



**VARIACIÓN DEL PH DE UN SUELO ÁCIDO MEDIANTE ENMIENDAS
CALCÁREAS EN LA PARROQUIA 27 DE SEPTIEMBRE, CARCHI**

*PH VARIATION OF AN ACIDIC SOIL THROUGH CALCAREOUS
AMENDMENTS IN THE SEPTEMBER 27 PARISH, CARCHI*

VARIACIÓN DEL PH DE UN SUELO ÁCIDO MEDIANTE ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA PARROQUIA 27 DE SEPTIEMBRE, CARCHI

PH VARIATION OF AN ACIDIC SOIL THROUGH CALCAREOUS AMENDMENTS IN THE SEPTEMBER 27 PARISH, CARCHI

Carlos Vinicio Alencastro Pavon¹,
Oswaldo Paul Pozo Imbaquingo²,
José Ignacio Ayala Colimba³

¹ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: calencastrop@comunidad.uiix.edu.mx

² Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: paulpozo12@istah.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: jose_ig3@istah.edu.ec

RESUMEN

La acidez de los suelos se origina por la presencia de Al^{+3} e Hidrógeno, ya que limita el desarrollo de las plantas, debido a la baja disponibilidad de bases cambiables como Ca, P, Mg. En el presente trabajo se evaluó la variación del pH de un suelo ácido mediante la aplicación de tres tipos de encalado: T1: cal agrícola (malla 100), T2: Yeso agrícola, T3: Óxido de calcio líquido y T4: Testigo. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con 4 tratamientos y cuatro repeticiones dando un total de 16 unidades experimentales. Se evaluó el pH a los 0, 15, 30, 45, 60 días. Las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($p < 0.05$), evaluadas mediante ANOVA y prueba DGC al 10%. Además, se obtuvo un modelo matemático, para predecir el pH en función de los días de encalado. El pH inicial del suelo fue de 4.46 y a los 60 días se registró que el tratamiento 1 y 3 fueron los que mejores resultados presentaron; con un resultado final de pH de 5.62 y 5.56.

Palabras clave: Alcalinidad, enmienda, aluminio, hidrógeno en el suelo

ABSTRACT

Soil acidity originates from the presence of Al^{+3} and Hydrogen, since it limits plant development due to the low availability of exchangeable bases such as Ca, P, Mg. In the present work, the pH variation of an acidic soil was evaluated by applying three types of liming: T1: agricultural lime (100 mesh), T2: Agricultural gypsum, T3: Liquid calcium oxide and T4: Control. A completely randomized design was used with 4 treatments and four replications giving a total of 16 experimental units. The pH was evaluated at 0, 15, 30, 45, 60 days. An analysis of variance and comparison of means tests were performed. In addition, a mathematical model was obtained to predict the pH based on the days of liming. The initial soil pH was 4.46, and after 60 days, treatments 1 and 3 were found to have the best results, with final pH values of 5.62 and 5.56.

Keywords: Alkalinity, amendment, aluminum, hydrogen in soil

Recibido: Agosto 2025
Received: August 2025

Aceptado: Diciembre 2025
Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La acidez del suelo se origina por la presencia de iones Al^{+3} e hidrógeno (H^{+}). Un pH bajo afecta a las características químicas y biológicas del suelo, reduciendo el crecimiento de las plantas debido a la no disponibilidad de nutrientes tales como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y Potasio (K) [1]. Los suelos ácidos están presentes en zonas con elevadas precipitaciones, asimismo las zonas andinas presentan acidez, es por ello necesario determinar un manejo adecuado que sirva como modelo para solucionar la acidez del suelo y proveer las condiciones químicas ideales para los cultivos. Una de las causas de la acidez es el lavado de bases cambiables como P, Ca, y Mg; elementos fundamentales en el crecimiento y desarrollo de las plantas [2].

