

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, CALERO BRAVO GISELLA KATIUSKA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de las características químicas de dos suelos ácidos a la aplicación de tres enmiendas edáficas, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

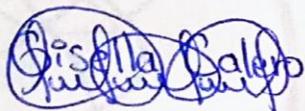
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 20 de septiembre de 2022



CALERO BRAVO GISELLA KATIUSKA
0750579138

**Efecto de las características químicas de dos suelos ácidos a la
aplicación de tres enmiendas edáficas**

**Effect of the chemical characteristics of two acid soils to the
application of three edaphic amendments**

Gisella Katuska Calero Bravo*. Universidad Técnica de Machala. Machala. El Oro. Ecuador.

E-mail: gcalero1@utmachala.edu.ec

Diego Ricardo Villaseñor Ortiz. Universidad Técnica de Machala. Machala. El Oro. Ecuador.

E-mail: dvillasenor@utmachala.edu.ec

Julio Enrique Chabla Carrillo. Universidad Técnica de Machala. Machala. El Oro. Ecuador.

E-mail: jechabla@utmachala.edu.ec

Irán Rodríguez Delgado. Universidad Técnica de Machala. Machala. El Oro. Ecuador.

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

Ángel Eduardo Luna Romero. Universidad Técnica de Machala. Machala. El Oro. Ecuador.

E-mail: aeluna@utmachala.edu.ec

Autor para correspondencia *: gcalero1@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La acidez es una de las principales formas de degradación presentes en los suelos y uno de los factores que afecta el rendimiento de los cultivos, ante esta problemática es necesario aplicar medidas correctivas de origen natural o industrial, que permitan recuperar los suelos ácidos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de tres enmiendas edáficas (Carbonato de Ca, Ceniza y Biocarbón de origen vegetal) sobre las propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO) y materia orgánica del suelo (MOS), de dos localidades de la Provincia de El Oro en Ecuador. Se estudiaron 297 muestras por cada localidad (L1 y L2) con un diseño completamente al azar (DCA) aplicando el ANOVA y un test Student (LCD), se emplearon tres tipos de enmiendas, adicionando once dosis diferentes de cada enmienda con tres repeticiones por cada dosis, y las muestras se evaluaron en tres tiempos de incubación. Los análisis indicaron que el uso de Cal agrícola mejoró los niveles de pH en los suelos. También se evidenció que al adicionar Cenizas se incrementó la CE de los suelos. El contenido de CO y MO en la (L1) aumentó al emplear Cal agrícola, mientras que en la (L2) se presentaron mayores valores al emplearse Biocarbón a los suelos estudiados. Estos compuestos tanto químicos como orgánicos son una excelente alternativa al utilizarse como enmiendas edáficas, ya que, corrigen las propiedades químicas del suelo, logrando que éstos sean aptos para producir y mejoren los rendimientos de los cultivos.

Palabras clave: acidez de suelos, medidas correctivas, mejora de productividad..

ABSTRACT

Acidity is one of the main forms of degradation present in soils and one of the factors that affects crop yields, therefore, in the face of this problem, it is necessary to apply corrective measures of natural or industrial origin, which allow soils to be recovered. acids. The objective of this research was to evaluate the effect of three edaphic amendments (Ca Carbonate, Ash and Biochar of plant origin) on chemical characteristics such as pH, electrical conductivity (EC), organic carbon (CO) and soil organic matter (MOS), from two locations in the Province of El Oro in Ecuador. 297 samples were studied for each locality (L1 and L2) with a completely randomized design (DCA) applying the ANOVA and a Student test (LCD), three types of amendments were used, adding eleven different doses of each amendment with three repetitions per each dose, and samples were evaluated at three incubation times. The analyzes indicated that the use of agricultural lime improved the pH levels in the soils. It was also evidenced that adding ash increased the EC of the soils. The content of CO and OM in the (L1) increased when using agricultural lime and in the same way in the (L2) it was presented in greater amounts when adding Biochar to the soils studied. These materials are an excellent alternative when used as soil amendments, since they correct the chemical properties of the soil, making them suitable for production and improving crop yields.

Key words: soil acidity, corrective measures, productivity improvement.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos es un problema generado por los cambios en el uso y la implementación de prácticas de manejo propias de cada cultivo, que paulatinamente van ocasionando modificaciones en el potencial productivo de los suelos (Jamioy et al., 2015), este efecto, genera una limitante para el desarrollo de los cultivos, que se pueden mejorar con el uso de correctivos agrícolas (Ibañes, 2007; Luna et al., 2021). En Ecuador, la acidez de los suelos está presente en un 24 % de toda su superficie agrícola, encontrándose predominantemente en Inceptisoles (Chico, 2019). En general, los suelos de órdenes Inceptisol y Ultisol poseen un pH ácido, baja fertilidad y alto contenido de aluminio (Al^{+++}) que puede generar toxicidad (Calva y Espinosa, 2017 a), por ello, requieren la aplicación de enmiendas que corrijan las propiedades químicas del suelo (Sadeghian y Marin, 2020).

El origen de acidez en los suelos esta dado principalmente por la reducción de bases intercambiables, cuando las bases Ca, Mg, K y Na son reemplazadas por el ion Hidrógeno (H^+) en los sitios de intercambio (Álvarez y Rimski, 2015), afectando las características químicas y biológicas del suelo (Valerio y Molina, 2012). También se han establecido otras formas de degradación de los suelos, como los ocasionados por la disminución de los niveles de salinidad, medidos en el suelo por la conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO) y materia orgánica (MO) (Estrada-Herrera et al., 2017). Por lo tanto, los compuestos a utilizarse como potenciales correctivos de la acidez del suelo, deben contener fuentes minerales de origen natural o industrial (Castro y Munevar, 2013).

Hirzel et al., (2017), mencionan que la principal estrategia de manejo y control de la acidez es el encalado, es decir la aplicación de Carbonato de Calcio ($CaCO_3$),

además, Calva y Espinosa (2017) indican que estas fuentes mejoran las condiciones físicas y microbiológicas del suelo, incrementando el pH. Por otro lado, Combatt et al., (2017) afirma que una de las técnicas de manejo comúnmente empleadas para suprimir la acidez de los suelos ácidos es el uso de compuestos químicos alcalinos como es el carbonato de calcio. Por su lado, Pérez (2016), menciona que el encalado mejora la acidez del suelo favoreciendo la actividad microbiana y permitiendo que el nitrógeno orgánico y la mineralización orgánica de azufre, puedan ser asimilables por el sistema de raíces de las plantas.

