

Optimización de los Niveles de pH en Suelos Destinados al Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Mediante el Uso de Enmiendas Sólidas y Floables

Diana Verónica Véliz Zamora¹

dvveliz@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2039-8741>

Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador, CP 120301

Camilo Alexander Mestanza Quillas

cmestanza@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9299-170X>

Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador, CP 120301

Nick Anderson Ramírez Puluá

nick.ramirez2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0673-5046>

Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador, CP 120301

Ronald Oswaldo Villamar-Torres

rvillamart@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2511-1789>

Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador, CP 120301

John Jairo Pinargote Alava

john.pinargote2013@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8065-5124>

Universidad de Córdoba-(UCO), Córdoba, España

RESUMEN

La investigación se realizó en dos tipos de finca (orgánica y convencional) y tuvo como objetivo determinar la eficiencia de enmiendas floables y sólidas en corrección de pH en el cultivo de palma aceitera. Para ello se emplearon tres tipos de enmiendas, dos floables y una sólida. Los lotes fueron divididos en parcelas de 9x27 m que ocuparon 8 plantas cada uno, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Se empleó un diseño de parcelas divididas (DPD) en un diseño completamente al azar (DCA). Los resultados fueron sometidos a la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. El mejor tratamiento para mejorar el pH de un suelo cultivado de palma aceitera fue la enmienda floable 2 (T2) además de tener el menor costo. El tratamiento enmienda sólida (T3) presentó el valor más alto de disponibilidad de nitrógeno, en el suelo con 29,50 ppm de disponibilidad a los 60 días de aplicada la enmienda. En cuanto al fósforo, la enmienda floable 2 (T2) presentó el valor más alto con 34 ppm de disponibilidad a los 120 días de aplicada la enmienda. Mientras que, para potasio (K) la enmienda sólida (T3) presentó el valor más alto con 0,74 ppm.

Palabras clave: suelo; mineral; fertilizante; pH; rentabilidad

¹ Autor principal

Correspondencia: cmestanza@uteq.edu.ec

Optimization of pH Levels in Soils Intended for Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Cultivation Through the use of Solid and Flocculent Amendments

ABSTRACT

The research was carried out on two types of farms (organic and conventional) and its objective was to determine the efficiency of flocculent and solid amendments in pH correction in oil palm cultivation. Three types of amendments were used, two flocculent and one solid. The plots were divided into 9x27 m plots of 8 plants each, with four treatments and four replications. A split-plot design (DPD) was used in a completely randomized design (DCA). The results were subjected to Tukey's test at 95% probability. The best treatment for improving the pH of an oil palm cultivated soil was flocculent amendment 2 (T2), in addition to having the lowest cost. The solid amendment treatment (T3) presented the highest value of nitrogen availability in the soil, with 29.50 ppm availability 60 days after application of the amendment. As for phosphorus, the flocculent amendment 2 (T2) had the highest value with 34 ppm of availability 120 days after application of the amendment. For potassium (K), the solid amendment (T3) presented the highest value with 0.74 ppm.

Keywords: soil; mineral; fertilizer; pH; profitability

Artículo recibido 15 noviembre 2023

Aceptado para publicación: 20 diciembre 2023

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable de regeneración lenta, el cual es sometido constantemente a procesos de destrucción y degradación, que afectan notablemente a la agricultura mediante la restricción de elementos como el agua y nutrientes a los cultivos; No obstante, este además interviene en los ciclos del agua, carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos de interés. Frente a ello, el acondicionamiento de los suelos en la rutina de la ingeniería representa una técnica que bien utilizada, mejora sus propiedades (Echeverría-Pérez et al., 2023).

Es importante mencionar que, entre los factores de mayor incidencia en los suelos, se encuentra la acidez, misma que afecta de forma particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que reduce el crecimiento de las plantas, disminuye la disponibilidad de calcio, magnesio, potasio, fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio, hierro y el manganeso (Ovalle et al., 2023).

Tomando en consideración lo anterior, muchos agricultores optan por seleccionar suelos aptos para el desarrollo de cultivos, que les permita reducir las inversiones, tomando en consideración que uno de los rubros de mayor cuantía es la fertilización y acondicionamiento de suelos. No obstante, la realidad es que para reducir los costos de fertilización es necesario determinar las dosis óptimas para cada una de las plantaciones, y aquello se logra integrando el conocimiento de nutrición mineral de las plantas, fertilidad de suelos, características y propiedades de las enmiendas y fertilizantes de la tecnología de aplicación de estos materiales (Véliz Zamora et al., 2021).