El óxido de calcio al ser incorporado al suelo ácido, libera el fósforo de formas retenidas o de forma insoluble [3- 4] mencionan que el requerimiento de cal se lo define como "La cantidad de cal necesaria para elevar el pH a un nivel deseado". La incorporación de estas enmiendas a base de calcio permite neutralizar la acidez; la cual es medida de acuerdo con la cantidad de hidrógeno y aluminio presente en el suelo. El encalado permite elevar el pH del suelo, debido a la aportación de calcio presente en las enmiendas, transportando el aluminio y el hidrógeno de los coloides, que se desplazan al reaccionar con el carbonato para formar agregados no dañinos para las plantas [5].

[6] menciona que el óxido de calcio al mezclarse con el agua produce hidroxilo de calcio, el cual es descompuesto en calcio y en moléculas de hidroxilo (OH^{-}); encargados de neutralizar el hidrogeno aumentado el pH del suelo. Otra fuente utilizada para el mejoramiento de suelos ácidos es el hidróxido de calcio; $Ca(OH)_2$, obtenida de la reacción de óxido de calcio más agua que al mezclarse con el agua produce iones de calcio y oxhidrilos que aumenta el pH; este material es de rápida reacción en el suelo, presentando un 56% de Ca, mientras que la dolomita contiene un 21,6% Ca y un 13,1% de Mg, suministrando magnesio que con frecuencia es deficiente en suelos ácidos, con una reacción más lenta frente al hidróxido de calcio [6].

El sulfato de calcio di hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) comúnmente conocido como yeso agrícola es una enmienda que mejora las propiedades físicas y

químicas del suelo permitiendo un aumento en la producción agrícola [7]. El yeso es el reemplazo del calcio por sodio en el intercambio catiónico, formando sulfato de sodio; el cual es lixiviado [8]. El uso de carbonato de calcio ($CaCO_3$) tiene como propósito mejorar el pH de suelos ácidos transportando el Al y Mn intercambiable de las arcillas del suelo, para neutralizarlos por precipitación de la solución del suelo. En general la utilización del carbonato de calcio permite que la planta recupere todos los nutrientes presentes, mejorando las condiciones físicas y biológicas, fijación simbiótica de nitrógeno y mejorando la eficiencia de algunos herbicidas [9].

El encalado permite corregir la acidez del suelo. Si el pH está por debajo de un "valor crítico", una solución rápida y efectiva para evitar problemas de toxicidad del aluminio es aplicar un aditivo de cal. La profundidad de las raíces de muchos cultivos es entre 20 y 40 cm, por lo que la efectividad de la cal debe extenderse hasta esta profundidad para brindar una protección integral de las raíces contra los efectos de los ácidos [10].

En Ecuador, y particularmente en la provincia del Carchi, los suelos agrícolas de la parroquia 27 de Septiembre presentan valores de pH entre 4.3 y 4.

6, lo que limita la producción de cultivos como cebolla, papa y avena. A pesar de la importancia de este problema, existen pocos estudios que evalúen y comparen los diferentes tipos de enmiendas en condiciones edafoclimáticas altoandinas.

Por tanto, el presente estudio busca aportar información acerca del comportamiento del pH frente a tres tipos de enmiendas (cal agrícola, yeso agrícola y óxido de calcio líquido), con la finalidad de definir prácticas agronómicas sostenibles para la corrección de suelos ácidos en este sector.

Por tanto, se ha planteado la siguiente hipótesis: La aplicación de cal agrícola y óxido de calcio líquido incrementa significativamente el pH del suelo respecto al testigo, alcanzando valores superiores a 5.5 durante los 60 días de evaluación.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El estudio se realizó en la provincia del Carchi, cantón Espejo, parroquia 27 de Septiembre ubicada a una altitud de 3300 msnm en una parcela de 256



m² (Figura 1). La temperatura media anual es de 13°C y la precipitación varía de 700 mm a 1000 mm. El estudio se llevó a cabo en un suelo de textura franco arcillosa, clasificado como Andisol, además se determinó el pH inicial del suelo registrando un valor de 4.46, considerado como muy ácido e idóneo para el presente estudio.



