

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias  
Sociales y Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

**Manejo Integrado del suelo para la restauración y  
sostenibilidad en la palma aceitera Ecuador**

Integrated soil management for restoration and sustainability in oil  
palm cultivation Ecuador

**Tyrone Antonio Zambrano Barcia**

tyrone.zambrano@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-4497-0197>  
ULEAM  
Ecuador

**Daniel Gustavo Parrales Mendoza**

daniel.parrales@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-1049-2646>  
ULEAM  
Ecuador

**Freddy Alejandro Zambrano Rivera**

1315613750@live.uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0000-5706-8733>  
ULEAM  
Ecuador

**María Dolores Santana Faubla**

mariad.santana@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0002-1373-5789>  
ULEAM  
Ecuador

**Henry Othon Intriago Mendoza**

Henry.intriago@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-0565-2695>  
ULEAM  
Ecuador

**Raúl Ramón Macías Chila**

raul.macias@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0005-7060-4971>  
ULEAM  
Ecuador

**AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen a la ULEAM Extensión Pedernales y al Decano Ing. Derli Francisco Alava Rosado Ph. D, por su apoyo a los proyectos de investigación en palma aceitera.

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i6.4987>



**Artículo recibido:** 08 de agosto de 2025.  
**Aceptado para publicación:** 10 de diciembre de 2025.  
**Conflictos de Interés:** Ninguno que declarar.

**NÚMERO**

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i6.4987>

## Manejo Integrado del suelo para la restauración y sostenibilidad en la palma aceitera Ecuador

Integrated soil management for restoration and sustainability in oil palm cultivation Ecuador

**Tyrone Antonio Zambrano Barcia<sup>1</sup>**

tyrone.zambrano@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-4497-0197>  
ULEAM  
Ecuador

**Freddy Alejandro Zambrano Rivera**

1315613750@live.uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0000-5706-8733>  
ULEAM  
Ecuador

**Henry Othon Intriago Mendoza**

Henry.intriago@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-0565-2695>  
ULEAM  
Ecuador

**Raúl Ramón Macías Chila**

raul.macias@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0005-7060-4971>  
ULEAM  
Ecuador

**Daniel Gustavo Parrales Mendoza**

daniel.parrales@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-1049-2646>  
ULEAM  
Ecuador

**María Dolores Santana Faubla**

maria.d.santana@uleam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0002-1373-5789>  
ULEAM  
Ecuador

Artículo recibido: 08 de agosto de 2025. Aceptado para publicación: 10 de diciembre de 2025.  
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

### Resumen

La palma aceitera es un cultivo estratégico para la economía rural tropical. En Pedernales-Ecuador, la adaptabilidad del híbrido interespecífico OxG depende de la calidad y manejo del suelo, afectado por acidez, desequilibrio catiónico y procesos de degradación. El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades químicas y biológicas de los horizontes A, AB, y B del suelo a fin de determinar su aptitud para el establecimiento del material OxG. Se abrieron cuatro calicatas de 1m<sup>2</sup> se delimitaron horizontes y se tomaron muestras analizadas en el laboratorio para pH, macronutrientes,

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia.


micronutrientes, cationes de intercambio y actividad microbiana. Los datos se procesaron mediante un análisis de componentes principales (PCA) y matrices de correlación. Los resultados evidenciaron pH ácidos en todos los horizontes, especialmente en el horizonte B, indicando riesgos para el desarrollo radicular y el manejo nutricional si se remueve o se invierte el perfil. Se registraron niveles medios a bajos de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{S}^-$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{B}^-$  y  $\text{P}^-$  reflejando un desbalance nutricional y desequilibrio catiónico. Las correlaciones muestran un pH negativamente asociado a  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Se identificaron tres grupos: bases intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ), micronutrientes redox, el suelo presenta fertilidad moderada con limitaciones dependientes ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) y aniones móviles (S, B, P) con asociaciones altas S-B y  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Mn}^{2+}$ , que revelan controles edáficos comunes. En conclusión, el suelo tiene un buen potencial biológico, pero restricciones químicas que exigen enmiendas magnésicas, potásicas y fosfatadas, así como evitar la inversión de perfil, para optimizar el desarrollo del híbrido OxG y la sostenibilidad del sistema.