En la actualidad, el cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) se ha constituido en uno de los principales rubros agroindustriales del Ecuador, mostrando desde su introducción al país un crecimiento sostenido debido entre otros factores a su rentabilidad y alta demanda del mercado de productos y subproductos. Las zonas palmeras de Ecuador en su gran mayoría se han establecido en suelos de clasificación: inceptisoles, andisoles y oxisoles, los cuales generalmente poseen carácter ácido (pH <5,5). Dichos suelos también tienen la característica de tener un complejo de bases de intercambio desbalanceado, problema de aluminio, hierro y manganeso, y lo más relevante que son altos fijadores de fósforo (Jaimes Becerra et al., 2023).

En relación con ello, el encalado constituye la forma más efectiva de corregir los problemas de acidez en los suelos de bajo pH. Esta práctica agronómica se basa en la aplicación de sales básicas que neutralizan la acidez causada por la presencia de Al^{3+} e H^{+} en el suelo. La decisión de encalar el suelo debe considerar el tipo de enmienda a utilizarse, además de la época, dosis y método de aplicación. Esta práctica estimula el crecimiento de la planta al reducir la toxicidad del Al y Mn e incrementar la disponibilidad de nutrientes como el Ca, N, P y molibdeno (Mo) (Arias-Aguilar, 2023).

Es importante destacar que las enmiendas floables y sólidas han sido estudiadas no solo por su capacidad de mejoramiento de condiciones físico química de los suelos, sino por el aporte de los elementos como calcio y magnesio, este último muy escaso en los suelos de las regiones trópico-húmedo (Escalona-Sánchez et al., 2021).

Por lo expuesto, en la investigación tuvo por objeto mejorar la calidad de los suelos para producción palmicultora, mediante la utilización de enmiendas en dos fincas, Finca “San José” (Palma Orgánica); Finca “San Carlos” (Palma Convencional).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo.

La investigación se realizó en dos fincas: Una de palma convencional, que correspondió a la finca San Carlos ubicada en el recinto Estero de Damas perteneciente al cantón Quinsaloma cuyas coordenadas geográficas son 01017.100' latitud Sur; 79022.626' longitud Oeste, a una altitud de 52 msnm. Y otra de palma orgánica, que correspondió a la finca San José ubicada en el recinto San Pedro de Cumandá perteneciente al cantón Las Naves cuyas coordenadas geográficas son 01017.569' latitud Sur; 79021.056' longitud Oeste, a una altitud de 67 msnm.

Manejo del ensayo

Se utilizaron tres tipos de enmiendas, dos floables y una sólida las cuales, además del testigo.

Los lotes fueron divididos en parcelas de 9x27 m ocupados por ocho plantas cada uno. En relación con los muestreos, el primero se realizó sin la aplicación de las enmiendas. Posterior a ello, se aplicaron y se tomaron muestras cada 30 días durante 4 meses. Entre los 30 y 60 días que llevaba el experimento se realizó la respectiva aplicación de fertilizante que requiere el cultivo de palma aceitera.

Las muestras fueron secadas y llevadas al laboratorio para ser analizadas y determinar el pH de cada uno

de los tratamientos en las diferentes etapas. Mientras que, para los macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio se tomaron muestras solo en los 0, 60 y 120 días, mismas que fueron enviadas a un laboratorio particular para ser analizadas.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño de parcelas divididas (DPD) en un diseño completamente al azar (DCA), donde A son las parcelas principales (con dos niveles: orgánico y convencional), B son las subparcelas con cuatro tratamientos, T0: Testigo, T1: Enmienda floable 1 (Organosilanos 100%), T2: Enmienda floable 2 (Oxido de Calcio CaO 35%), T3: Enmienda sólida (Carbonato de Calcio CaCO₃ 96%). Cada tratamiento con cuatro repeticiones, y cada repetición compuesta de ocho unidades experimentales (plantas). Para determinar las diferencias entre las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey ($P \leq 0.05$).

Tratamiento de los datos

Se realizó una base de datos en Microsoft office Excel, en el cual se guardaron todos los datos de campo obtenidos para el respectivo análisis de las variables, se ingresaron los datos en el programa estadístico Infostat, donde se estudiaron mediante un análisis de la varianza.

Variables evaluadas

Se tomaron muestras de suelo de cero a treinta (0 a 30) centímetros de profundidad, en cada tratamiento y repetición.

Nivel de pH

Se determinaron mediante empleo de un pH-metro; las muestras de suelo se tamizaron y disolvieron en agua destilada (Sadzawka et al., 2006).

Disponibilidad de N, P y K.

Contenido de Nitrógeno (NH₄)

Para determinar el contenido de nitrógeno de los suelos de las fincas se utilizó el método de digestión Kjeldahl (Sadzawka et al., 2006).

Contenido de Fósforo (P)

El contenido de P se determinó mediante la capacidad tampón de fósforo, la cual se expresa como la cantidad de P necesaria para subir en 1mg/kg el P-Olsen de 1 ha de suelo hasta una profundidad de 20 cm. El método consistió en incubar un volumen de suelo a 60°C por 24 horas con y sin adición de P,

posteriormente determinar el P-Olsen (extracción con solución de bicarbonato de sodio 0.5 mol/L a pH de 8.5). Se dividió el P agregado por la diferencia entre el P-Olsen de muestra incubada con y sin adición de P y este resultado se multiplico por 2 (Sadzawka et al., 2006).