Fig.1: Mapa de ubicación de la investigación

Diseño Experimental

Debido a las condiciones homogéneas del terreno, se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por una parcela de 4 m × 4 m; en un área total de 256 m². Se evaluaron cuatro tratamientos: T1 (Cal agrícola), T2 (Yeso agrícola), T3 (Óxido de calcio líquido - OCL) y T4 (Testigo) (Tabla 1). Previa comprobación de la normalidad de datos y homogeneidad de varianzas, se evaluaron los resultados obtenidos mediante un análisis de varianza (ANAVA). Antes del análisis, se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$) y homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$). Además, se realizaron pruebas de comparación de medias mediante DGC al 10%, para determinar diferencias entre tratamientos.

El nivel de significancia del 10 % se seleccionó por su mayor sensibilidad para detectar diferencias entre tratamientos en ensayos agrícolas con reducido número de repeticiones y alta variabilidad de campo, de acuerdo con las recomendaciones de [13]. Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico *Infostat* versión 2020.

Tabla 1. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción	Dosis*
T1	Ca agrícola	1.5 t/ha
T2	Yeso agrícola	1.5 t/ha
T3	OCL	20 L/ha
T4	Testigo	N/A

* Las dosis aplicadas se establecieron según las recomendaciones técnicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP [11]

Las enmiendas sólidas (T1 y T2) se incorporaron manualmente al suelo en la capa arable (0–20 cm) con azadón y rastrillo, en una aplicación única al inicio del ensayo. El óxido de calcio líquido (T3) se aplicó por aspersión uniforme con bomba manual, para lograr una distribución homogénea sobre cada parcela experimental.

Fase 1. Cambio de pH del suelo a los 15, 30, 45 y 60 días

Se procedió a colectar y homogenizar 10 submuestras de suelo a una profundidad de 20 cm de la parcela experimental (Figura 2). Para la determinación del pH de la muestra de suelo obtenida se utilizó la metodología propuesta por [12]. Se transfirió 10 gramos de suelo a un vaso plástico de 50 cm³ de capacidad, luego se adicionó 20 ml de agua destilada, para finalmente agitar durante 1 minuto con una varilla de vidrio. Se determinó el pH con un pH-metro de marca HANNA debidamente calibrado (con soluciones buffer de 4.0 y 7.0) (Figura 3). Para esto se introdujo el electrodo en la mezcla de agua y suelo y finalmente se registró el pH obtenido. Para la determinación del pH a los 15, 30, 45 y 60 días se realizó el mismo procedimiento.





Fig. 2: Muestreo a 20 cm profundidad



Fig. 3: Equipo y soluciones buffer de 4.0 y 7.0

Fase 2. Desarrollo de un modelo matemático que permita predecir los cambios de pH, mediante un análisis de regresión estadístico

Se determinó un modelo matemático con la finalidad de predecir la variación del pH en función de los días después del encalado, para lo cual los resultados obtenidos se sometieron a análisis de regresión lineal; el cual se validó mediante el análisis de valores estadísticos de R^2 , R^2 Aj, p-value y Cp Mallows. Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico *Infostat* versión 2020.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados:

Variación del pH del suelo a los 15, 30, 45 y 60 días

En la tabla 2 y 3 se observa la variación de pH del suelo a los 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo. La prueba DGC al 10% indica que existen diferencias

significativas entre tratamientos al final del ensayo (60 días), siendo el tratamiento 1 y 3 los que mejores resultados presentaron; con un resultado final de pH de 5.62 y 5.56 respectivamente siendo estadísticamente iguales. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por [14] el cual indica que un suelo debe tener un rango de pH 5.5 a 7, posterior a la aplicación de una enmienda.