De la misma forma, las cenizas son el resultado de la combustión de biomasa vegetal. En algunos casos, este tipo de residuos, se ha empleado para aliviar las deficiencias nutricionales presentes en las plantaciones desarrolladas sobre suelos ácidos (Solla-Gullón et al., 2001). De la misma forma, Arias et al., (2021) afirmaron que el aporte de las cenizas genera un incremento en el pH del suelo y en las concentraciones de Fosfatos ($\text{PO}_4^{=4}$), Ca^{++} y Mg^{++} que se encuentran en formas asimilables para las plantas, logrando incrementos en la producción. Por otra parte, Downie et al. (2009), indicaron que el efecto de grandes dosis del residuo de ceniza, mejora las propiedades físicas y químicas, del suelo. De igual manera, Santalla et al. (2011), ratificaron que las cenizas poseen gran contenido de nutrientes y su uso mejora el estado nutricional de los cultivos, así como la producción y reestructuración de suelos gracias a su doble función fertilizante/enmendante, que se da debido a las bajas concentraciones de metales pesados que posee.

Otro mecanismo que ha sido documentado en la literatura, es el uso de Biocarbón o *Biochar*, que se produce a través de la pirólisis (uso de altas temperaturas),

y ha sido recientemente utilizado como enmienda edáfica. Según Gómez et al. (2016) el uso de biocarbón tiene un efecto positivo en las propiedades químicas y físicas de los suelos, corrige las deficiencias y además favorece la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos. En este contexto Giltes, (2014) demostró los beneficios del biocarbón al ser aplicado al suelo, contribuyendo a la reducción de los valores de la densidad aparente, mejora la dinámica del agua al cambiar la estructura del suelo, el aumento de la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de reducir la lixiviación de las sales más solubles entre ellas Ca^{++} y Mg^{++} , y la escorrentía superficial, incrementando el pH del suelo y reteniendo pesticidas y metales pesados, lo que lo convierte en una importante enmienda edáfica debido a las experiencias desarrolladas en suelos ácidos. Omil (2013) indicó que el uso del biocarbón mejora la actividad microbiana y descompone la materia orgánica del suelo, permitiendo que el nitrógeno (N) sea asimilado por las plantas. También hay investigaciones que muestran que el biocarbón puede retener de forma temporal el N soluble en su estructura y liberarlo de forma más lenta que los productos inorgánicos, ampliando la eficiencia de este elemento y la producción de los cultivos (Zheng, 2013).

Ante los argumentos expuestos anteriormente, la presente investigación, se planteó la siguiente hipótesis: las características químicas del suelo se modifican a la aplicación de enmiendas edáficas a base de carbonato de Ca, Ceniza y Biocarbón de origen vegetal. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo: Evaluar el efecto de tres enmiendas edáficas (carbonato de Ca, Ceniza y Biocarbón de origen vegetal) sobre las características químicas como pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO) y materia orgánica (MO) de dos suelos de la Provincia de El Oro en Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio: La fase experimental del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada a 5.5 km de la vía Machala – Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia El Oro en Ecuador, con las siguientes coordenadas: al Sur 3° 17' 16" de Longitud y al Oeste 79° 54' 05" de Latitud, a 6 metros sobre el nivel del mar (m snm). Las muestras evaluadas en laboratorio, fueron extraídas en dos localidades de la provincia de El Oro: 1. Sector de Dumarí, ubicado en la coordenadas 3°27'03" de longitud sur y 79°35'05" de latitud oeste, a 1200 m snm. Posee un clima sub-tropical húmedo, con una temperatura media anual máxima de 30 °C y una mínima de 21 °C, con un promedio de humedad relativa del 78 %, y precipitaciones anuales con un promedio de 950 mm, (Ecuador. GAD Municipal de Chilla, 2014) y en 2. El Guabo, situado en las coordenadas 3°24'12" de longitud sur y 79°84'42" de latitud oeste a 180 msnm. Presenta un clima sub-tropical, megatérmico seco a semihúmedo. (Kottek et al., 2006)

Los suelos estudiados pertenecen al orden Inseptisol y se clasifican como Oxic Dystrudepts, ya que, estos suelos aun no se encuentran completamente meteorizados para ser Ultisoles u Oxisoles, aunque presenten algunas características óxicas provenientes de éstos (Espinosa et al., 2022).

Recolección de muestras de suelos y métodos de análisis: Previo al establecimiento del ensayo, se identificaron tres hectáreas del área total de cada sitio de muestreo, y se recolectó las muestras de suelos que luego serían evaluadas. Las muestras se tomaron en el horizonte A, en forma de zig-zag, según los lineamientos de

Hernandez et al. (2014). A una profundidad de 0 a 20 cm, se recogió un total de 20 submuestras en cada unidad de muestreo, mismas que luego se homogenizaron para generar una muestra compuesta por cada sitio (Osorio y Casamitjana, 2011), a la cual se le realizaron los siguientes análisis:

El pH y conductividad eléctrica (CE) se determinaron empleando la relación suelo-agua, en proporción 1:2 (10 g de suelo: 20 ml de agua destilada). El pH en KCl, se tomó en una proporción 1:2 (10 g suelo: 20 ml KCl 1 M) según lo descrito por Ames y Castillo (2014). El porcentaje de carbono orgánico (% CO) se conoció por el método de ignición. Seguidamente se calculó el contenido de MO, que se determinó multiplicando los valores obtenidos de CO, por el factor empírico de corrección equivalente a 1.724, según la metodología propuesta por Eyherabide et al. (2014).

Establecimiento de ensayos en dos unidades experimentales: El proyecto se estableció entre los meses de febrero a junio del 2022, en condiciones controladas de laboratorio el cual permaneció una temperatura de 25.5 °C. (± 2). Una vez recolectadas las muestras, se procedió a secarlas y luego fueron tamizadas en una malla de 2 mm (Vargas, 2010).