Contenido de Potasio (K)

El contenido de K se determinó por extracción con solución de acetato de amonio 1 mol/L a pH de 7.0 y posterior determinación por espectrofotometría de emisión atómica, puesto que el acetato de amonio extrae de las muestras de suelo los cationes solubles intercambiables provenientes de calcita, dolomita y yeso (Sadzawka et al., 2006).

Análisis económico

El análisis económico que se realizó en esta investigación es la comparación de los costos de aplicación de las enmiendas, para lo que se utilizó la fórmula:

$$CT = CF + CV$$

Dónde:

CT = Costos totales

CF = Costos fijos

CV = Costos variables

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel de pH

Según los resultados del análisis de varianza para el factor A, a los 0, 30, 60, 90 y 120 días presentaron diferencias significativas. Obteniendo que, para palma orgánica el resultado siempre fue mayor en todas sus etapas en comparación a la palma convencional, además de que el más alto coeficiente de variación se presentó a los 30 días con un valor de 3,35%, le siguió a los 60 días con 2,09%, a los 120 días 1,56% y el más bajo se presentó a los 90 días 1,48%, respetivamente.

Para los 0 días (sin aplicación de enmiendas) los valores de pH fluctuaron desde 4,94 hasta 5,15 en los diferentes tratamientos. A los 30 días se tuvo un aumento en todos los tratamientos dando como resultado que la enmienda floable 2 (T2) presentó el mayor aumento con un valor de 5,72, seguido de la enmienda floable 1 (T1) con 5,51, posteriormente se ubicó la enmienda sólida (T3) con 5,27 y último el testigo (T0) con 5,18. Para los 60 días los resultados variaron, dado que la enmienda floable 1 (T1) presentó el mayor

valor con 5,91, estuvo seguido por la enmienda floable 2 (T2) con 5,87 y por la enmienda sólida (T3) con 5,65, por último estuvo el testigo (T0) con 5,17. En los 90 días los resultados volvieron a cambiar poniendo a la enmienda sólida (T3) con el mayor valor con 6,06, seguido de la enmienda floable 1 (T1) con 6,01, la enmienda floable 2 (T2) con 5,99 y por último el testigo (T0) con 5,25. A los 120 días todos los tratamientos presentaron una disminución en el accionar de las enmiendas dando los siguientes resultados: la enmienda floable 1 (T1) con un valor de 5,69, seguido de la enmienda sólida (T3) 5,68, la enmienda floable 2 (T2) con 5,64 y por último el testigo (T0) con 5,17.

A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) el pH para palma orgánica en todos los tratamientos fluctuó entre 5,15 a 5,23, en cuanto en la palma convencional los valores fueron 4,74 a 5,07. A los 30 días presentaron distintos valores para palma orgánica, siendo el mejor tratamiento la enmienda floable 2 (T2) con un valor de 5,86, seguido de enmienda sólida (T3) con 5,56, después la enmienda floable 1 (T1) 5,32 y por último el testigo (T0) con 5,29; en cambio para palma convencional el mejor tratamiento fue la enmienda floable 1 (T1) con 5,70, lo siguió enmienda floable 2 (T2) con 5,69, seguido del testigo (T0) con 5,08 y por último la enmienda sólida (T3) con 4,97. Para los 60 días para palma orgánica el mejor tratamiento fue la enmienda sólida (T3) con un valor de 5,96, seguido de la enmienda floable 1 (T1) con 5,93, y la enmienda floable 2 (T2) con 5,89. Mientras que al final se ubicó el testigo (T0) con 5,22. En cuanto a palma convencional el mejor tratamiento fue la enmienda floable 1 (T1) con 5,88, seguido de la enmienda floable 2 (T2) con 5,84; después la enmienda sólida (T3) con 5,35 y por último el testigo (T0) con 5,12. A los 90 días presentaron los siguientes valores para palma orgánica: el mejor tratamiento fue enmienda sólida (T3) con 6,05, seguido de enmienda floable 1 (T1) con 6,04, después la enmienda floable 2 (T2) con 6,03 y por último el testigo (T0) con 5,38. En cuanto a palma convencional el mejor tratamiento fue enmienda sólida (T3) con 6,08, seguido de la enmienda floable 1 (T1) con 5,99, después enmienda floable 2 (T2) con 5,94 y por último el testigo con 5,12.

