición de importantes iniciativas enfocadas en la restauración, entre las que se destacan algunas como: el desafío de Boon, la iniciativa latinoamericana 20×20, la declaración de Nueva York sobre los bosques, la Iniciativa de Restauración del Paisaje Forestal Africano, entre otras [11]– [13].

El siglo XXI ha sido proclamado como el siglo de la restauración ecológica [12], esto es relevante sobre todo para regiones que en recientes décadas han sufrido considerables afectaciones en sus recursos naturales como es el caso de América del Sur [14], en donde entre 1990 a 2005 se alcanzó un área total deforestada de 57,7 millones de ha [15]. Asimismo, entre 2000 y 2005 esta zona también sufrió la mayor pérdida neta de bosques a nivel mundial (alrededor de 4,3 millones de hectáreas por año) [16], lo cual es un hecho importante considerando que la deforestación ha sido durante décadas el principal causante de la degradación del suelo en esta zona geográfica [6], [17], [18].

Ecuador es un ejemplo notable de América del Sur en cuanto a deforestación y degradación de suelos, esto debido a que el país ha perdido ~60 % de su bosque nativo [19,20]; situación que lo sitúa como el país con el porcentaje más bajo de bosque natural de todos los países de América del Sur [21]. Asimismo, se estima que en el Ecuador el 47 % del territorio presenta problemas de degradación de la tierra [22], siendo la región amazónica, con un 44 %, la que mayor porcentaje de degradación presenta; seguida por la región Costa (30 %) y la región Sierra (25,9 %) [23], [24].

Una de las peculiaridades de Ecuador es que forma parte de los andes tropicales, un territorio vasto y diverso que se extiende de norte a sur desde el oeste de Venezuela hasta el norte de Chile y Argentina [25], como características generales los suelos de estas regiones presentan: buena fertilidad física, elevada capacidad de retención hídrica, baja densidad aparente [26], así como: limitaciones en su capacidad para fijar iones de fosfato, un alto contenido de aluminio y un pH ácido [27].

La región andina ecuatoriana se ha visto afectada por la deforestación y un importante reemplazo del bosque nativo, así como una larga tradición agrícola de las comunidades aledañas, que a lo largo del tiempo ha comprometido los suelos de esta





región [28], [29]. Las iniciativas para hacer frente a esta situación, a lo largo de las últimas décadas han sido limitadas, pudiendo mencionarse escasos ejemplos cuya finalidad mayoritariamente ha sido la reforestación [30], [31]. Una de las pocas iniciativas que han surgido en los andes ecuatorianos, cuya finalidad es la enmienda y restauración del suelo, es la iniciativa propuesta por la comunidad Toglla de la parroquia Guangopolo del cantón Quito, denominada: “Diseño y puesta en marcha de una nueva estrategia de agradación de suelos y ambiente en el Ilaló”. En esta propuesta, a manera de plan piloto, se realizó la aplicación de una enmienda edáfica basada en el uso de la madera rameal fragmentada a 2,5 ha.

La madera rameal fragmentada (MRF) o Bois Raméal Fragmenté (BRF) en francés, es una técnica de restauración de suelo que consiste en obtener un sustrato a partir de madera de ramas forestales con diámetro inferior a 7cm [32], [33], la restauración empleando esta técnica es atractiva debido a que en las ramas se almacenan más del 75% de los nutrientes de toda la planta, así como aminoácidos, proteínas, catalizadores y lignina soluble o poco polimerizada, base de los agregados del suelo y del humus altamente reactivo [34]–[36]

En miras hacia la restauración de paisaje y la restauración de suelos degradados, el presente trabajo analiza los efectos de la aplicación de la madera rameal fragmentada (MRF), como una enmienda edáfica en los suelos degradados del volcán Ilaló, ubicado en la provincia de Pichincha en el norte de Ecuador.

MÉTODO

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en las faldas del volcán Ilaló, al noroeste del mismo, dentro del territorio de la parroquia de Guangopolo, aproximadamente a 2.5 km del centro poblado (Figura 1).



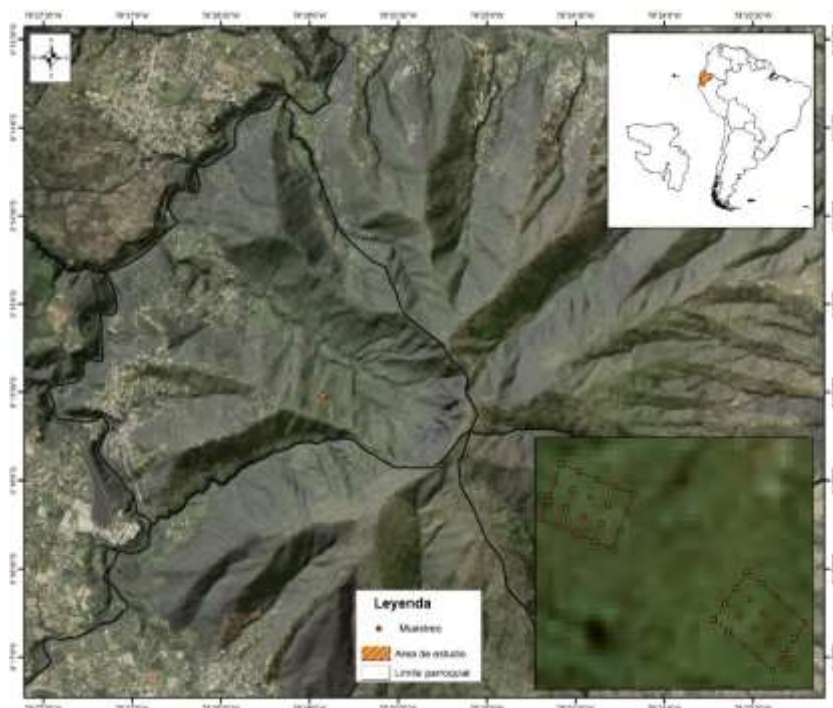


Figura 1. Mapa del área de estudio.