Las unidades experimentales fueron recipientes plásticos con capacidad de 500 g, donde se colocó 250 g de suelo y adicionando las enmiendas según dosis establecidas (Tabla 1), se homogenizó, se humedeció a través del ascenso de agua por capilaridad y posteriormente se dejó drenar por 24 horas, luego se determinó el peso que mantendrían en los tiempos que dure el ensayo. La reposición de agua se hizo dos veces por semana, pesando cada UE y devolviendo el peso inicial con un gotero y agua destilada.

Tratamientos y diseño experimental: Este experimento fue evaluado mediante parcelas sub-sub divididas, donde la parcela principal fueron las tres tipos de enmiendas, la subparcela consideró los tres tiempos de incubación, y la sub-sub parcela tomó las 11 distintas dosis de cada enmienda (Tabla 1). Se utilizó un diseño factorial completo completamente al azar (DCA) de 3x3x11, con tres repeticiones.

Tabla 1. Diseño experimental realizado en parcelas sub-sub divididas, con tres repeticiones.

Parcela principal (Enmiendas)	Sub parcela (Tiempos de incubación)	Sub-sub parcela (Dosis t ha ⁻¹)
Carbonato de calcio	30 días	0
Ceniza de caña azúcar	60 días	5
Biocarbón	90 días	10
		15
		20
		25
		30
		35
		40
		45
		50

Diseño experimental completamente al azar (DCA), en parcelas sub-sub divididas.

Una vez que las muestras cumplieron el tiempo respectivo se retiraron de los recipientes y se llevaron a secar para luego proceder a tomar las variables de cada UE,

realizando los respectivos análisis de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico (CO) (Mtz, 2001).

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente con ANOVA factorial y un test Student (LCD), con una diferencia mínima significativa (DMS) a una $p=0.05$, empleando el Software AGROESTAT® (Barbosa y Maldonado, 2010).

RESULTADOS

pH (KCl). Para el efecto de las Enmiendas (E) (Cal, Ceniza y Biocarbón) (Tabla 2, Localidad 1 y 2), los resultados indicaron que la prueba ANOVA mostró diferencias significativas al nivel de 1% de probabilidad a los 30, 60 y 90 días, de modo que, se determina que los tres tipos de enmiendas (E), los tres tiempos de incubación (T), más la interacción de los factores conjuntos E x T, utilizados en el experimento influyeron en el incremento del pH medido en KCl para todos los tratamientos.

Para el efecto de las Dosis (D) (Tabla 2, Localidad 1 y 2), utilizadas en las dos localidades, la prueba ANOVA indicó que hay diferencias significativas al nivel de 1% de probabilidad, por lo tanto, se concluye que las diferentes dosis (D), la relación de los factores, tanto de enmienda por dosis (E x D), tiempo de incubación por dosis (T x D) y enmienda por tiempo de incubación por dosis (E x T x D), empleados en el experimento intervinieron en el aumento del pH medido en KCl de los tratamientos.

Tabla 2. Niveles de significancia de los resultados de pH tomados en KCl, bajo el efecto de tres enmiendas edáficas, incubadas en tres tiempos, con once dosis distintas.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios	Significancia	CV %
----------------------	----	------------------	---------------	------

Localidad 1				
Enmiendas (E) ¹	2	93,36	**	2,66
Tiempo de incubación (T) ²	2	1,47	**	3,29
E x T	4	1,83	**	
Dosis (D) ³	10	7,13	**	
E x D	20	1,40	**	2,12
T x D	20	0,09	**	
E x T x D	40	0,08	**	
Localidad 2				
Enmiendas (E) ¹	2	173,7	**	4,61
Tiempo de incubación (T) ²	2	1,86	**	3,03
E x T	4	0,16	**	
Dosis (D) ³	10	7,37	**	
E x D	20	2,58	**	2,92
T x D	20	0,09	**	
E x T x D	40	0,14	**	

Valores dados según el ANOVA ($P \leq 0.05$), para pH en KCl. Donde: ¹tres tipos de enmiendas: Cal agrícola, Ceniza y Biocarbón; ²tres tiempos de incubación: 30, 60 y 90 días; ³once dosis de tratamientos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 t ha⁻¹. *, ** Significancia de 0,05 y 0,01 de probabilidad. NS: no significativo.

La prueba de diferencia (DMS) de medias entre las enmiendas evaluadas, en las dos localidades, indican que para los dos grupos de muestras evaluadas (L1 y L2), hubo un efecto significativo para la enmienda Cal agrícola, frente al uso de ceniza y biocarbón, indicando que el uso de este tipo de enmienda, mejora las condiciones de pH en los dos suelos evaluados en el experimento (Figura 1).

Entre tanto, en la Figura 2, se observa que, en cuestión de los tiempos de incubación, hubo un resultado contrastante entre los dos sectores evaluados. Para L1, el tiempo de incubación adecuado fue de 90 días, mientras que para L2, resultó en 30 días. Esto puede indicar que los dos sectores responden de forma distinta en los niveles de respuesta de la enmienda carbonato de calcio en la modificación del pH medido en KCl.

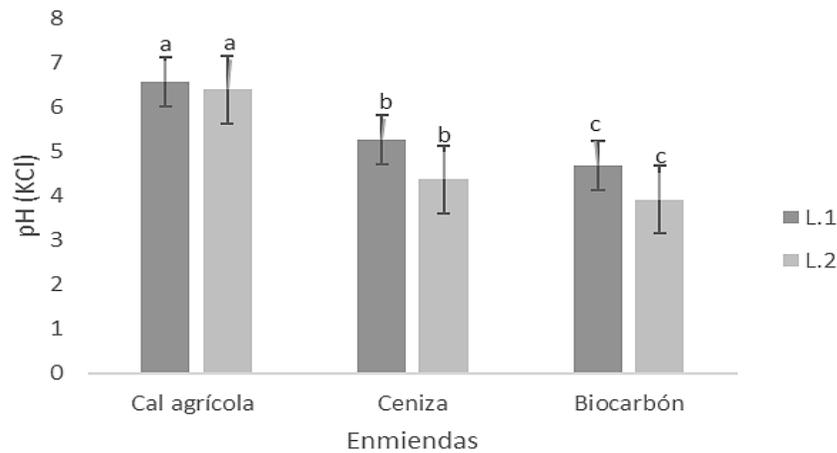


Figura 1. Comparación entre las medias del efecto de las enmiendas sobre los niveles de pH en KCl medidos en dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba de diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