A los 120 días tanto para el factor A como para el factor B presentaron una caída en el pH presente en el suelo dando los siguientes valores para palma orgánica: los tratamientos enmiendan floable 1 (T1) y enmienda sólida 2 (T2) dieron un valor igual de 5,72, mientras que la enmienda floable 2 (T2) y el testigo (T0) mostraron valores más bajos con 5,68 y 5,25 respectivamente. En cuanto a palma convencional los

valores para los tratamientos fueron: enmienda floable 1 (T1) con 5,65, seguido de enmienda sólida (T3) con 5,63, después la enmienda floable 2 (T2) con 5,60 y por último el testigo (T0) con 5,09 (Tabla 1).

El pH ideal de un suelo será diferente según su naturaleza, el cultivo en cuestión y el elemento fertilizante considerado. En tierras bien constituidas no resultan excesivos los valores de pH, no obstante, el objetivo deseable cuando se trata de corregir el pH debe ser muy inferior procurando siempre evitar el sobre encalado, ya que tiene consecuencias muy perjudiciales para la asimilación de los muchos de los elementos nutrientes. Se puede requerir menos cantidad de enmiendas para alcanzar el efecto que se lograría solamente con la aplicación de cal, lo cual contrasta con los resultados obtenidos ya que el mejor resultado tanto en efecto inmediato y de persistencia se obtuvieron en las dos enmiendas floables (Amorim Silva do Sacramento et al., 2020). La palma africana es un cultivo perenne que requiere asegurar la disponibilidad de los macro y micronutrientes esenciales. Esto se logra con niveles adecuados de pH que oscilan entre 4 y 6 con un óptimo de 5,5. Un balance adecuado de dichos nutrientes favorece el buen crecimiento y desarrollo de una planta vigorosa, que permitirá en el futuro obtener rendimientos aceptables de aceite para una plantación (Tao et al., 2018), con estos datos expresados podemos determinar que con el uso de las enmiendas ayudamos a mejorar el pH del suelo hasta llegar al óptimo.

Tabla 1. Potencial de hidrogeno (pH) presente en el suelo a los 0, 30, 60, 90 y 120 días en efecto de aplicación de dos enmiendas floables y una sólida para corrección de pH en un suelo cultivado de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.)

FACTOR A		PH				
Palma		0 Días	30 Días	60 Días	90 Días	120 Días
Orgánica		5,19 a	5,51 a	5,75 a	5,88 a	5,59 a
Convencional		4,92 b	5,33 b	5,55 b	5,78 b	5,49 b
C.V. %		2,46	3,35	2,09	1,48	1,56
FACTOR B						
Tratamientos		0 DIAS	30 DIAS	60 DIAS	90 DIAS	120 DIAS
Testigo (T0)		5,04 ab	5,18 c	5,17 c	5,25 b	5,17 b
Enmienda floable 1 (T1)		5,08 ab	5,51 ab	5,91 a	6,01 a	5,69 a
Enmienda floable 2 (T2)		5,15 a	5,72 a	5,87 a	5,99 a	5,64 a
Enmienda sólida (T3)		4,94 b	5,27 bc	5,65 c	6,06 a	5,68 a
INTERACCIÓN A*B						
Factor A	Factor B	0 DIAS	30 DIAS	60 DIAS	90 DIAS	120 DIAS
Orgánica	Testigo	5,18 ab	5,29 bc	5,22 b	5,38 b	5,25 b
Orgánica	Enmienda floable 1	5,21 ab	5,32 bc	5,93 a	6,04 a	5,72 a
Orgánica	Enmienda floable 2	5,23 a	5,86 a	5,89 a	6,03 a	5,68 a
Orgánica	Enmienda sólida	5,15 ab	5,56 ab	5,96 a	6,05 a	5,72 a
Convencional	Testigo	4,91 bc	5,08 c	5,12 b	5,12 c	5,09 b
Convencional	Enmienda floable 1	4,95 abc	5,70 ab	5,88 a	5,99 a	5,65 a
Convencional	Enmienda floable 2	5,07 ab	5,59 ab	5,84 a	5,94 a	5,60 a
Convencional	Enmienda sólida	4,74 c	4,97 c	5,35 b	6,08 ab	5,63 a
C.V. %		2,46	3,35	2,09	1,48	1,56

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$)

Contenido de Nitrógeno (NH₄)

En el factor A no se presentó diferencias significativas en ninguna de las etapas del experimento.

A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) el valor para palma orgánica y palma convencional fueron el mismo con 13, en cuanto a los 60 días hubo un aumento en palma orgánica con 26,50 y en palma convencional con 29. A los 120 días el valor descendió tanto para palma orgánica 14 como para palma convencional 21,25 (Tabla 2).