Normas éticas de investigación

El acceso al proyecto de restauración, así como la recolección de muestras, se realizó con un consentimiento informado de la comunidad Toglla mediado a través Ing. Paul Dehousse.

Técnicas de recolección de datos

El diseño de muestreo consideró 2 parcelas, una parcela (A) donde se aplicó el tratamiento MRF y una parcela (B) de control, el cual nos permite comparar el efecto del tratamiento MRF en el suelo. Para el diseño muestral de la interpolación a partir de puntos se usó el diseño de muestreo regular para ambas parcelas, en donde los puntos de muestreo se ordenan siguiendo una malla regular (Figura 2), el mismo que es adecuado cuando no se tiene conocimiento acerca de la estructura de variación [37].

A continuación, se realizó una parcela de 20 metros de ancho por 15 metros de largo dentro del terreno donde está aplicado el tratamiento, dicha parcela la definimos como la parcela “A” o “tratamiento”, y se encuentra a una altura de 2.546,90 msnm. Sus coordenadas de ubicación son: S0 15.517 W78 25.928.

Posteriormente se realizó otra parcela con las mismas medidas dentro del terreno donde no ha sido aplicado el tratamiento, y la definimos como la parcela “B” o “Control”, y se encuentra a 2.613,50 msnm. Sus coordenadas son: S0 15.507 W78 25.943. La parcela A y la parcela B se encuentran separadas a 32 m de distancia.

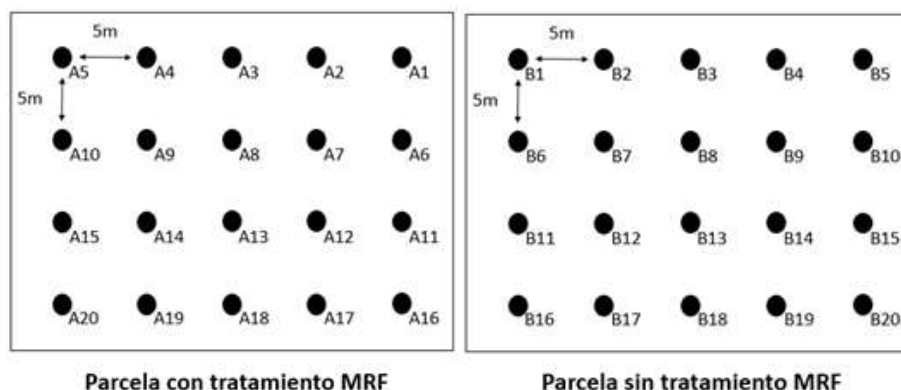


Figure 2. Croquis de las dos parcelas, en donde los puntos separados cada 5 metros con su respectiva numeración, representan las muestras de suelo tomadas en campo.

Por lo tanto, se tomaron muestras de suelo en el horizonte A, con una profundidad de 15 cm, cada punto tuvo un distanciamiento de 5 metros cada una, tanto de largo como de ancho (Figuras 4 y 5), y se obtuvieron 20 muestras de suelo en cada parcela, en total 40 muestras de suelo en ambas parcelas.

Cada muestra fue colocada en una funda ziploc, atribuyéndole una etiqueta única, estas fueron nombradas con la letra “A” para la parcela con el tratamiento y la letra “B” para la parcela sin tratamiento, cada una con su respectivo número. La toma de muestras para este trabajo, se realizó el 16 de enero de 2020. En la parroquia de Guangopolo, en las faldas del volcán Ilaló.

Técnicas de análisis de datos

Las muestras recolectadas, fueron analizadas en la dirección general de investigación (DGI) de la Universidad de las Américas (UDLA). Se realizó un análisis de fertilidad, en base a un estudio multi-elemento de Potasio (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y Aluminio (Al). Asimismo, para calcular la variación temporal se realizó el análisis de varianza (ANOVA). Finalmente, para cuantificar la variación espacial se usó el método Inverse Distance Weighting (IDW) o ponderación de distancia inversa [38].

RESULTADOS

Nuestro proceso metodológico cuantificó el efecto que tuvo del tratamiento madera rameal fragmentada en algunos indicadores de calidad del suelo en la parroquia Guangopolo del volcán Ilaló, a continuación, presentamos las siguientes consideraciones:

Resultados de la variación temporal





Mediante la prueba Shapiro - Wilk realizada, las variables del tratamiento obtuvieron un valor de P superior a 0,05, por lo tanto, las distribuciones de los datos de cada variable en este tratamiento son normales a excepción del Fe (Tabla 5). En las variables control, todas obtuvieron un valor de P superior a 0,05 mostrando normalidad en los datos, a excepción del Fe (Tabla 6). El Fe al mostrar un valor de p inferior a 0,05 en ambas parcelas, sus datos no tienen una distribución normal, por lo tanto, no se tomarán en cuenta para el análisis de varianza (ANOVA), ni para las interpolaciones IDW. En el caso del Al, todos los valores muestran niveles muy altos debido a un error de contaminación al momento del análisis del suelo según la dirección general de investigación (DGI) de la Universidad de las Américas (UDLA) por lo tanto no se realizó las interpolaciones IDW pero si se tomó en cuenta para la toxicidad de suelos por exceso de Al.



Muñoz, Valencia, Vaca, Dehousse & Bonilla-Bedoya. Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento madera rameal fragmentada en suelos degradados de los andes, caso volcán Ilaló.

Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.380>





Table 1. Prueba de Shapiro – Wilk en el tratamiento A, en donde muestra los valores de P de cada variable para determinar si los datos provienen de una distribución normal o no.