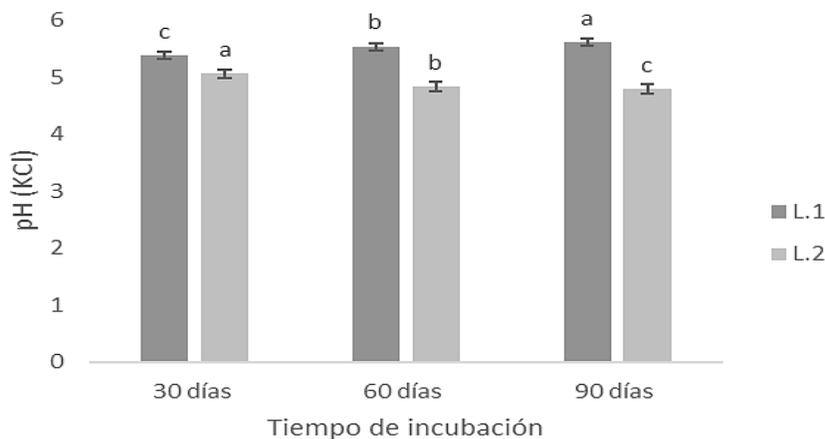


Figura 2. Comparación entre las medias del efecto del tiempo de incubación sobre los niveles de pH en KCl medidos en dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

Conductividad Eléctrica (CE). En la Tabla 3, Localidad 1, para el efecto de las enmiendas (E) (Cal, Ceniza y Biocarbón), la prueba ANOVA presentó diferencias significativas ($P \leq 0,01$), por lo tanto, se demuestra que los tres tipos de enmiendas (E), tres tiempos de incubación (T) y la interacción conjunta de los factores (E x T) establecidos han influido en el aumento de la CE tomada en los tratamientos.

Por otra parte, en el ANOVA para el efecto de las enmiendas (E) (Cal, Ceniza y Biocarbón) (Tabla 3, Localidad 2) hubieron diferencias significativas, lo que indica que la CE aumentó ante la aplicación de las tres enmiendas (E), no obstante, los tres tiempos de incubación (T) no presentaron diferencias significativas, por lo cual se determina que el tiempo no influyó en el aumento de la CE tomada en cada tratamiento. ; adicional a esto se evidenció que la relación conjunta de los factores enmienda por tiempo de incubación (E x T) logró incrementar la CE en cada tratamiento.

El análisis de varianza (Tabla 3, Localidad 1) para el efecto de las Dosis (D) (Tabla 1), presentó diferencias significativas ($P \leq 0,01$), comprobando que las diferentes dosis (D), y la interacción conjunta de los factores, tanto de enmienda por dosis (E x D), tiempo de incubación por dosis (T x D) y enmienda por tiempo de incubación por dosis (E x T x D), trabajados en el experimento fueron factores que estimularon el aumento de la CE tomada en cada uno de los tratamientos.

En cuanto al efecto de las Dosis (D) (Tabla 3, Localidad 2) el ANOVA presentó diferencias significativas ($P \leq 0,01$) que demostraron que las diferentes dosis (D), más la interacción conjunta de los factores de enmienda por dosis (E x D) incidieron en el aumento de la CE tomada en los tratamientos, y también se pudo conocer que la relación de las variables tiempo de incubación por dosis (T x D) y enmienda por tiempo de incubación por dosis (E x T x D) no presentaron significancia, por lo tanto, estos no influyeron en el cambio de la CE para cada uno de los tratamientos.

Tabla 3. Niveles de significancia de los resultados de CE tomados en agua, bajo el efecto de tres enmiendas edáficas, incubadas en tres tiempos, empleando once dosis distintas.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios	Significancia	CV %
Localidad 1				
Enmiendas (E) ¹	2	6,20	**	12,12
Tiempo de incubación (T) ²	2	1,00	**	16,10
E x T	4	0,65	**	
Dosis (D) ³	10	1,98	**	
E x D	20	0,33	**	12,07
T x D	20	0,04	**	
E x T x D	40	0,03	**	
Localidad 2				
Enmiendas (E) ¹	2	3,17	**	21,47
Tiempo de incubación (T) ²	2	0,01	NS	16,63
E x T	4	0,14	**	
Dosis (D) ³	10	1,59	**	18,94
E x D	20	0,36	**	

T x D	20	0,0	NS
E x T x D	40	0,01	NS

Valores dados según el ANOVA ($P \leq 0.05$), para Conductividad Eléctrica (CE). Donde: ¹tres tipos de enmiendas: Cal agrícola, Ceniza y Biocarbón; ²tres tiempos de incubación: 30, 60 y 90 días; ³once dosis de tratamientos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 t ha⁻¹. *, ** Significancia de 0,05 y 0,01 de probabilidad. NS: no significativo.

La prueba de diferencia de medias (DMS) entre las enmiendas evaluadas, en las dos localidades (L1 y L2), presentaron un cambio significativo con el empleo de Ceniza como enmienda edáfica, frente al uso de la Cal agrícola y el biocarbón, indicando que el uso de enmiendas de este tipo, genera un incremento de la CE en los dos suelos evaluados en el experimento (Figura 3).

Mientras que, en la Figura 4, se observa que, en lo referente a los tiempos de incubación de los dos sectores evaluados, se presentaron los mejores resultados, los cuales determinaron que en L1 y L2, el tiempo de incubación más adecuado fue de 90 días. Esto nos muestra que en ambos sectores han reaccionado de forma similar al evidenciarse un incremento en los niveles iniciales de CE, otorgado a la adición de ceniza al suelo empleada como enmienda.