*Palabra clave:* horizontes, químicas, macronutrientes, biológica

### Abstract

The oil palm is a strategic crop for the tropical rural economy. In Pedernales, Ecuador, the adaptability of the OxG interspecific hybrid depends on soil quality and management, which are affected by acidity, cation imbalance, and degradation processes. The objective of this research was to analyze the chemical and biological properties of soil horizons A, AB, and B in order to determine their suitability for establishing OxG material. Four 1m<sup>2</sup> pits were opened, horizons were delimited, and samples were taken and analyzed in the laboratory for pH, macronutrients, micronutrients, exchangeable cations, and microbial activity. The data were processed using principal component analysis (PCA) and correlation matrices. The results showed acidic pH levels in all horizons, especially in horizon B, indicating risks for root development and nutritional management if the profile is removed or inverted. Medium to low levels of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{S}^-$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{B}^-$ , and  $\text{P}^-$  were recorded, reflecting nutritional imbalance and cationic imbalance. Correlations show a negative association between pH and  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . Three groups were identified: exchangeable bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ), redox micronutrients, the soil has moderate fertility with dependent limitations ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) and mobile anions (S, B, P) with high S-B and  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Mn}^{2+}$  associations, revealing common edaphic controls. In conclusion, the soil has good biological potential but chemical restrictions that require magnesium, potassium, and phosphate amendments, as well as avoiding profile inversion, to optimize the development of the OxG hybrid and the sustainability of the system.

*Keyword:* horizons, chemistry, macronutrients biological

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Zambrano Barcia, T. A., Zambrano Rivera, F. A., Intriago Mendoza, H. O., Macias Chila, R. R., Parrales Mendoza, D. G., & Santana Faubla, M. D. (2025). Manejo Integrado del suelo para la restauración y sostenibilidad en la palma aceitera Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (6), 1472 – 1488. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i6.4987>

## INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) es una especie tropical de gran relevancia económica, que constituye una fuente esencial de empleo rural y generación de divisas para numerosos países en desarrollo. Además, se reconoce como el principal cultivo oleaginoso destinado a la producción de aceite vegetal de mayor consumo y comercialización a nivel mundial, su importancia radica no solo en su amplio uso en la industria alimentaria y cosmética, sino también en su destacada eficiencia productiva, al ser una de las especies con mayor rendimiento de aceite por hectárea a escala global (Ayompe et al., 2021; Qaim et al., 2020; Sibhatu et al., 2025).

En América Latina, en países como Ecuador, Brasil, Argentina, Colombia realizan diagnóstico de las propiedades físicas y químicas de los suelos para optimizar su manejo agrícola, la incorporación de compost, Fito-estimulantes, sustratos orgánicos mejora la calidad química de los suelos, al incrementar la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes, estos cambios favorecen la absorción mineral, el aprovechamiento del forraje en descomposición y la eficiencia del uso del agua, lo que contribuye a un mejor balance nutricional del cultivo a incorporar y, la recuperación de la fertilidad en suelos degradados (Ibrahim et al., 2025, p. 1).

La fertilidad química del suelo se fortalece mediante prácticas sostenibles como la corrección de la acidez con enmiendas, la adición de materia orgánica estabilizada y el uso racional de fertilizantes lo que mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales y promueve el equilibrio iónico favorable para el crecimiento vegetal. Estas estrategias incrementan la resiliencia entre los agroecosistemas y contribuyen a la sostenibilidad de la producción agrícola en ambientes tropicales, lo cual es clave para conservar la capacidad productiva y la salud del suelo a largo plazo (González-Pedraza et al., 2025, p. 7).

Los niveles de nutrientes en diferentes profundidades de 0-20 cm y 21-40 cm en los oleos productos de palma de producción (OPP) mostraron una amplia variabilidad entre las diferentes localidades, estas fluctuaciones puede deberse a los diferentes tipos de suelo y en las prácticas de fertilización empleadas en cada zona, de manera similar, diversos estudios realizados en países como Indonesia, India y Ghana también han reportados variaciones significativas en la disponibilidad de nutrientes en plantaciones de palma aceitera, lo que evidencia de influencia de condiciones edáficas y de manejo sobre la fertilidad de suelo (Behera et al., 2022; Ibrahim et al., 2025; Sibhatu et al., 2025).