Tratamiento - SW	Valor - p	Ho	Distribución
pH	0,5766	Acepto	Normal
MO %	0,08461	Acepto	Normal
K	0,5915	Acepto	Normal
Ca	0,07657	Acepto	Normal
Mg	0,7019	Acepto	Normal
Fe	0,0394	Rechazo	No normal
Al	0,06822	Acepto	Normal

Table 2. Prueba de Shapiro – Wilk para la parcela B o control, en donde muestra los valores de P de cada variable para determinar si los datos provienen de una distribución normal o no.

Tratamiento - SW	Valor - p	Ho	Distribución
pH	0,1602	Acepto	Normal
MO %	0,1961	Acepto	Normal
K	0,4224	Acepto	Normal
Ca	0,5059	Acepto	Normal
Mg	0,1971	Acepto	Normal
Fe	0,0007197	Rechazo	No normal
Al	0,5638	Acepto	Normal

Una vez verificado que los datos de cada una de las variables de ambos tratamientos provengan de una distribución normal, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) para encontrar si existen diferencias significativas de fertilidad entre la parcela A y la parcela B. Para esto, se obtuvo la media y la desviación estándar de los datos de cada tratamiento por separado para cada una de las variables; además, se





obtuvo el valor de p de ambos tratamientos juntos de cada una de las variables. Por lo que se usó un nivel de significancia de 0.05, lo que significa que, si es menor a este valor, existe una diferencia significativa entre ambas parcelas.

Table 3. Análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables.

Indicadores	Tratamiento	Media	Sd	Valor - p
pH	Tratamiento	5,9	0,11	0,00194 **
	Control	6,05	0,16	
Mo	Tratamiento	1,41	0,28	0,000000333 ***
	Control	0,99	0,09	
K	Tratamiento	610,67	133,54	0,0362 *
	Control	514,71	145,70	
Ca	Tratamiento	2676,53	450,47	0,894
	Control	2659,10	364,27	
Mg	Tratamiento	1206,02	103,45	0,0495 *
	Control	1317,59	223,10	

* Signif. Codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Resultados de la variación espacial

Para observar la variación temporal de cada variable considerando la parcela tratamiento y la parcela control, se procedió a realizar un diagrama de cajas para comparar las medias de los datos. Asimismo, para observar la variación espacial de cada variable se realizaron los mapas de interpolación IDW de cada parcela. A continuación, presentamos los siguientes resultados:



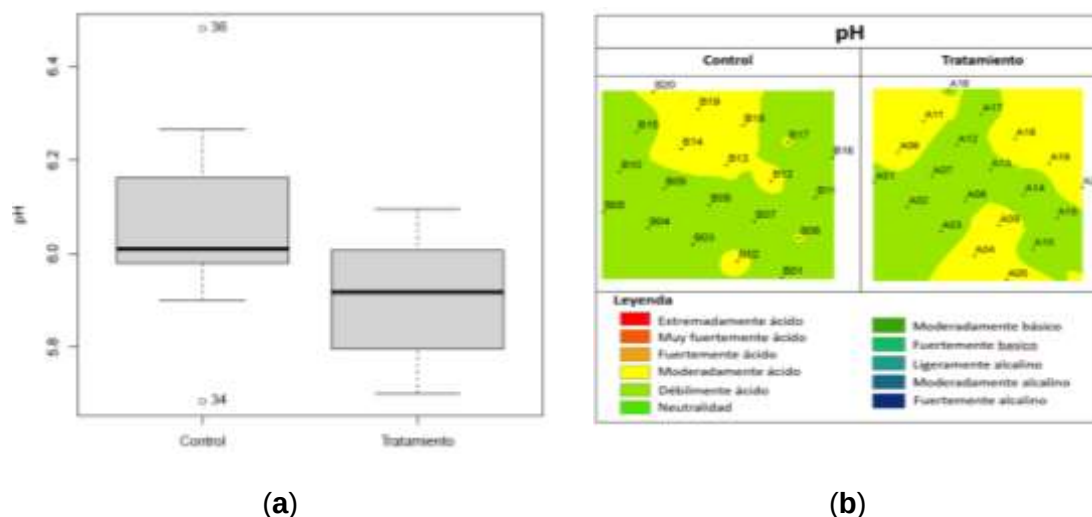


Figure 3. Variación espacio - temporal del pH considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo: (a) Diagrama de cajas de la variación temporal del pH entre la parcela tratamiento y la parcela control; (b) Variación espacial IDW del pH entre la parcela tratamiento y la parcela control.

En el caso del pH se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 3), existiendo un descenso significativo (valor - $p < 0,05$). La media de la parcela control es $6,05 \pm 0,16$; y la media de la parcela de tratamiento fue de $5,9 \pm 0,11$. En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea del pH en la parcela control (Figura 3).