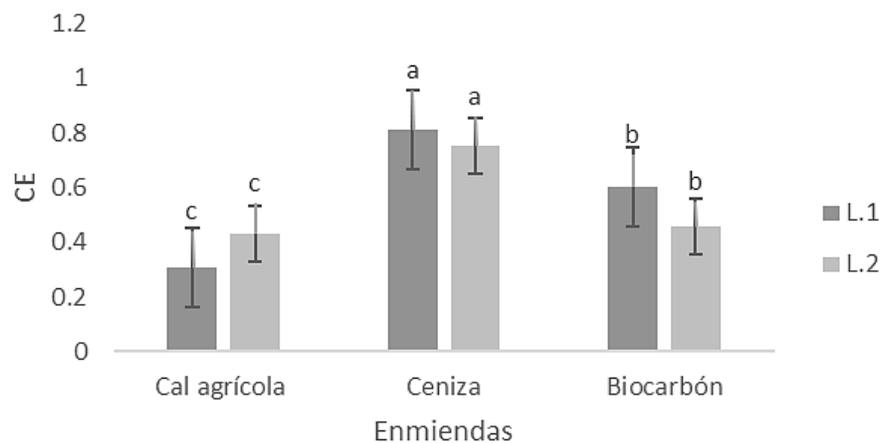


Figura 3. Comparación entre las medias del efecto de las enmiendas sobre los niveles de CE obtenidos de dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

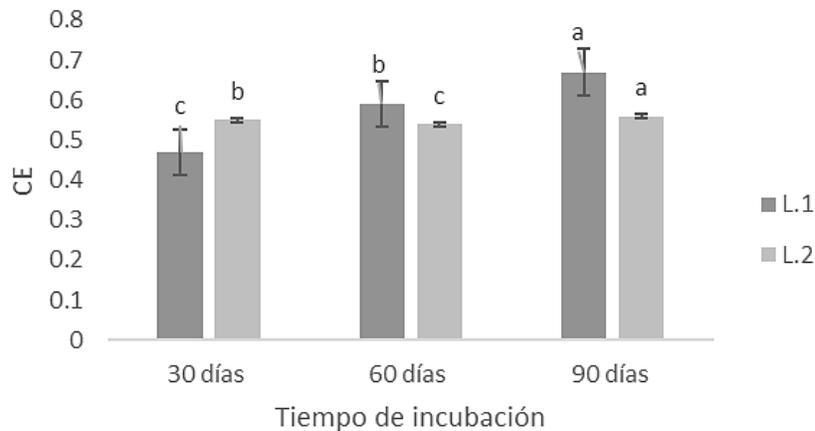


Figura 4. Comparación entre las medias del efecto del tiempo de incubación sobre los niveles de CE obtenidos de dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

Carbono Orgánico (% CO). Para analizar el efecto de las enmiendas (E) sobre el contenido de %CO (Cal, Ceniza y Biocarbón), la prueba ANOVA determinó que existen diferencias significativas ($P \leq 0,01$), entre los tres tipos de enmiendas (E), y tres tiempos de incubación (T) más la interacción de los factores en conjunto E x T, incluidos en el experimento, lo que provocó un aumento del contenido de CO en cada uno de los tratamientos. (Tabla 4. Localidad 1).

En el efecto de las enmiendas (E) (Cal, Ceniza y Biocarbón) (Tabla 4. Localidad 2). El ANOVA evidenció diferencias significativas ($P \leq 0,01$), puesto que los tipos de enmiendas (E) utilizados hicieron que aumente el contenido de CO por cada uno de los

tratamientos. No obstante, en los tres tiempos de incubación (T) estudiados en el experimento no existió una diferencia significativa, sobre el contenido de CO en los tratamientos evaluados. Por otra parte, en la interacción dada entre los tipos de enmienda por los tiempos de incubación (E x T) si se evidenció el aumento del contenido de CO en los tratamientos.

De acuerdo a la (Tabla 4. Localidad 1 y 2), en el efecto de las Dosis (D), el ANOVA demostró que existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,01$), lo cual señala que las diferentes dosis (D), más la interacción conjunta de los factores, tanto de enmienda por dosis (E x D), tiempo de incubación por dosis (T x D) y enmienda por tiempo de incubación por dosis (E x T x D), usadas en el experimento fueron factores que causaron el aumento del CO en cada uno de los tratamientos.

Tabla 4. Niveles de significancia de los resultados obtenidos, de % CO tomados bajo el efecto de tres enmiendas edáficas, incubadas en tres tiempos, empleando once dosis distintas.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios	Significancia	CV %
Localidad 1				
Enmiendas (E) ¹	2	7,13	**	9,04
Tiempo de incubación (T) ²	2	0,44	**	8,61
E x T	4	2,84	**	
Dosis (D) ³	10	0,32	**	
E x D	20	0,12	**	5,30
T x D	20	0,04	**	
E x T x D	40	0,08	**	
Localidad 2				
Enmiendas (E) ¹	2	1,20	**	5,89

Tiempo de incubación (T) ²	2	0,01	NS	4,81
E x T	4	0,14	**	5,74
Dosis (D) ³	10	0,05	**	
E x D	20	0,04	**	
T x D	20	0,03	**	
E x T x D	40	0,03	**	

Valores dados según el ANOVA ($P \leq 0.05$), para obtener el % CO, Donde: ¹tres tipos de enmiendas: Cal agrícola, Ceniza y Biocarbón; ²tres tiempos de incubación: 30, 60 y 90 días; ³once dosis de tratamientos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 t ha⁻¹. *, ** Significancia de 0,05 y 0,01 de probabilidad. NS: no significativo.

La prueba de diferencia de medias (DMS) entre las enmiendas evaluadas (Figura 5), en las dos localidades, indican que las muestras estudiadas en la primera localidad (L1) tuvieron un cambio en el contenido de CO, al utilizar como enmienda la Cal agrícola, a diferencia de la segunda localidad (L2) en la cual se modificaron los niveles de CO con la adición del Biocarbón como enmienda. Estas enmiendas presentaron niveles superiores de CO en comparación con el uso de la ceniza, señalando que el uso de este tipo de enmiendas (Cal agrícola y Biocarbón), ha generado un aumento del CO en los dos suelos analizados en el experimento.

También, en lo referente a los tiempos de incubación de las dos localidades estudiadas en la Figura 6, muestra que, los mejores resultados para el primer sector (L1) se dieron a los 30 días, a diferencia de el segundo sector (L2) el cual determinó que el tiempo de incubación mas apropiado se dió a los 90 días. Esto demuestra que los sitios de muestreo presentan una reacción semejante que comprueba que el aumento en los

niveles de CO, esta dado por el uso de la Cal agrícola y del Biocarbón empleados como enmiendas al suelo.