Los suelos de la zona Sur-occidental de Colombia presentan un alto contenido de materia orgánica superior al 35 %, lo que favorece una elevada capacidad de retención de nutrientes, al mejorar la cargas coloidal del suelo, químicamente, se caracteriza por ser fuertemente ácidos (pH entre 4,1 y 4,8) y por tener niveles elevados de fósforo y bases intercambiables, con una saturación cercana al 100 %, estas condiciones aportan una buena fertilidad para el cultivo de la palma aceitera; sin embargo existe un marcado desequilibrio de cationes, ya que el calcio predomina en exceso (<70 %) mientras que el potasio se encuentra en niveles muy bajos (<2 %), debido a esta fragilidad química y al riesgo de degradación ambiental, se recomienda conservar estos suelos como áreas de reserva natural en lugar de destinarlos a la agricultura intensiva (Rincon-Numpaqué & Torres- Aguas, 2016, p. 16).

Los horizontes del suelo se desarrollan debajo de la superficie, aunque en ciertos lugares pueden formarse junto a la hojarasca o quedar expuestas al proceso de erosión, el horizonte (A) ubicado en la parte superior, suele contener materia orgánica en descomposición y es esencial para la actividad biológica y la fertilidad, por debajo, el horizonte (B) se forma por acumulación de materiales lixiviados desde las capas superiores como arcillas y óxidos, representando una zona de transformación y almacenamiento de nutrientes. En algunos casos, las diferencias entre ambos horizontes no son claras, lo que genera discrepancia entre los pedólogos sobre su clasificación (Ortiz-Solorio & Gutiérrez-Castorena, 2014, p. 11).

En zonas de clima tropicales cálido y lluvioso, donde predomina el cultivo de la palma aceitera, resulta esencial el incremento de los residuos orgánicos tanto total, como particulada con el propósito de robustecer la cohesión de los agregados del suelo, este objetivo se puede alcanzar mediante la incorporación sistemática de residuos orgánicos al suelo, tales como el compost, vermicompost, bocashi, y abonos verdes. Asimismo, la incorporación de cultivos de leguminosas, Kudzú tropical *Purearía phaseoloides*, *Mucuna negra*, *Centrocema pubesces*, *Calapogonium muconoides* contribuyendo de manera significativa a mejorar la estructura del suelo, incrementar la materia orgánica y favorecer su fertilidad a largo plazo (Barrales- Brito et al., 2021, 2021; Liu et al., 2024).

Es fundamental comprender la composición y el uso del suelo para evaluar la adaptabilidad de los cultivos OxG, híbridos interespecíficos de palma de aceite, a través del análisis integral de sus horizontes químicos y biológicos. Este estudio se llevará a cabo en la estación experimental Latid "0", ubicada en el kilómetro 35 de la vía Chamanga, en la parroquia Cojimíes, cantón Pedernales, provincia de Manabí, Ecuador. Los resultados de esta investigación tienen como objetivo determinar las características edáficas específicas que influirán en la siembra y desarrollo óptimo del material OxG. La hipótesis planteada propone evaluar la composición multivariante en la concentración de elementos minerales y en las propiedades biológicas separan a los distintos horizontes del suelo, lo cual podría influir en la selección y manejo de los cultivos en esta región.

### **METODOLOGÍA**

La metodología aplicada en el trabajo de campo se basó en el método deductivo-experimental. Se realizaron excavaciones de aproximadamente 1 m<sup>2</sup> con el propósito de obtener calicatas amplias y delimitar los horizontes del perfil del suelo en cada punto de muestreo. En cada calicata se evaluaron las características, químicas y microbiológicas de cada horizonte identificado. Las muestras recolectadas fueron trasladadas al laboratorio para un análisis detallado y posterior interpretación, con el objetivo de caracterizar integralmente las propiedades del suelo y su variabilidad en función de las condiciones ambientales del sitio estudiado.

### **Ubicación**

El presente proyecto se realizó en la zona experimental latitud 0 cantón Pedernales, en predios de la Universidad laica Eloy Alfaro de Manabí.