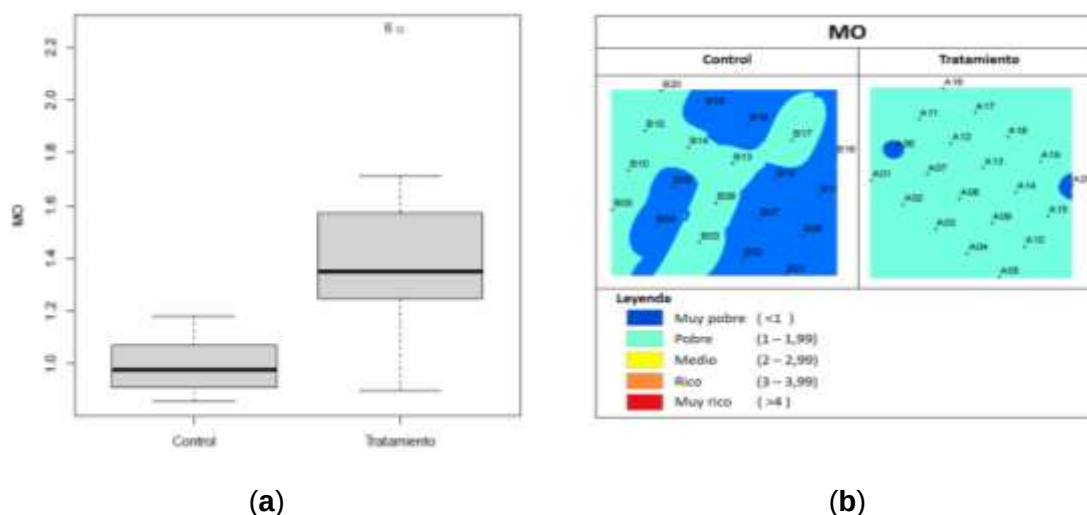


Figure 4. Variación espacio - temporal de la MO considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo: (a) Diagrama de cajas de la variación temporal de la MO entre la parcela tratamiento y la parcela control; (b) Variación espacial IDW de la MO entre la parcela tratamiento y la parcela control.

En el caso de la MO se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 3), existiendo un incremento significativo (valor - $p < 0,05$). La media de la parcela con tratamiento fue de $1,41 \pm 0,28$; y la media de la parcela control es $0,99 \pm 0,09$. En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea de la MO en la parcela tratamiento (Figura 4).

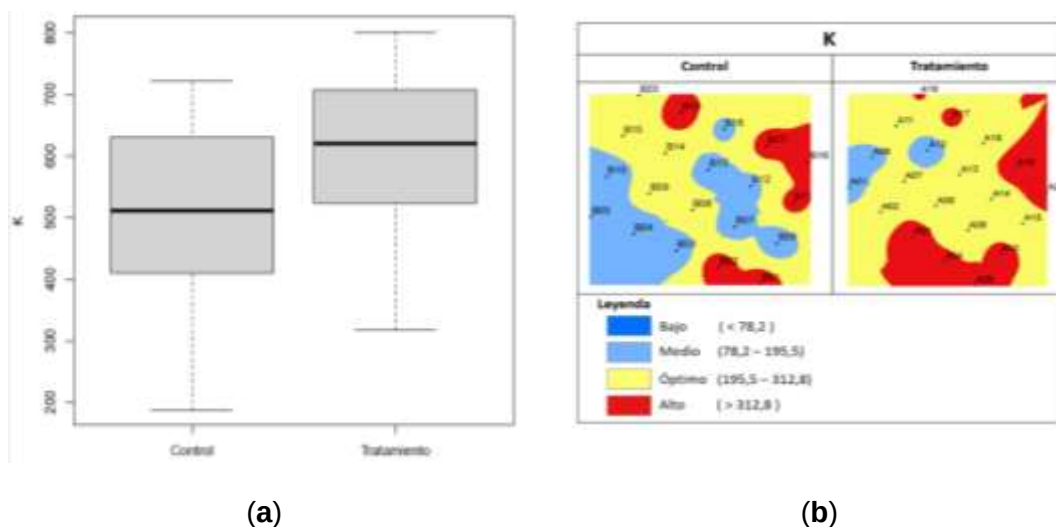
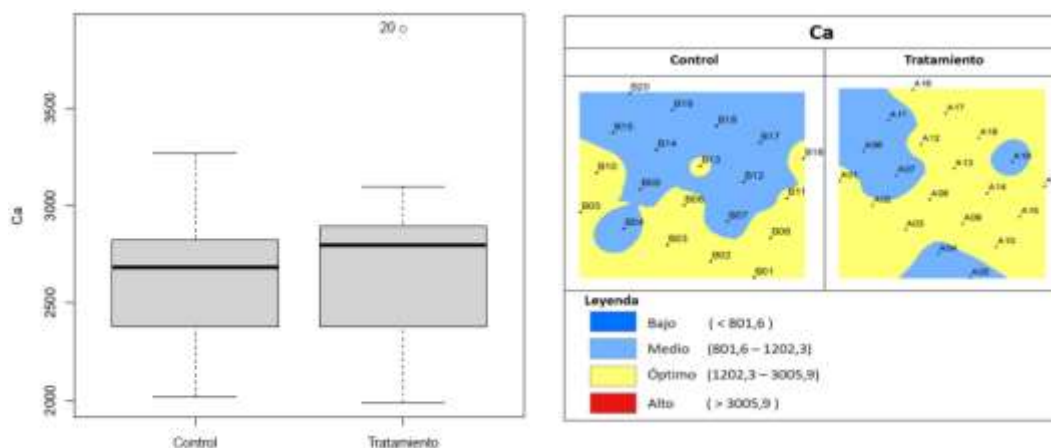


Figure 5. Variación espacio - temporal del K considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo: (a) Diagrama de cajas de la variación temporal del K entre la parcela tratamiento y la parcela control; (b) Variación espacial IDW del K entre la parcela tratamiento y la parcela control.

En el caso del K se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 3), existiendo un incremento significativo (valor - $p < 0,05$). La media de la parcela con tratamiento fue de $610,67 \pm 133,54$; y la media de la parcela control es de $514,71 \pm 145,70$. En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial bastante homogénea del K en la parcela con tratamiento (Figura 5).



(a)

(b)

Figure 6. Variación espacio - temporal del Ca considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo: (a) Diagrama de cajas de la variación temporal del Ca entre la parcela tratamiento y la parcela control; (b) Variación espacial IDW del Ca entre la parcela tratamiento y la parcela control.

En el caso del Ca se observó variaciones temporales no significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 3), existiendo un aumento no significativo (valor - $p > 0,05$). La media de la parcela con tratamiento fue de $2676,53 \pm 450,47$; y la media de la parcela control es de $2659,10 \pm 364,27$. En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea del Ca, tanto en la parcela tratamiento como en la parcela control (Figura 6).