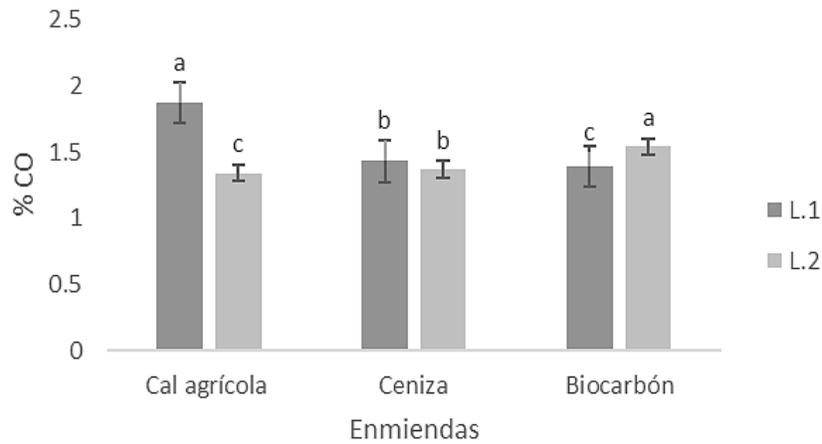


Figura 5. Comparación entre las medias del efecto de las enmiendas sobre los niveles de CO obtenidos de dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

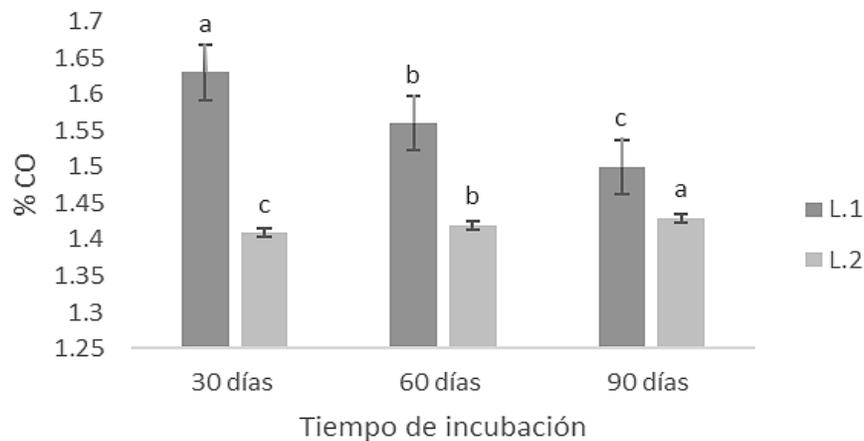


Figura 6. Comparación entre las medias del efecto del tiempo de incubación sobre los niveles de CO obtenidos de dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

Materia Orgánica (% MO). Para el efecto de las enmiendas (E) (Cal, Ceniza y Biocarbón). La prueba ANOVA tuvo diferencias significativas altas ($P \leq 0,01$), así podemos definir que los tres tipos de enmiendas (E), tres tiempos de incubación (T) y la relación conjunta de los factores (E x T), comprendidos en el experimento han generado el aumento del contenido de MO en cada uno de los tratamientos. (Tabla 5. Localidad 1).

Al efectuar la prueba del ANOVA (Tabla 5. Localidad 2), el efecto de las enmiendas (E) demostró que hay una diferencia significativa alta para los tres tipos de enmiendas (E) por lo que se concluye que éstas han incrementado el contenido de MO en los tratamientos evaluados. Así también, se observó para la interacción conjunta de los factores enmienda por tiempo de incubación (E x T) no hubo significancia, por lo tanto, no provocó incrementos en la MO presente en cada uno de los tratamientos.

Para el efecto de las Dosis (D), (Tabla 5. Localidad 1 y 2) la prueba ANOVA dio a conocer que existen altas diferencias significativas ($P \leq 0,01$), demostrando que, las distintas dosis (D), más la interacción conjunta de los factores de enmienda por dosis (E x D), tiempo de incubación por dosis (T x D) y enmienda por tiempo de incubación por dosis (E x T x D), estudiados en el experimento han logrado aumentar el porcentaje de MO en cada uno de los tratamientos.

Tabla 5. Niveles de significancia de los resultados obtenidos del % MO tomados bajo el efecto de tres enmiendas edáficas, incubadas en tres tiempos, empleando once dosis distintas.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios	Significancia	CV %
Localidad 1				
Enmiendas (E) ¹	2	21,19	**	9,04

Tiempo de incubación (T) ²	2	1,31	**	8,61
E x T	4	8,45	**	
Dosis (D) ³	10	0,96	**	
E x D	20	0,36	**	5,30
T x D	20	0,10	**	
E x T x D	40	0,24	**	
Localidad 2				
Enmiendas (E) ¹	2	3,56	**	5,89
Tiempo de incubación (T) ²	2	0,03	NS	4,81
E x T	4	0,40	**	5,74
Dosis (D) ³	10	0,15	**	
E x D	20	0,12	**	
T x D	20	0,08	**	
E x T x D	40	0,08	**	

Valores dados según el ANOVA ($P \leq 0.05$), para obtener el % MO, Donde: ¹tres tipos de enmiendas: Cal agrícola, Ceniza y Biocarbón; ²tres tiempos de incubación: 30, 60 y 90 días; ³once dosis de tratamientos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 t ha⁻¹. *, ** Significancia de 0,05 y 0,01 de probabilidad. NS: no significativo.

La prueba de diferencia de medias (DMS) entre las enmiendas evaluadas para la determinación de la MO (Figura 7), señala que la primera localidad (L1), tuvo el mejor resultado con el empleo de la Cal agrícola como enmienda, a diferencia de la segunda localidad (L2) la cual mostró mejores resultados con el uso del Biocarbón, por lo tanto, a diferencia del uso de ceniza, nos indica que el uso de enmiendas como Cal agrícola y Biocarbón mejoran los suelos estudiados en el experimento, al generar un aumento del contenido de MO.

Por otra parte, la Figura 8, en lo referente a los tiempos de incubación, se determinó que para (L1) el tiempo más apropiado se dio a los 30 días, en cuanto a (L2) el mejor tiempo se estableció a los 90 días. Entonces podemos decir que, en las dos localidades se presenta de modo parecido el aumento del contenido de MO, en relación al uso de Cal agrícola y Biocarbón como enmiendas edáficas.