Tabla 2. Nitrógeno (NH₄) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en efecto de los dos tipos de manejo (orgánica y convencional) del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

Palma	NITROGENO (NH ₄) (mg/kg)		
	0 Días	60 Días	120 Días
Orgánica	13 a	26,50 a	14 a
Convencional	13 a	29 a	21,25 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Para el factor B, a los 0 días (sin aplicación de enmiendas) presentó diferencias significativas, mientras que a los 60 y 120 días sucedió lo opuesto. A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) en los diferentes tratamientos los valores fueron de 15 para la enmienda floable 2 (T2), seguido de enmienda sólida (T4) con 14,50, después se ubicó la enmienda floables 1 (T1) con 14 y por último el testigo (T0) con 8,50. En cuanto a los 60 días los valores presentaron un aumento en todos los tratamientos: la enmienda sólida (T3) con 29,50, seguido de la enmienda floable 2 (T2) con 28, posteriormente se ubicó la enmienda floable 1 (T2) con 27 y por último el testigo (T0) con 26,50. A los 120 días los valores descendieron en todos los tratamientos dando como resultado: en la enmienda sólida (T3) 26,50, seguido de la enmienda floable 1 (T1) con 16,50, posteriormente la enmienda floable 2 (T2) con 14 y al final el testigo (T0) con 13,50 (Tabla 3).

Tabla 3. Nitrógeno (NH₄) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en el testigo y los tres tipos de enmiendas aplicados en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

Tratamientos	NITROGENO (NH ₄) (mg/kg)		
	0 Días	60 Días	120 Días
Testigo (T0)	8,50 b	26,50 a	13,50 a
Enmienda floable 1 (T1)	14 a	27 a	16,50 a
Enmienda floable 2 (T2)	15 a	28 a	14 a
Enmienda sólida (T3)	14,50 a	29,50 a	26,50 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En relación a la interacción entre factores, a los 0 días tanto para el factor A como para el factor B presentaron niveles de nitrógeno (NH₄) bajos. A los 60 días el nivel vario en los dos factores. En cuanto a los 120 días el nivel volvió a ser bajo para los factores, destacando únicamente la enmienda sólida (T3) en la palma convencional que se mantuvo en nivel medio (Tabla 4).

Tabla 4. Nitrógeno (NH₄) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en efecto de aplicación de dos enmiendas floables y una sólida para corrección de pH en un suelo cultivado de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) con dos diferentes manejos (orgánico y convencional).

Palma	Tratamientos	NITROGENO (NH ₄) (mg/kg)					
		0 días	Nivel	60 días	Nivel	120 días	Nivel
Orgánica	Testigo	8	Bajo	29	Medio	11	Bajo
Orgánica	Enmienda floable 1	14	Bajo	25	Medio	16	Bajo
Orgánica	Enmienda floable 2	16	Bajo	23	Medio	16	Bajo
Orgánica	Enmienda sólida	14	Bajo	29	Medio	13	Bajo
Convencional	Testigo	9	Bajo	24	Medio	16	Bajo
Convencional	Enmienda floable 1	14	Bajo	29	Medio	17	Bajo
Convencional	Enmienda floable 2	14	Bajo	33	Medio	12	Bajo
Convencional	Enmienda sólida	15	Bajo	30	medio	40	Medio

Los fertilizantes nitrogenados que contienen o forman amonio (NH₄⁺) incrementan la acidez del suelo a menos que la planta absorba NH₄⁺ directamente. Esta forma de nitrógeno (N) se convierte en nitrato (NO₃⁻) a través de oxidación biológica, es por este motivo que el uso de enmiendas para mejorar el pH del suelo es necesario ya que ayuda a los macronutrientes a ser mejor absorbidos (Liu et al., 2023). El contenido del nitrógeno depende del contenido de materia orgánica y éste depende de los antecedentes del suelo (vegetación o cultivo anterior). En suelos tropicales su reserva es muy baja (a excepción de los suelos orgánicos). El contenido de nitrógeno en el suelo debe ser entre 0,1%-0,4% y tener entre 0,5%-3,0% de carbono (Horel & Zsigmond, 2023). Por lo que, se encontró correlación positiva significativa entre los rendimientos y el contenido de N en el suelo.

Contenido de Fósforo (P).

En el factor A, a los 0 días (sin aplicación de enmiendas) no se presentaron diferencias significativas. En cuanto a los 60 y 120 días si se presentaron diferencias significativas.

A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) el valor para palma orgánica y palma convencional fue de 24,25 y 29 respectivamente. A los 60 días hubo una disminución dando para palma orgánica 8,25 y para convencional 23,75. A los 120 días el valor aumentó dando para palma orgánica 14,25 y para palma convencional 39 (Tabla 5).