Al día 0 después de aplicada la enmienda el pH promedio de las unidades experimentales fue de 4.46; al día 15 después de aplicada la enmienda no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, mientras que los datos obtenidos a los 45 días de haber iniciado el ensayo presentaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento T1 el que mayor nivel de pH presentó con un valor de 5.61 (Figura 4). En un estudio similar [12] evaluaron un ligeramente ácido con pH 5.7 antes del encalado, pH 6.44 después del encalado y pH 5.75. al final de la investigación. Estos resultados demuestran que la aplicación de enmiendas permite elevar el nivel de pH de suelos ácidos.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, lo que confirma que las enmiendas utilizadas influyeron de manera directa en la reducción de la acidez del suelo. Los tratamientos con cal agrícola (T1) y óxido de calcio líquido (T3) lograron los mayores incrementos de pH en comparación con el testigo, demostrando su eficacia, para la neutralización de la acidez. [16] confirmaron una alta correlación entre el porcentaje de saturación de bases y el pH, lo que demuestra que las enmiendas calcáreas modifican eficazmente la química del suelo.

[17] destacaron además que las enmiendas a base de calcio son los mejores productos para corregir la acidez del suelo, capaces de aumentar el pH y neutralizar el aluminio intercambiable. Estos estudios demuestran que los productos calcáreos, como el carbonato de calcio y el óxido de calcio, desempeñan un papel crucial en el manejo del pH del suelo al transformar químicamente los componentes ácidos del suelo.

El comportamiento y las diferencias registradas entre los tratamientos se relaciona con la solubilidad y la velocidad de reacción de las enmiendas. El óxido de calcio líquido (T3) obtuvo una reacción más rápida y de efecto inmediato, mientras que la cal agrícola (T1) presentó un incremento gradual, prolongando el efecto neutralizante. Por su parte, el



yeso agrícola (T2) no aumentó significativamente el pH, ya que su función principal radica en mejorar la estructura del suelo y favorecer el intercambio catiónico, más que en elevar la alcalinidad. [15] menciona que la cal y sus combinaciones pueden mejorar los efectos correctores sobre la acidez del suelo, como se ha observado en los estudios realizados con CaCO_3 y otros materiales calcáreos comerciales

Tabla 2. Variación del pH a los 0 y 15 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo. (Prueba DGC; alfa = 0.10). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes.

Tratamiento	Día 0 (18/11/2023)	Día 15 (03/12/2023)	Día 30 (18/12/2023)	Día 45 (02/01/2024)	Día 60 (17/01/2024)
T1: Cal agrícola	4.46 ± 0.04	4.73 a ± 0.05	5.38 a ± 0.05	5.61 a ± 0.05	5.62 a ± 0.05
T2: Yeso agrícola	4.46 ± 0.04	4.81 a ± 0.05	5.46 a ± 0.05	4.89 b ± 0.05	4.76 b ± 0.05
T3: OCL	4.46 ± 0.04	4.44 a ± 0.05	4.54 b ± 0.05	5.26 b ± 0.05	5.56 a ± 0.05
T4: Testigo	4.46 ± 0.04	4.43 a ± 0.05	4.56 b ± 0.05	5.12 b ± 0.05	4.83 b ± 0.05
p_valor	—	0.3096	0.0383	0.0036	0.0024
CV (%)	—	7.36	10.29	6.53	10.76

A continuación, se presenta la figura 4 en la cual se puede visualizar la variación de pH del suelo a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo.

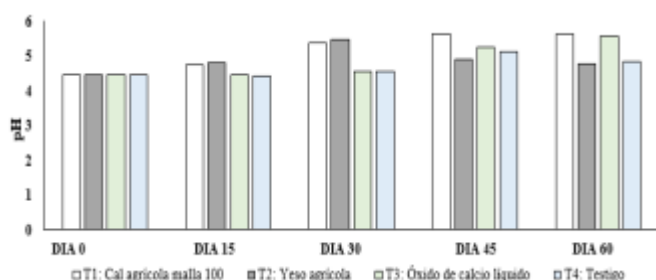


Fig.4: Variación del pH a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo.