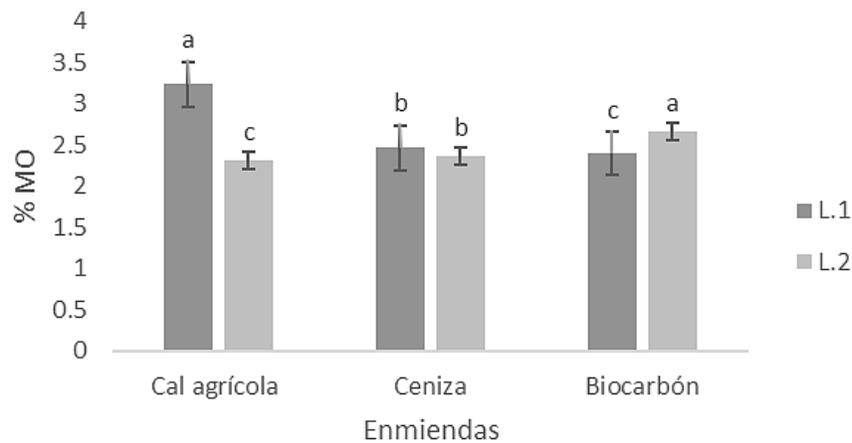


Figura 7. Comparación entre las medias del efecto de las enmiendas sobre los niveles de MO obtenidos de dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

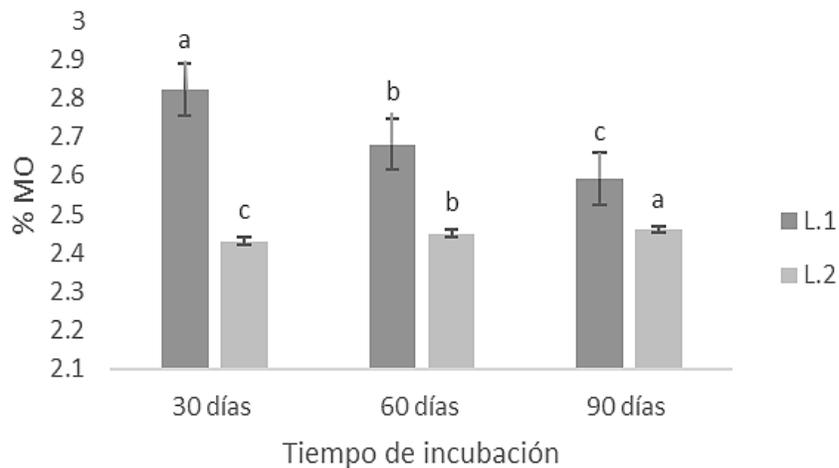


Figura 8. Comparación entre las medias del efecto del tiempo de incubación sobre los niveles de MO obtenidos de dos localidades (L.1-L.2). Letras distintas sobre las columnas, indican diferencia estadística según prueba diferencia mínima significativa (DMS) $P < 0,05$.

DISCUSIÓN

Si bien Hirzel et al. (2017), indicaron que la principal forma de controlar la acidez de los suelos era a través del encalado, los resultados observados en la Tabla 2 y Figura 1, reflejan un aumento del pH medido en KCl, dado por la aplicación de Cal agrícola, estos análisis coinciden con las investigaciones de Combatt et al., 2017; Pérez, 2016 y Calva y Espinosa, 2017, quienes en trabajos realizados demostraron que el empleo de Cal agrícola como enmienda edáfica logra mejorar las características físico-químicas y microbiológicas de los suelos ácidos incrementando el pH.

Los resultados obtenidos en la Tabla 3 y Figura 3, muestran que la aplicación de Ceniza generó un aumento en los valores iniciales de la CE y a su vez corrigió las deficiencias del suelo, los datos obtenidos tienen similitud con los de Solla-Gullón et al., 2001; Arias et al., 2021; Downie et al. 2009 y Santalla et al., 2011, quienes mediante estudios realizados comprobaron que las enmiendas de Cenizas provocan un aumento del pH de los suelos ácidos, ayudando a mejorar las concentraciones de macronutrientes en el suelo y restructurándolo al actuar como fertilizante/enmendante, para que aumente la productividad de los cultivos.

En cuanto al contenido de CO (Tabla 4 y Figura 5), y al contenido de MO (Tabla 5 y Figura 7), en los estudios realizados se obtuvo como respuesta el incremento en sus niveles iniciales, esto se logró con la adición de la Cal agrícola y el Biocarbón, debido a

los beneficios que aportan al ser empleados al suelo como enmiendas. En la localidad uno (L1) (Figura 5 y 7), los resultados obtenidos al trabajar con Cal agrícola concuerdan con los de Hirzel et al., 2017; Combatt et al., 2017; Pérez, 2016 y Calva y Espinosa, 2017, quienes demostraron que la Cal agrícola como enmienda edáfica ayuda a combatir la acidez de los suelos, incrementando el pH y mejorando la estructura de los mismos permitiendo la asimilación de nutrientes a las plantas. De la misma forma los resultados alcanzados en la Localidad 2 (L2) (Figura 5 y 7), con el uso del Biocarbón coinciden con los de Gómez et al., 2016; Gilses, 2014; Omil 2013 y Zheng, 2013, ya que, ellos en sus investigaciones señalan las propiedades que atribuye al suelo la aplicación de Biocarbón vegetal, tales como el mejoramiento de los suelos, puesto que posee una capacidad encapsulante de metales pesados y la actividad microbiológica que permite la asimilación de (N), lo cual lo convierte en una importante enmienda edáfica para tratar la acidez de los suelos.

CONCLUSIÓN

El efecto de la aplicación de las tres de enmiendas edáficas a base de Carbonato de Calcio, Ceniza y Biocarbón ha logrado modificar las características químicas tales como pH, CE, CO y MO, presentes en los dos suelos ácidos que se estudiaron, pertenecientes a la provincia de El Oro en Ecuador.

En cuanto al pH, la Cal agrícola fue la mejor enmienda, ya que, su aplicación al suelo otorgó una mejora y permitió evidenciar los valores más altos de pH tomados en KCl.

La Ceniza empleada como enmienda edáfica mejoro las características del suelo y logró buenos resultados al generar los valores mas altos en la CE de los suelos estudiados.

El contenido de CO y MO para los suelos de la primera localidad (L1) tuvo un incremento favorable, debido a la adición de Cal agrícola que permitió la mejora de éstos.