Tabla 5. Fósforo (P) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en efecto de los dos tipos de manejo (orgánica y convencional) del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

Palma	FÓSFORO (P) (mg/kg)		
	0 Días	60 Días	120 Días
Orgánica	24,25 a	8,25 b	14,25 b
Convencional	29 a	23,75 a	39 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Para el factor B, se pudo constatar que en todas las etapas del experimento no hubo diferencias significativas. A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) el mayor valor fue de 29,50 para enmienda floable 2 (T2), seguido de enmienda floable 1 (T1) con 26,50, después se ubicó el testigo (T0) con 25,50 y por último la enmienda sólida (T3) con 25. A los 60 días se observó una disminución de valores en todos los tratamientos; sin embargo, el mayor valor lo obtuvo la enmienda floable 1 (T1) con 19,50, después se ubicó la enmienda sólida (T3) con 18, seguido de la enmienda floable 2 (T2) con 13,50 y por último estuvo el testigo (T0) con 13. A los 120 días existió un incremento de los valores, obteniendo el mayor valor la enmienda floable 2 (T2) con 34, seguido de la enmienda floable 1 (T1) con 26, después estuvo la enmienda sólida (T3) con 24 y al final el testigo (T0) con 22,50 (Tabla 6).

Tabla 6. Fósforo (P) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en el testigo y los tres tipos de enmiendas aplicados en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

TRATAMIENTOS	FÓSFORO (P) (mg/kg)		
	0 DIAS	60 DIAS	120 DIAS
Testigo (T0)	25,50 a	13 a	22,50 a
Enmienda floable 1 (T1)	26,50 a	19,50 a	26 a
Enmienda floable 2 (T2)	29,50 a	13,50 a	34 a
Enmienda sólida (T3)	25 a	18 a	24 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la interacción entre factores, a los 0 días tanto para el factor A como para el factor B presentaron niveles de fósforo (P) altos. No obstante, el tratamiento enmienda sólida (T3) de palma orgánica alcanzó un nivel medio. A los 60 días los niveles variaron siendo para palma orgánica los tratamientos T0 y enmienda floable 2 (T2) los niveles más bajos, mientras que, para enmienda floable 1 (T1) y enmienda sólida (T3) el nivel fue medio. En cambio, para palma convencional todos los tratamientos mostraron un nivel alto. A los 120 días para palma orgánica en todos sus tratamientos mostraron un nivel medio; mientras que, para palma convencional todos sus tratamientos tuvieron un nivel alto (Tabla 7).

Tabla 7. Fósforo (P) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en efecto de aplicación de dos enmiendas floables y una sólida para corrección de pH en un suelo cultivado de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) con dos diferentes manejos (orgánico y convencional).

Palma	Tratamientos	FÓSFORO (P) (mg/kg)					
		0 días	Nivel	60 días	Nivel	120 días	Nivel
Orgánica	Testigo	26	Alto	5	Bajo	15	Medio
Orgánica	Enmienda floable 1	25	Alto	10	Medio	15	Medio
Orgánica	Enmienda floable 2	26	Alto	6	Bajo	17	Medio
Orgánica	Enmienda sólida	20	Medio	12	Medio	10	Medio
Convencional	Testigo	25	Alto	21	Alto	30	Alto
Convencional	Enmienda floable 1	28	Alto	29	Alto	37	Alto
Convencional	Enmienda floable 2	33	Alto	21	Alto	51	Alto
Convencional	Enmienda sólida	30	Alto	24	Alto	38	Alto

El contenido de fósforo en el suelo es importante pero su relación con otros nutrientes también lo es (N/P; K/P) ya que en exceso puede producir deficiencia de boro (hoja pequeña) (Hartemink & Barrow, 2023). La capacidad de fijación de P de un suelo está relacionada positivamente con algunas propiedades de suelo como: contenido de carbonato de calcio, contenido de arcillas y pH. Tanto el P nativo como el que es aplicado, se fija como moléculas insolubles de fosfato de calcio y magnesio reduciendo significativamente la absorción de P por la planta. La máxima disponibilidad de P ocurre en el rango del pH de 5,5-7, estos datos revelan que con el uso de las enmiendas mejorando el pH del suelo ayuda a la fijación de fósforo al suelo (Rinasoa et al., 2023).

Contenido de Potasio (K)

En el factor A no se mostraron diferencias significativas en ninguna de las etapas del experimento.

A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) el valor para palma orgánica y palma convencional fue de 0,20 y 0,37 respectivamente, en cuanto a los 60 días hubo un aumento para palma orgánica de 0,66 y para convencional de 0,69. A los 120 días el valor tuvo una disminución dando valores para palma orgánica de 0,32 y para palma convencional de 0,43 (Tabla 8).

Tabla 8. Potasio (K) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en efecto de los dos tipos de manejo (orgánica y convencional) del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

PALMA	POTASIO (K)(meq/100mL)		
	0 DIAS	60 DIAS	120 DIAS
ORGÁNICA	0,20 a	0,66 a	0,32 a
CONVENCIONAL	0,37 a	0,69 a	0,43 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Para el factor B, no existieron diferencias significativas en todas las etapas del experimento.