Modelo matemático para predecir los cambios de pH, mediante un análisis de regresión estadístico

Para realizar el análisis de regresión, primero se determinó que el tratamiento 1: Cal agrícola malla 100 fue el que mejor resultado presentó en cuanto a la corrección del pH del suelo. Es así como, el tratamiento 1 se ajustó a un modelo lineal, que describe la relación entre la variación del pH del suelo con los días después de la aplicación de la enmienda. Se obtuvo un R^2 de 0,47; R^2 Aj de 0,44 y un CpMallows de 16. Lo que muestra que el modelo predice la respuesta en un 47% para nuevas observaciones, así también el modelo explica en un

44% toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su variable independiente (pH) (Tabla 3).

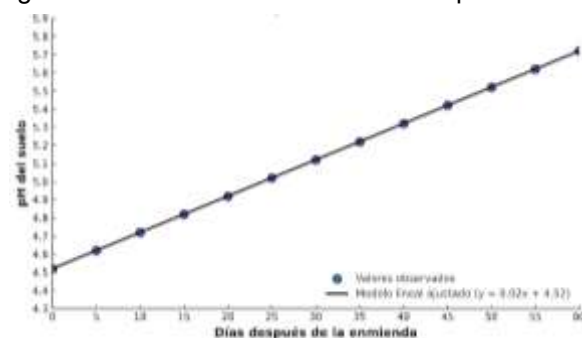
De acuerdo con el análisis se obtuvo la siguiente ecuación lineal; $y = 0.02x + 4.52$; siendo Y, la variación del pH; y X, los días después de la enmienda (Figura 6). [13] indica que el Aluminio intercambiable disminuirá con el aumento de la dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esto se describe mediante la función exponencial ($y = A * \exp(k*X)$) entre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aplicado y Al intercambiable extractado luego de la incubación.

Tabla 3. Coeficientes de regresión entre la variación del pH del suelo y días después de la enmienda, para el tratamiento 1: Cal agrícola malla 100.

Coefficiente	Est.	S.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	Cp Mallows	VIF
Constante (a)	4.52	0.2	4.11	4.93	23.07	<0.0001	—	1
Días (b)	0.02	0.01	0.01	0.03	4	0.0095	16	1
R^2	0.47							
R^2 ajustado	0.44							
Significancia (F)	—					<0.001		

En la figura 6, se visualiza la relación entre la variación del pH; de acuerdo con el modelo matemático obtenido a partir de los días después de la enmienda, durante 60 días.

Fig. 6: Predicción de la variación del pH del suelo



con relación a los días después de la enmienda mediante cal agrícola malla 100.

El modelo obtenido; $y = 0.02x + 4.52$, muestra un aumento gradual del pH, con un R^2 de 0,47. Si bien la tendencia es evidente, el R^2 moderado sugiere que otros factores probablemente influyan en el pH del suelo más allá del tiempo de encalado. [15] respaldan este resultado, observando un comportamiento similar del pH en suelos volcánicos del sur de Chile. En su investigación reveló que por cada gramo de CaCO_3 aplicado por kilogramo de suelo, el pH aumentó 0,2 unidades, el contenido de calcio intercambiable aumentó un 70 % y el de aluminio intercambiable disminuyó un 50 %. El incremento del pH observado podría estar asociado



a una disminución en la acidez intercambiable, efecto que se relaciona con la neutralización del aluminio en suelos ácidos, aunque este parámetro no fue cuantificado directamente en el presente estudio [17-19].

Los resultados de esta investigación confirman que las enmiendas calcáreas constituyen una alternativa técnica, para la corrección de la acidez en suelos andinos del Carchi. La mejora significativa del pH, refleja la efectividad del manejo químico aplicado y su potencial de transferencia a productores de la zona norte del país.

4. CONCLUSIÓN

El pH inicial del suelo fue de 4.46 y a los 60 días se registró que el tratamiento 1 y 3 fueron los que mejores resultados presentaron; con un resultado final de pH de 5.62 y 5.56. Lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales y la reducción de la toxicidad por aluminio.