**Figura 1**

*Localización satelital de la unidad experimental*



**Fuente:** (Google Maps)

### **Característica del lugar Suelo**

Los suelos de la Estación Experimental Latitud "0" se distinguen por una textura mayormente arcillosa y un color negro en el horizonte superficial (Horizonte A), lo que refleja un contenido medio de materia orgánica, debido a su degradación o pérdida por causas de erosión hídrica. Esta acumulación media en la capa superior contribuye a mejorar la capacidad de retención de agua y la fertilidad del suelo, creando condiciones óptimas para el desarrollo radicular y la actividad microbológica. Al profundizar en el perfil del suelo, se observa un aumento en la proporción de arcilla, evidenciando un proceso de translocación de partículas finas hacia los horizontes inferiores (AB, B), lo que genera una estructura más compacta y densa que podría limitar la infiltración y el drenaje del agua. Aunque estas propiedades fisicoquímicas hacen a este suelo adecuado para ciertas prácticas agrícolas, es importante y fundamental implementar un manejo adecuado para prevenir problemas asociados a la compactación y la escorrentía superficial

### **Clima**

La Estación Experimental Latitud "0", ubicada en el sector Eloy Alfaro, vía Chamanga, presenta un clima con temperaturas entre 18 °C y 36 °C, influenciado por la altitud y cercanía a la costa. La precipitación anual varía entre 800 y 3,000 mm, afectada por fenómenos como El Niño y la Niña. Esta variabilidad climática genera microclimas diversos que influyen en el desarrollo agrícola y la vegetación, siendo crucial considerarla en la planificación productiva y de conservación local.

### **Equipo y materiales**

Para la realización del ensayo, se emplearon equipos y materiales especializados que aseguran precisión y eficiencia en la recolección de datos. Se utilizó una cinta métrica de alta precisión para delimitar calicatas, un sistema GPS para georreferenciación exacta y una computadora con software especializado en cartografía y análisis de suelos. Además, se contó con una balanza analítica para el pesaje de muestras, palas y machetes para apertura y acondicionamiento del área, así como un barreno para la obtención de muestras inalteradas en distintos horizontes. Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas con codificación, empleando espátulas de acero inoxidable para su manipulación cuidadosa y baldes para residuos. Se usó agua destilada para limpieza del instrumental y fundas de

polietileno para preservar las muestras durante el traslado. Esta investigación integra métodos cuantitativos y cualitativos para analizar química, biológica y morfológicamente los horizontes del suelo, facilitando una caracterización integral y evaluación de su aptitud para cultivos OxG.

### **Diseño de la investigación**

El diseño experimental implementado en esta investigación corresponde a un análisis multivariado descriptivo de PCA, estructurado con cuatro (4) horizontes y cuatro repeticiones, cada uno representado por una calicata, las cuales se consideran como unidades experimentales independientes. Este diseño permite una adecuada evaluación de la variabilidad intrínseca de los suelos y la comparación precisa de las características observadas en cada horizonte identificado. Las cuatro calicatas fueron distribuidas aleatoriamente en la zona de estudio para representar las diferentes condiciones edáficas presentes. En cada una de ellas, se caracterizaron los horizontes del perfil del suelo con un enfoque integral, considerando factores de estudio como las propiedades químicas (contenido de nutrientes), biológicas (biomasa microbiana. Para la clasificación de los horizontes se evaluaron criterios específicos de cada horizonte identificado (A y B), como la profundidad y estructura, estableciendo comparaciones cualitativas y cuantitativas entre los tratamientos. La caracterización química se centró en el análisis de nutrientes esenciales y la determinación de cationes de intercambio, mientras que la evaluación biológica incluyó parámetros de actividad microbiológica que reflejan el estado de salud del suelo. Cada horizonte fue analizado individualmente y los datos obtenidos se sometieron a un análisis multivariado para identificar diferencias significativas entre los tratamientos, proporcionando así una base sólida para determinar la aptitud de cada perfil para el cultivo de híbridos OxG. La combinación de factores evaluados en el diseño experimental permite obtener una visión detallada de la heterogeneidad del suelo y su influencia en el desarrollo de los cultivos.

### **Selección y Recolección de Muestras**

La selección de las muestras se basó en un reconocimiento preliminar del área experimental, donde se identificaron las zonas representativas para la apertura de las calicatas. Cada calicata fue delimitada con dimensiones de 1.00 m de ancho por 1.00 m de largo, mientras que la profundidad se estableció de acuerdo con las características del perfil edáfico, alcanzando una profundidad de 1 metro para exponer los horizontes de interés. Una vez expuestos, se procedió a la recolección de muestras individuales de cada horizonte, con un peso aproximado de 1 kg por muestra/horizonte, asegurando una representación adecuada del material edáfico. Cada muestra fue etiquetada y empaquetada con su respectiva codificación para su posterior análisis en laboratorio, manteniendo las condiciones de conservación necesarias para preservar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Esta metodología garantiza la obtención de datos precisos y reproducibles para el análisis funcional del perfil del suelo y la caracterización de cada horizonte.