A los 0 días (sin aplicación de enmiendas) el mayor valor fue de 0,44 para enmienda floable 2 (T2), seguido del testigo (T0) con 0,28, después se ubicó la enmienda floable 1 (T1) con 0,23 y por último la enmienda sólida (T3) con 0,20. En cuanto a los 60 días se presentó un aumento en el valor de los tratamientos, mostrándose la enmienda sólida (T3) con 0,74, después enmienda floable 1 (T1) con 0,71, seguido del testigo (T0) con 0,68 y por último la enmienda floable 2 (T2) con 0,58. A los 120 días existió una disminución de los valores, obteniendo el testigo (T0) un valor de 0,51, seguido de la enmienda floable 1 (T1) y enmienda sólida (T3) con un valor de 0,36 y al final la enmienda floable 1 (T1) con 0,28 (Tabla 9).

Tabla 9. Potasio (K) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en el testigo y los tres tipos de enmiendas aplicados en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

TRATAMIENTOS	POTASIO (K) (meq/100mL)		
	0 DIAS	60 DIAS	120 DIAS
Testigo (T0)	0,28 a	0,68 a	0,51 a
Enmienda floable 1 (T1)	0,23 a	0,71 a	0,28 a
Enmienda floable 2 (T2)	0,44 a	0,58 a	0,36 a
Enmienda sólida (T3)	0,20 a	0,74 a	0,36 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la interacción entre factores, a los 0 días para palma orgánica tanto en el testigo (T0) y en la enmienda floable 2 (T2) se presentó un nivel medio. En cambio, en la enmienda floable 1 (T1) y enmienda sólida (T3) se observó un nivel bajo. En cuanto a palma convencional el testigo (T0) y la enmienda floable 1 (T1) presentaron un nivel medio, la enmienda floable 2 (T2) presentó un nivel alto y la enmienda sólida (T3) presentó un nivel medio. A los 60 días el nivel fue de alto para todos los tratamientos en los dos manejos. Mientras que, a los 120 días el nivel para palma orgánica en los tratamientos enmiendas floables 1 (T1), enmienda floable 2 (T2) y enmienda sólida (T3) el nivel fue medio, siendo superados por el testigo (T0) que mostró un nivel alto. Para palma convencional el testigo (T0) y enmienda floable 1 (T1) tuvieron nivel medio mientras que, la enmienda floable 2 (T2) y enmienda sólida (T3) presentaron un nivel alto (Tabla 10).

Tabla 10. Potasio (K) presente en el suelo a los 0, 60 y 120 días en efecto de aplicación de dos enmiendas floables y una sólida para corrección de pH en un suelo cultivado de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) con dos diferentes manejos (orgánico y convencional).

Palma	Tratamientos	Potasio (K) (meq/100mL)					
		0 días	Nivel	60 días	Nivel	120 días	Nivel
Orgánica	Testigo	0,20	Medio	0,63	Alto	0,62	Alto
Orgánica	Enmienda floable 1	0,19	Bajo	0,65	Alto	0,23	Medio
Orgánica	Enmienda floable 2	0,26	Medio	0,57	Alto	0,20	Medio
Orgánica	Enmienda sólida	0,16	Bajo	0,79	Alto	0,23	Medio
Convencional	Testigo	0,35	Medio	0,72	Alto	0,40	Medio
Convencional	Enmienda floable 1	0,26	Medio	0,76	Alto	0,33	Medio
Convencional	Enmienda floable 2	0,62	Alto	0,59	Alto	0,51	Alto
Convencional	Enmienda sólida	0,24	medio	0,69	Alto	0,49	Alto

El potasio influye en el número de racimos por palma y el peso medio del racimo. El nivel en el suelo debe ser mayor de 0,15-0,20 me/100g. Además del contenido alto de potasio es ventajoso que los suelos tengan una relación Mg/K<4 para palmas jóvenes y Mg/K<2 para palmas adultas. concluyen que la deficiencia de K ocurre frecuentemente en suelos calcáreos; inclusive cuando la cantidad de K intercambiable es la adecuada para la nutrición de la planta en otro tipo de suelo. Además, sostienen

que la fijación de K, así como las relaciones entre cationes pueden ser las responsables de estos efectos adversos en suelos ricos en carbonato de calcio (Simic et al., 2023).

Es preciso destacar que, el elemento más importante para el cultivo de palma es el suelo ya que este está ligado íntimamente con la producción y rendimiento de aceite. Siendo los nutrientes esenciales el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos minerales frecuentemente se encuentran en bajas cantidades en los suelos por lo que deben ser adicionado (Xing et al., 2023).

Análisis económico

El de menor costo de aplicación por hectárea fue de la enmienda floable 2 (T2) con un valor de USD 100, mientras que el mayor costo resultó ser la enmienda floable 1 (T1) con USD 250. Mientras que, la enmienda sólida (T3) presentó un costo de USD 106.

CONCLUSIÓN

El tratamiento enmienda floable 2 (T2) tiene efecto inmediato sobre el pH en los suelos cultivados de palma aceitera, modificando el pH de 5,15 a 5,72, lo cual representa 0,57 en la escala de pH a los 30 días de la aplicación.