De acuerdo con el análisis de regresión se obtuvo la siguiente ecuación lineal; $y = 0.02x + 4.52$; siendo Y, la variación del pH; y X, los días después de la enmienda. Esto permite predecir la variación del pH en función del tiempo de encalado, lo que representa un aporte práctico y una herramienta técnica útil, para planificar futuras aplicaciones de enmiendas en suelos ácidos.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera por facilitar sus instalaciones y el apoyo brindado durante la ejecución de la presente investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. E. Sumner and M. A. Pavan, "Alleviating soil acidity through organic matter management," in *Simpósio de Rotação Soja/Milho no Plantio Direto*, Piracicaba, SP, Brazil, 2000. POTAFOS.

[2] E. Castillo, "Evaluación de la variación del pH y CIC de un suelo ácido mediante encalado y su efecto en la producción de alfalfa var. Macate," *Tesis Ing. Agr.*, Univ. Nacional Agraria La Molina, Lima, 2014.

[3] R. Bernier and M. Alfaro, "Acidez de los suelos y efectos del encalado," *Boletín Técnico 15*, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago de Chile, 2006.

[4] G. Arévalo and C. Gauggel, *Manual de prácticas de laboratorio: manejo de suelos y nutrición vegetal*, Zamorano, Honduras, 2017.

[5] M. Toledo, "Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras," *Tesis MSc.*, Univ. Zamorano, Tegucigalpa, 2016.

[6] J. Nazar, "Efecto del encalado en el crecimiento de *Valeriana pilosa* RyP en Huanico," *Tesis Ing. Agr.*, Univ. Nacional de Cajamarca, 2015,

[7] F. Rasouli, A. Pouya, and N. Karimian, "Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil affected by applied gypsum," *Geoderma*, vol. 193–194, pp. 246–255. 2013, doi: 10.1016/j.geoderma.2012.10.007.

[8] G. S. Sibbett, "Manejo de suelos calcáreos, salinos, sódicos y con pH alto en la región occidental de cultivo de nogal," *HortTechnology*, vol. 5. no. 3, pp. 222–225. 1995.

[9] I. Lazcano, "Cal agrícola: conceptos básicos para la producción de cultivos," Instituto de la Potasa y el Fósforo, México, 2003.

[10] C. F. Udaeta, "Variaciones de pH, aluminio y calcio intercambiable en un Alfisol encalado bajo cultivo de maíz," *Agron. Trop.*, vol. 59, no. 3, pp. 211–220, 2009.

[11] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, *Manual técnico para el manejo de suelos ácidos del Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP, 2019.

[12] N. W. Osorio, "pH del suelo y disponibilidad de nutrientes," *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, vol. 1, no. 4, pp. 1–4, 2012.

[13] K. A. Gómez and A. A. Gómez, *Statistical Procedures for Agricultural Research*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1984. ISBN 978-0-471-87092-0.

[14] E. B. Morales, J. B. Sánchez, R. León, S. B. Aguas, and J. Mohiddin, "Evaluación del pasto miel



(*Setaria sphacelata*) por efecto de la fertilización y enmienda química,” *Ciencia*, vol. 20, no. 2, pp. 118–130, 2018, doi: 10.33936/rciencia.v20i2.1769.

[15] D. Pinochet, F. Ramírez, and D. Suárez, “Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas,” *Agríc. Téc.*, vol. 65, no. 1, pp. 55–64, 2005. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000100006>

[16] Mora Erraez, R. M., & Vásquez, E. (2023). Enmienda de cal en suelos degradados por la ganadería en la parroquia Panguintza, cantón Zumbi, provincia de Zamora Chinchipe. *Bosques Latitud Cero*, 13(1), 49–67. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1539>

[17] Sadeghian, S., & Marín, C. D. (2020). Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafé*, 71-1, 07-20. <https://doi.org/10.38141/1116>