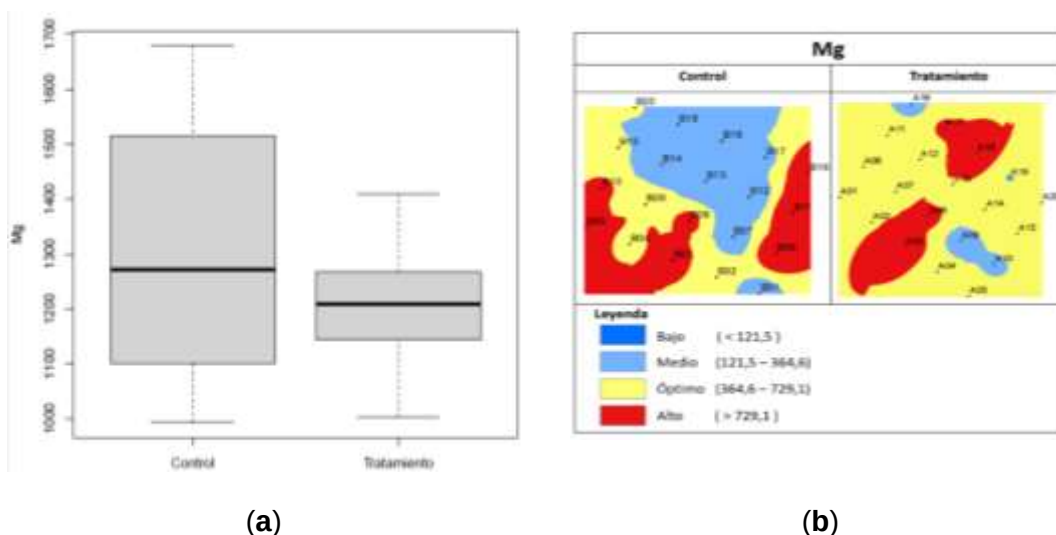


Figure 7. Variación espacio - temporal del Mg considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo: (a) Diagrama de cajas de la variación temporal del Mg entre la parcela tratamiento y la parcela control; (b) Variación espacial IDW del Mg entre la parcela tratamiento y la parcela control.

En el caso del Mg se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 3), existiendo un descenso significativo (valor - $p < 0,05$). La media de la parcela con tratamiento fue de $1206,02 \pm 103,45$; y la media de la parcela control es de $1317,59 \pm 223,10$. En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea del Mg en la parcela tratamiento (Figura 7).



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Nuestro estudio demuestra que la incorporación de un tratamiento de madera rameal fragmentada en los suelos del Volcán Ilaló resulta efectiva para generar mejoras en algunos indicadores de calidad del suelo como el pH, la materia orgánica y el potasio.

pH, Aluminio y Hierro

Después de cuatro años de la aplicación del tratamiento, observamos que el pH de los suelos se mantuvo entre moderadamente ácido (5,5 - 5,9) y débilmente ácido (6,0 - 6,4) tanto en la parcela donde se aplicó el tratamiento como en el control. A pesar de que se observa una mayor acidez en el tratamiento, estos rangos en el pH permiten una adecuada condición para la disponibilidad de los nutrientes en las plantas [39] y una nutrición vegetal equilibrada [40].

Un resultado favorable fue una distribución espacial más homogénea de los pH moderadamente ácidos (Figura 6), que ocupan un mayor espacio en la parcela donde fue aplicado el tratamiento. Esto indicaría una mayor disponibilidad del pool de nutrientes en toda la parcela lo que tendría un mejor resultado en el crecimiento y desarrollo de las plantas [41]. Sin embargo, el pequeño grado de acidez que presenta se debe al alto contenido de Al y Fe en el suelo [42]. Además, se sabe que la acidez del suelo se debe a la descomposición de la materia orgánica ya que este tiene un efecto acidificante mientras ocurre este proceso [43].

Estos resultados concuerdan con [44], [45], quienes observaron que el pH va disminuyendo conforme va pasando el tiempo una vez aplicada la enmienda edáfica al suelo; así mismo ocurrió con [46], quien observó que al incorporar la MRF en los suelos, disminuye el pH en comparación al suelo testigo. Sin embargo, estos resultados mantienen sus valores dentro del rango de pH óptimo para que los nutrientes se mantengan disponibles para la absorción de las plantas, además son muy apropiados para muchos cultivos y tengan una nutrición vegetal equilibrada.

Materia Orgánica

Por otro lado, observamos que la materia orgánica de los suelos tiene condiciones muy pobres (< 1 %), pobres (1 % - 1,99 %) y medianas (2 % - 2,99 %). Tanto en la parcela donde se aplicó el tratamiento como en el control. Las condiciones muy pobres (< 1 %) limita el desarrollo de los cultivos y conducen a la pérdida de los suelos por la baja presencia de MO humificada en el suelo. Las condiciones pobres (1 % - 1,99 %) restringen con severidad la productividad y conservación de los suelos, su fertilidad disminuye el desarrollo de los cultivos y se caracteriza por tener riesgo en la pérdida del suelo. Y las condiciones medianas (2 % - 2,99 %) se caracterizan por tener una regular fertilidad para el desarrollo de los cultivos, pero se limita la productividad de los suelos y su conservación [47].

Sin embargo, se observó una distribución espacial más homogénea de la materia orgánica con condiciones pobres (1 % - 1,99 %) y medianas (2 % - 2,99 %) en la parcela





donde se aplicó el tratamiento (Figura 4). Por lo tanto, al comparar la condición de la materia orgánica del suelo de ambas parcelas, podemos concluir que los suelos de la parcela con tratamiento cuentan con mejor distribución espacial, lo que permite una mayor disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes. Por lo tanto, estos valores pueden registrar una mayor capacidad de intercambio catiónico y energía para los microorganismos; esto se puede ver reflejado en la sostenibilidad del recurso suelo y en un mejor rendimiento y desarrollo en las plantas [48].

Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por [46], quien observó que al incorporar la MRF al suelo favorece los niveles de MO, pasando de un nivel medio a nivel rico en MO. Así mismo lo confirman varios estudios como [49], [50], quienes confirman que, al aplicar enmiendas edáficas al suelo, aumentan la materia orgánica conforme pasa el tiempo.

Bases

Por otra parte, se observó que el K de los suelos se mantuvo entre medio (78,2 - 195,5 ppm), óptimo (195,5 - 312,8 ppm) y alto (> 312,8 ppm), tanto en la parcela donde se colocó el tratamiento como en la parcela control. En este caso observamos una distribución espacial homogénea en los suelos con potasio óptimo (195,5 - 312,8 ppm) en la parcela donde se aplicó el tratamiento (Figura 5).

Estos resultados concuerdan con un estudio realizado en Colombia por [51], donde observó un incremento significativo del K después de 4 años de haber sido implementado el biochar. Resultados similares se obtuvieron en un estudio hecho en Pastaza - Ecuador por [52], donde el incremento de K es significativo después de 1 año de implementar el biochar.

En el caso del Ca, observamos que los suelos se mantuvieron entre medio (801,6 - 1202,3 ppm) y óptimo (1202,3 - 3005,9 ppm) tanto en la parcela donde se colocó el tratamiento como en el control. Sin embargo, se observó una distribución espacial más homogénea de los suelos con Ca óptimo (1202,3 - 3005,9 ppm) en la parcela donde se aplicó el tratamiento (Figura 6). Estos resultados concuerdan con un estudio realizado en Brasil [52], donde se utilizó biochar a base de eucalipto, el cual mostró un incremento de Ca en el suelo después del periodo de un año. Asimismo, demuestra un estudio por [53], en el que se aplicó biochar con cáscara de café y mostró incrementos en Ca del 2 %.

Por otro lado, se observó que el Mg de los suelos se mantuvieron entre medio (12,2 - 60,8 ppm), óptimo (60,8 - 97,2 ppm) y alto (> 97,2 ppm), tanto en la parcela donde se colocó el tratamiento como en el control. En este caso observamos una distribución espacial más homogénea de los suelos óptimos en la parcela donde se aplicó el tratamiento (Figura 7). Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por [49], donde se observó una disminución de Mg al usar biochar a base de acícula de pino.





La degradación del suelo es un problema global causado principalmente por las acciones antrópicas que deterioran las propiedades físicas y químicas del suelo, provocando una disminución en la productividad del suelo y pérdida de la fertilidad en la capa superior del suelo. Debido a esta degradación del suelo y la importancia en los ecosistemas se proponen métodos para la restauración de suelos, entre ellos la madera rameal fragmentada.

Por lo tanto, la aplicación de esta enmienda Edáfica (MRF) en los suelos del volcán Ilaló nos permite demostrar un resultado favorable en algunos indicadores de calidad del suelo como el pH, materia orgánica, potasio y magnesio.

Los resultados del pH disminuyeron al paso del tiempo después de aplicarse el tratamiento al suelo, sin embargo, esto se debe a la eficaz descomposición de la materia orgánica, el cual tiene un efecto acidificante mientras ocurre este proceso. Asimismo, la materia orgánica presentó un aumento y una excelente distribución en la parcela tratamiento lo que permite ofrecer una mayor disponibilidad del pool de nutrientes a lo largo de la parcela. En cuanto al potasio y calcio también tuvieron resultados favorables, con el paso del tiempo existe un aumento de estos nutrientes hasta un estado óptimo para el suelo, de igual modo su distribución en la parcela tratamiento es más homogénea, lo que permite que haya mayor disponibilidad de estos nutrientes a lo largo de la parcela. Respecto al magnesio, sus resultados mostraron una disminución de la cantidad de este nutriente con el transcurso del tiempo, sin embargo, es un resultado favorable ya que en la parcela control tenemos zonas con niveles altos de magnesio, que a comparación de la parcela tratamiento tenemos menos zonas con niveles altos de magnesio y más zonas con niveles óptimos, lo que permite que haya buena disponibilidad de este nutriente a lo largo de la parcela.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad Tecnológica Indoamérica a través del proyecto Planificación y manejo de Bosques Urbanos.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflicto de interés alguno.

APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este estudio expone los resultados de la madera rameal fragmentada como enmienda edáfica aplicada en suelos degradados de los andes, lo cual brinda un fundamento teórico y un antecedente de la viabilidad de esta técnica en materia restauración edáfica. Por lo cual constituye un posible punto partida para futuros



Muñoz, Valencia, Vaca, Dehousse & Bonilla-Bedoya. Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento madera rameal fragmentada en suelos degradados de los andes, caso volcán Ilaló.

Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.380>





proyectos enmarcados dentro de esta línea de acción e investigación en la región andina ecuatoriana y regional.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Todos los autores participaron activamente en todas las fases de la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento al Ing. Paul Dehousse y la comunidad Toglla, por permitirnos conocer este proyecto y acceder a la realización de la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] R. L. B. Hooke, J. F. Martín-Duque, and J. Pedraza, "Land transformation by humans: A review," *GSA Today*, vol. 22, no. 12, pp. 4–10, Dec. 2012, doi: 10.1130/GSAT151A.1.
- [2] J. A. Foley *et al.*, "Global consequences of land use," *Science* (80-.), vol. 309, no. 5734, pp. 570–574, Jul. 2005, doi: 10.1126/science.1111772.
- [3] K. Klein Goldewijk, A. Beusen, G. Van Dreht, and M. De Vos, "The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years," *Glob. Ecol. Biogeogr.*, vol. 20, no. 1, pp. 73–86, Jan. 2011, doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00587.x.
- [4] P. Meyfroidt, E. F. Lambin, K. H. Erb, and T. W. Hertel, "Globalization of land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use," *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 5, no. 5, pp. 438–444, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.cosust.2013.04.003.
- [5] X. P. Song *et al.*, "Global land change from 1982 to 2016," *Nature*, vol. 560, no. 7720, pp. 639–643, Aug. 2018, doi: 10.1038/s41586-018-0411-9.
- [6] L. R. Oldeman, "Global Extent of Soil Degradation," 1992.
- [7] Z. G. Bai, D. L. Dent, L. Olsson, and M. E. Schaepman, "Proxy global assessment of land degradation," *Soil Use Manag.*, vol. 24, no. 3, pp. 223–234, Sep. 2008, doi: 10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x.
- [8] D. L. Karlen and C. W. Rice, "Soil degradation: Will humankind ever learn?," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7, no. 9. MDPI AG, pp. 12490–12501, Sep. 11, 2015, doi: 10.3390/su70912490.





- [9] C. Jie, C. Jing-zhang, T. Man-zhi, and G. Zi-tong, "Soil degradation: a global problem endangering sustainable development," *J. Geogr. Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 243–252, Apr. 2002, doi: 10.1007/bf02837480.
- [10] P. Hartmann and V. Apaolaza-Ibáñez, "Consumer attitude and purchase intention toward green energy brands: The roles of psychological benefits and environmental concern," *J. Bus. Res.*, vol. 65, no. 9, pp. 1254–1263, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.jbusres.2011.11.001.
- [11] R. L. Chazdon *et al.*, "When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration," *Ambio*, vol. 45, no. 5, pp. 538–550, Sep. 2016, doi: 10.1007/s13280-016-0772-y.
- [12] S. Mansourian, J. A. Stanturf, M. A. A. Derkyi, and V. L. Engel, "Forest Landscape Restoration: increasing the positive impacts of forest restoration or simply the area under tree cover?," *Restor. Ecol.*, vol. 25, no. 2, pp. 178–183, Mar. 2017, doi: 10.1111/rec.12489.
- [13] K. Suding *et al.*, "Committing to ecological restoration," *Science (80-.)*, vol. 348, no. 6235, pp. 638–640, 2015, doi: 10.1126/science.aaa4216.
- [14] FAO, "Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.," FAO, Jul. 2020. doi: 10.4060/ca9825en.
- [15] V. De Sy *et al.*, "Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America," *Environ. Res. Lett.*, vol. 10, no. 12, p. 124004, Nov. 2015, doi: 10.1088/1748-9326/10/12/124004.
- [16] FAO, *Global Forest Resources Assessment 2005, Progress Towards Sustainable Forest Management*. Rome: FAO, 2006.
- [17] D. Armenteras, J. M. Espelta, N. Rodríguez, and J. Retana, "Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010)," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 46, no. June, pp. 139–147, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.09.002.
- [18] E. Veldkamp, M. Schmidt, J. S. Powers, and M. D. Corre, "Deforestation and reforestation impacts on soils in the tropics," *Nat. Rev. Earth Environ.*, vol. 1, no. 11, pp. 590–605, Nov. 2020, doi: 10.1038/s43017-020-0091-5.
- [19] R. Mosandl, S. Günter, B. Stimm, and M. Weber, "Ecuador Suffers the Highest Deforestation Rate in South America," no. Fao 2006, pp. 37–40, 2008, doi: 10.1007/978-3-540-73526-7_4.
- [20] R. Sierra, "Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990–2010.," *Conserv. Int. Ecuador y For. Trends*, vol. 1, p. 22, 2013.





- [21] P. A. Ochoa, A. Fries, D. Mejía, J. I. Burneo, J. D. Ruíz-Sinoga, and A. Cerdà, "Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes," *Catena*, vol. 140, pp. 31–42, May 2016, doi: 10.1016/j.catena.2016.01.011.
- [22] P. Segarra, "Sinergias entre Degradación de la Tierra y Cambio Climático en los Paisajes Agrarios del Ecuador.," *Mec. Mund. la CNULD–Ministerio del Ambient. Quito–Ecuador (2014).*, 2014.
- [23] C. I. Montatixe Sánchez and M. D. Eche Enriquez, "Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro," *Siembra*, vol. 8, no. 1, pp. e1735–e1735, Jan. 2021, doi: 10.29166/siembra.v8i1.1735.
- [24] C. Morales, "Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático," *CEPAL-Colección Doc. Proy.*, vol. 0, no. 0, pp. 3–94, 2012.
- [25] L. A. Yarzabal, E. J. Chica, and P. Quichimbo, "Microbial diversity of tropical Andean soils and low-input sustainable agriculture development," in *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, vol. 1, Springer Singapore, 2017, pp. 207–234.
- [26] M. C. Roa-García and S. Brown, "Caracterización de la acumulación de carbono en pequeños Humedales Andinos en la cuenca alta del Río Barbas (Quindío, Colombia)," *Caldasia*, vol. 38, no. 1, pp. 117–136, Jan. 2016, doi: 10.15446/caldasia.v38n1.57833.
- [27] S. J. Fonte *et al.*, "Pathways to Agroecological Intensification of Soil Fertility Management by Smallholder Farmers in the Andean Highlands," in *Advances in Agronomy*, vol. 116, Academic Press, 2012, pp. 125–184.
- [28] A. Molina, V. Vanacker, V. Balthazar, D. Mora, and G. Govers, "Complex land cover change, water and sediment yield in a degraded andean environment," *J. Hydrol.*, vol. 472–473, pp. 25–35, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.09.012.
- [29] S. Torrachi, M. F. Tapia, A. Escudero, and M. de la Cruz, "Deforestación en una región montañosa megadiversa en los Andes: Dinámica del paisaje en el sur de Ecuador.," in *Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados.*, no. November 2015, M. De la Cruz and F. Maestre, Eds. 2013, pp. 275–289.
- [30] J. Brandbyge, *Reforestación de los andes ecuatorianos con especies nativas*. CESA Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas., 1991.
- [31] N. Aguirre, X. Palomeque, M. Weber, B. Stimm, and S. Günter, "Reforestation and Natural Succession as Tools for Restoration on Abandoned Pastures in the Andes of South Ecuador," Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 513–524.