El uso de Biocarbón en la localidad dos (L2) dió resultados positivos en el incremento de CO y MO, dejando ver los beneficios de utilizar este producto como enmienda edáfica para mejorar los suelos ácidos.

La aplicación de Biocarbón vegetal, contribuyo al mejoramiento de los suelos, en cuanto al contenido de MO, CO y pH, puesto que posee una capacidad encapsulante de metales pesados y aumenta la actividad microbiológica que permite la asimilación de (N) y por ende un aumento de la productividad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más ensayos de este tipo para poder contrastar los resultados y dar mas validez a trabajos anteriormente realizados, así como también para conocer el estado de estos suelos y aplicar de forma adecuada las medias correctivas.

Realizar ensayos en estos suelos analizando otros factores como la acidez del suelo y el Aluminio intercambiable (Al^{+3})

REFERENCIAS

1. Álvarez, C., & Rimski-Korsakov, H. (2015). Manejo de la fertilidad de suelos en planteos orgánicos. Universidad de Buenos Aires, 114-120
http://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
2. Ames, J. B., & Castillo, E. B. (2014). Estudio comparativo de la mineralogía y los coloides arcillosos en suelos de trópicos húmedos. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 4(2), 222-231. <https://dx.doi.org/10.18259/acs.2014026>
3. Arias-Cedeño, Q., López-Sánchez, R., Sainz-Rosales, L. R., Verdecia-Casanova, M. V., & Eichler-Löbermann, B. (2021). Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 452-466.
<http://orcid.org/0000-0001-6024-9877>
4. Barbosa, J.C., e W. Maldonado. 2010. Software AgroEstat: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. 280 p. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Brasil
5. Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, 4(1), 110-120.
<https://Doi.org/10.29166/siembra.v4il.505>
6. Chico, J. 2019. Evaluación del cambio en la capacidad de intercambio iónico de suelos ácidos por efecto del encalado. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Ingeniero Agrónomo. Quito, Ecuador. 114 p.

7. Combatt Caballero, E., Álvarez, V. H., & Lima, J. C. (2017). Estimación y alteraciones químicas de suelos tiomórficos con la aplicación de cal en invernadero. *Idesia (Arica)*, 35(4), 7-16. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017000400007>
8. Downie, A., Van, Z., Kimber, S., Morris, S., Chan, K., Rust, J., Joseph, S., & Cowie, A. (2009). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. (Tesis doctoral). University of New South Wales. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0050-x>
9. Ecuador. GAD Municipal de Chilla. (2014). Ubicación Geográfica. Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chilla. <http://www.chilla.gob.ec/category/canton/ubicacion/>
10. Espinosa, J., J. Moreno y G. Bernal (eds). (2022). Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador. 1(8), 30. https://www.researchgate.net/publication/360783766_Suelos_Ecuador_Uso_del_Suelo
11. Estrada-Herrera I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952017000800813&script=sci_arttext
12. Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672014000100002&script=sci_arttext&tlng=en

13. Gilces Reyna, M. A. (2014). Efectos de la aplicación de biochar y cenizas en las propiedades del suelo. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/6632>

14. Gómez, L. A., Cruz-Dominguez, A., Jiménez-Madrid, D., Ocampo-Duran, Á., & Parra-González, S. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 341-349.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000200011

15. Hernández, L. V., Viveros, G. S., Martínez, N. A. V., Rocha, D. G. C., & Contreras, R. G. C. (2014). Análisis de suelo y foliar en guanábano (*Annonamuricata* L.) en blanca espuma municipio de Alto Lucero, Veracruz. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 157-165. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500019>

16. Hirzel, J., Lecannelier, R., Cuevas, E., & Rodríguez, F. (2017). Efectividad de cales granuladas en el manejo de dos suelos ácidos. *Archivo Agronómico# 16*, 21. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/09/21.pdf>

17. Ibañes, J. (2007). pH del Suelo. Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776/comment-page-3>

18. Islabão, G. O., Vahl, L. C., Timm, L. C., Paul, D. L., & Kath, A. H. (2014). Rice husk ash as corrective of soil acidity. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3), 934-941. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300025>

19. Jamiroy Orozco, D. D., Menjivar Flores, J. C., & Rubiano Sanabria, Y. (2015). Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de

los Llanos Orientales de Colombia. *Acta agronómica*, 64(4), 302-307.

<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.38731>

20. Kotttek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel. 2006. World map of the KöppenGeiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3):259–263.

<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/01300>

21. Luna, D. M., Triana, C. F. T., Palencia, L. G., & Pulido, H. M. Q. A. S. (2021). EMISIONES DE CO2 POR APLICACIÓN DE CAL EN SUELOS ÁCIDOS DE COLOMBIA.

<https://biocarbono.org/wp-content/uploads/2021/09/02-emisiones-co2-por-aplicacion-cal-suelos-acidos-colombia.pdf>

22. Mtz, J. D. L., Estrada, A. D., Rubin, E. M., & Cepeda, R. D. V. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra latinoamericana*, 19(4), 293-299.

<https://www.redalyc.org/pdf/573/57319401.pdf>

23. Omil, B. Piñeiro, V. & Merino, A. (2013). Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. *Forest Ecology and Management*. 295:199–212. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.024>

24. Osorio, W., & Casamitjana, M. (2011). Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo. *Suelos Ecuatoriales*, 41(1), 23-28.

25. Pérez, R. J. (2016). Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7-bdb6-968c7efb60cd/content>

26. Sadeghian, S., & Marín, C. D. (2020). Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafé*, 71(1), 7-20. <https://doi.org/10.38141/10778/1116>
27. Santalla, M., Omil, B., Rodríguez-Soalleiro, R. & Merino, A. (2011). Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. *Plant Soil*. 346:63–78. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-011-0794-y>
28. Solla-Gullón, F., Rodríguez-Soalleiro, R., & Merino, A. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg*, 16(3), 379-393.
29. Vargas Gutiérrez, D. L., (2010). Efecto del tiempo, temperatura de almacenamiento y tamizado del suelo sobre algunas poblaciones microbianas. <http://hdl.handle.net/10554/8648>
30. Zheng, H., Z. Wang, X. Deng, S. Herbert, and B. Xiang. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* 206: 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.018>