### **RESULTADOS**

Durante el proceso de recolección de datos, se implementó un muestreo sistemático basado en la excavación de calicatas para la obtención de muestras representativas de cada horizonte identificado en el perfil del suelo. La metodología incluyó el análisis de laboratorio de cada muestra recolectada, con el objetivo de caracterizar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El estudio se estructuró bajo un modelo estadístico descriptivo no inferencial, utilizando los análisis multivariantes (PCA), donde cada horizonte se consideró como un tratamiento independiente. Las características químicas se enfocaron en el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de macronutrientes y cationes de intercambio. Adicionalmente, se evaluaron aspectos biológicos como la actividad microbiana y la biomasa presente en cada horizonte. Estos análisis permitieron establecer un perfil detallado de las

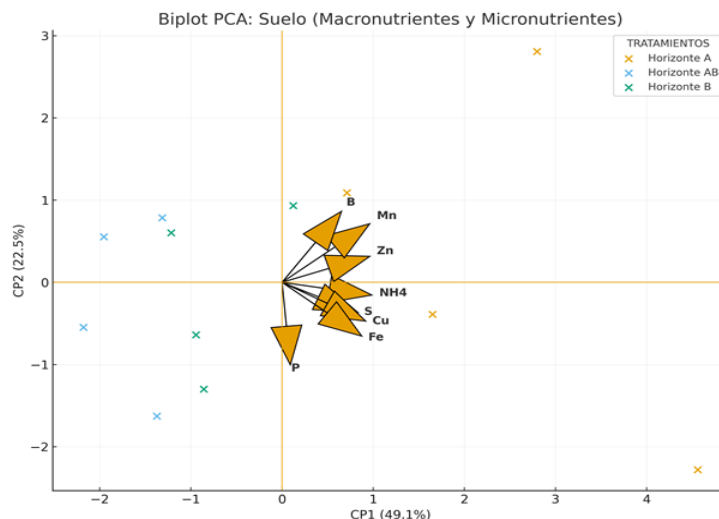
condiciones edáficas y su variabilidad entre los distintos horizontes, proporcionando una base sólida para la interpretación de la aptitud del suelo en el contexto de los tratamientos evaluados.

### Análisis de nutrientes minerales macronutrientes y microelementos Análisis de Componentes principales

El análisis de componentes principales (PCA) aplicado a macro y micronutrientes del suelo muestran que los dos primeros componentes explican el 71,60 % de la varianza total del sistema CP1: 49,10 % CP2: 22,50 %). El primer componente principal (CP1) agrupa de forma positiva los elementos  $\text{NH}_4^+$ , S,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ , lo que sugiere que estos elementos presentan comportamientos asociados, posiblemente relacionados con la fertilidad y disponibilidad generales del suelo. Por otro lado, el componente principal 2 (CP2) está influenciado por el B- y  $\text{Mn}^{++}$  en sentido positivo y P- en sentido negativo, lo cual refleja diferencias dinámicas entre micronutrientes y fósforo vinculadas a las condiciones redox o al tipo de horizonte del suelo. En síntesis, el CP1 representa la fertilidad y mineralización, mientras que el CP2 refleja variaciones específicas de micronutrientes. El CP1 se considera el componente más representativo para explicar el comportamiento general de los nutrientes del suelo.

#### Gráfico 1

Análisis de componentes principales (PCA). Multifactorial de los Horizontes Químicos y Biológicos del Suelo para la Optimización del Cultivo de Palma Aceitera (OxG) en la Latitud "0", Ecuador