En cuanto a la persistencia la enmienda floable 1 (T1) presenta el mayor valor manteniendo el pH de los suelos cultivados de palma aceitera en 5,69 a los 120 días de la aplicación. Respecto al análisis económico entre los tratamientos se encontró que el mayor beneficio/costo lo obtuvo la enmienda floable 2 (T2) ya que con menor inversión obtuvo mejores resultados para la corrección de pH en el suelo cultivado de palma aceitera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorim Silva do Sacramento, J. A., da Silva Gomes, P. H., Veloso, C. A. C., Silva, A. R., Dantas, E.

F., & Fajardo, J. D. V. (2020). Effect of agricultural correctives in the stocks of carbon and nitrogen of Oxisol in the brazilian amazon. *Acta Agronomica*, 68(4), 265–270.

<https://doi.org/10.15446/ACAG.V68N4.78564>

Arias-Aguilar, D. (2023). Experiencias del TEC en la generación de conocimiento sobre el cultivo de abacá en acompañamiento a las personas productoras de la Zona Norte y Atlántica de Costa Rica.

- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Ed.; primera ed).
- Echeverría-Pérez, E. G., Castañeda-Hidalgo, E., Robles, C., Martínez-Gallegos, V., Santiago-Martínez, G. M., & Rodríguez-Ortiz, G. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1), 60–83. <https://doi.org/10.601587rma.v10i1.376>
- Escalona-Sánchez, A., Tatiana Gavilanez-Buñay, Amyr Francisco-Yépez, & Hugo Omar Ramírez-Guerrero. (2021). Uso de enmiendas en la producción de maíz para ensilaje con riego orgánico mineral. www.mag.go.cr/revagr/index.htmlwww.cia.ucr.ac.cr
- Hartemink, A. E., & Barrow, N. J. (2023). Soil pH - nutrient relationships: the diagram. *Plant and Soil*, 486(1–2), 209–215. <https://doi.org/10.1007/S11104-022-05861-Z/METRICS>
- Horel, Á., & Zsigmond, T. (2023). Plant Growth and Soil Water Content Changes under Different Inter-Row Soil Management Methods in a Sloping Vineyard. *Plants*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/plants12071549>
- Jaimes Becerra, J. R., Tinoco Diaz, E. K., Bravo Bravo, I. F., Caicedo Aldaz, J. C., Campaña Chaglla, J. A., & Pérez Rivas, N. Y. (2023). Análisis de datos en el cuidado de *Elaeis guineensis* (palma africana) en Colombia, Ecuador y Perú. *Ciencia y Tecnología*, 16(1), 35–42. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i1.470>
- Liu, Y., Zhang, M., Li, Y., Zhang, Y., Huang, X., Yang, Y., Zhu, H., Xiong, H., & Jiang, T. (2023). Influence of Nitrogen Fertilizer Application on Soil Acidification Characteristics of Tea Plantations in Karst Areas of Southwest China. *Agriculture*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture13040849>
- Ovalle, R., Seguel, O., & Pfeiffer, M. (2023). Influencia de las prácticas agrícolas en la dinámica de los carbonatos en los suelos. *Agro Sur*, 51(1), 19–32. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2023.v51n1-02>
- Rinasoa, S., Rakotoson, T., Rabeharisoa, L., Tsujimoto, Y., & Nishigaki, T. (2023). Farmyard manure application increases lowland rice yield in phosphorus-deficient soils, but not in soils with high pH and phosphorus-fixing capacity. *Field Crops Research*, 296.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108906>

Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M., Flores, H., & Neaman, A. (2006). Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile (p. 150). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Simic, D., Jankovic, S., Popovic, V., Stankovic, S., Rahovic, D., Markoski, M., Predic, T., & Ugrenovic, V. (2023). Testing of the potassium content in the soil for the purpose of preserving biodiversity. *The Journal "Agriculture and Forestry,"* 69(1).

<https://doi.org/10.17707/agricultforest.69.1.03>

Tao, H. H., Snaddon, J. L., Slade, E. M., Henneron, L., Caliman, J. P., & Willis, K. J. (2018). Application of oil palm empty fruit bunch effects on soil biota and functions: A case study in Sumatra, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 256, 105–113.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.012>

Véliz Zamora, D. V., Franco Alvarado, L. Aníbal., Mestanza Uquillas, C. Alexander., Vásquez Montúfar, G. Humberto., Vásquez, S. Cristóbal., & Pinargote Alava, J. Jairo. (2021). Aplicación de sistemas de nitrógeno en el rendimiento de quinua adaptada a sistemas tecnológicos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação,* 119–131.

Xing, G., Ma, J., Liu, X., Lei, B., Wang, G., Hou, S., & Han, Y. (2023). Influence of Different Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilizer Ratios on the Agronomic and Quality Traits of Foxtail Millet. *Agronomy,* 13(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy13082005>