- [32] G. Lemieux and D. Germain, *Ramial Chipped Wood: the clue to a Sustainable Fertile Soil*. Laval University, Coordination Group on Ramial Wood, 2000., 2000.
- [33] M. Fortin Faubert, M. Hijri, and M. Labrecque, "Short Rotation Intensive Culture of Willow, Spent Mushroom Substrate and Ramial Chipped Wood for Bioremediation of a Contaminated Site Used for Land Farming Activities of a Former Petrochemical Plant," *Plants*, vol. 10, no. 3, p. 520, Mar. 2021, doi: 10.3390/plants10030520.
- [34] C. Caron, "RAMIAL CHIPPED WOOD: A BASIC TOOL FOR REGENERATING SOILS," vol. 8, pp. 1–15, 1994.
- [35] D. Germain, *Ramial Chipped Wood: the Clue to a Sustainable Fertile Soil*, 2007.
- [36] B. Piškur, M. Humar, A. Ulčnik, D. Jurc, and F. Pohleven, "Fungal Wood Decay Processes as a Basis for Bioremediation," Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 51–74.
- [37] M. Villatoro, C. Henríquez, and F. Sancho, Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo, *Agronomía Costarricense*, 2008.
- [38] S. Wise. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. *Hydrological processes*, 14(11-12), 1909-1929, 2000.
- [39] N. W. Osorio, pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4, 2012.
- [40] G. N. García, y S. Navarro García, *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*, Mundi-Prensa Libros, 2013.
- [41] M. Olmo, Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal, 2016.
- [42] F. Casierra-Posada, y O. E. Aguilar-Avendaño, Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-257, 2007.
- [43] O. A. Acevedo Sandoval, "Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelos de carga variable", Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2007.
- [44] C. Martínez, "Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58", Universidad de Guadalajara, 2015.
- [45] J. A. Cuenca Rivera, Evaluación de la mineralización de biochar sobre parametros químicos del suelo en dos tiempos de incubación, 2019.





- [46] A. I. Quenallata Perez, *Evaluación de la calidad del suelo a la aplicación de madera rameal fragmentada de árboles leguminosos y no leguminosos, comunidad Combujo del municipio de vinto-Cochabamba* (Doctoral dissertation).
- [47] D. I. Castillo, J. A. R. Corral, J. G. F. Garnica, y D. R. G. Eguiarte, Distribución espacial del contenido de materia orgánica de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 187-194.47, 2007.
- [48] A. Quiroga, J. A. Galantini, y G. A. Studdert, La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. *Manejo y conservación de suelos. Con especial énfasis en situaciones argentinas*, 139-159, 2017.
- [49] C. M. Díaz Granda, “Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol)”, Universidad del Azuay, 2017.
- [50] J. A. Cuenca, “Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación”, *Universidad Técnica de Machala*, 2019.
- [51] J. Major, M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha, and J. Lehmann, Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, 333(1), 117-128, 2010.
- [52] M. R. Quigüiri Chugñay, y D. A. Robalino Zambrano, “Variación de condiciones edáficas en el proceso de restauración con enmiendas de biocarbón”, Universidad Estatal Amazónica, 2019.
- [53] M. Freire, T. Lima, A. Lima, J. Ribeiro, y P. Trugilho, Different plant biomass characterizations for biochar production, *CERNE*, 23(4), 529 – 536, 2017

NOTA BIOGRÁFICA



Kevin Muñoz-Lara. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-8611-4732>
Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Su línea de investigación está relacionada con la restauración de ecosistemas andinos y la gestión ambiental.





Kevin Valencia. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-0558-4477>
Ingeniero en Biodiversidad y recursos Genéticos. Técnico de Laboratorio en el Centro para la investigación del Territorio y el Hábitat Sostenible en la Universidad Tecnológica Indoamérica Quito-Ecuador. Su línea de investigación en la actualidad gira en torno a la ciencia del suelo y la biología de la conservación.



Angélica Vaca Yánez. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-1278-0134>
Técnica de laboratorio en la Universidad Tecnológica Indoamérica. Obtuvo su ingeniería en Geografía y Ordenamiento Territorial en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, tiene una maestría en Desarrollo Local. Su línea de investigación es en Territorio, Paisaje, Suelos, GIS y Sensores Remotos. Actualmente es técnica de laboratorio en el Centro para la investigación del Territorio y el Hábitat Sostenible en la Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador.



Paul Dehousse. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-8802-0713>
Ingeniero Agrónomo. Consultor independiente, miembro del colectivo Ilaló Verde.



Muñoz, Valencia, Vaca, Dehousse & Bonilla-Bedoya. Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento madera rameal fragmentada en suelos degradados de los andes, caso volcán Ilaló.

Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.380>





Santiago Bonilla-Bedoya. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-2464-4500>

Doctor en Recursos Naturales y Sostenibilidad. Docente-Investigador de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Sus líneas de investigación incluyen el análisis espacio temporal aplicado a entender la estructura, funcionamiento y dinámica de los sistemas adaptativos complejos; el manejo y uso de la tierra, la ordenación de montes, la geografía de los recursos naturales, geo-estadística y geo-informática.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



Muñoz, Valencia, Vaca, Dehousse & Bonilla-Bedoya. Evaluación de enmienda edáfica en base al tratamiento madera rameal fragmentada en suelos degradados de los andes, caso volcán Ilaló.

Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.380>