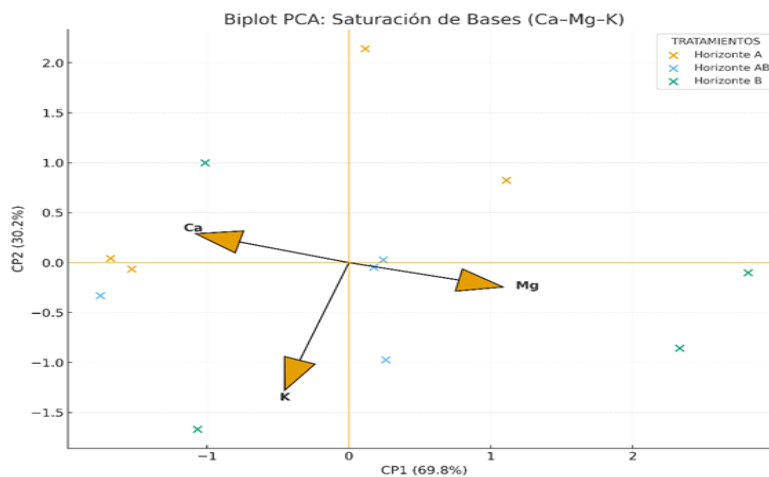
### Análisis de nutrientes minerales macronutrientes Ca, Mg, K y saturación de bases Análisis de Componentes principales

El análisis de componentes principales, aplicados a la saturación de bases del suelo, considerando a los elementos Calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), permitió considerar el balance ideal del comportamiento general del balance catiónico en los diferentes horizontes. Los dos primeros componentes principales explican el 100 % de la variación total, siendo el CP1 responsable del 69,80 % y el CP2 del 30,20 %. El primer componente está asociado con el Ca y Mg, lo que indica el equilibrio químico del suelo depende principalmente de estos dos elementos. En este sentido el calcio representa el catión dominante con un promedio cercano al 75 %, valor considerado alto e ideal para mantener la estabilidad estructural, la agregación aireación de las partículas del suelo, magnesio con valores próximos al 20 %, lo que indica valores desbalanceados al requerir por lo menos el 30 % del complejo de intercambio catiónico según lo investigado por el Centro de investigación (ANCUPA) Bernal Gustavo

et al. (2016) mientras que el potasio participa en un 5% de la saturación total, presenta una ligera variabilidad, posiblemente asociada a procesos de erosión, lixiviación y retención en los horizontes más arenosos. El biplot de PCA muestra una clara asociación entre calcio y magnesio, evidenciando que los suelos mantienen una saturación de bases desequilibradas, para el desarrollo vegetal, en conclusión el balance catiónico del suelo es inestable y agronómicamente no apto, resaltando una disponibilidad alta de elementos calcio, posiblemente influyendo la adsorción de magnesio y potasio, dentro de los límites analizados del complejo de intercambio catiónico de este suelo, lo que merece recomendar incorporar niveles adecuados de magnesio y potasio que contribuyan a mantener el balance catiónico del suelo y adecuado crecimiento de plantas de palma aceitera material (OxG).

## Gráfico 2

*Análisis de componentes principales (PCA). Saturación de bases. Multifactorial de los Horizontes Químicos y Biológicos del Suelo para la Optimización del Cultivo de Palma Aceitera (OxG) en la Latitud "0", Ecuador*



## Correlación

El análisis de correlación presente en la figura 4 presentan los coeficientes de correlación obtenidos mediante análisis de laboratorio con el software RStudio, revelan patrones edáficos consistentes que permiten entender y comprender la dinámica química del sistema, el pH mostró correlaciones negativas moderadas con Ca (-0,56) y Mg (-0,57), lo que sugiere procesos de acidificación asociados a la pérdida de bases intercambiables por lixiviación. En comparación, se observaron correlaciones positivas con Fe+3 (0,45) y Mn+2 (0,44) coherentes con la mayor solubilidad de estos micronutrientes bajo condiciones ácidas, fenómenos característicos de suelos tropicales con minerales de hierro y manganeso activos.

Los macronutrientes presentan patrones diferenciados el amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) mostró asociaciones altas con Mg+2 (r = 0.77), Cu+2 (0,73) y Mn+2 (0,62) indicando que su acumulación ocurre en ambientes edáficos donde también se retienen cationes metálicos, posiblemente por menor nitrificación o mayor humedad, el potasio (K<sup>+</sup>) exhibió relaciones fuertes con Ca+2 (0,76) y B- (0,82), lo que refleja un comportamiento conjunto de bases intercambiables y micronutrientes sensibles a la lixiviación, sin implicar dependencia causal.

Con respecto a los micronutrientes mostraron agrupamientos claros, Fe+3 y Mn+2 presentaron una correlación casi perfecta (0,99), típica de suelo donde los ciclos redox gobiernan su movilidad. Zn+2 y

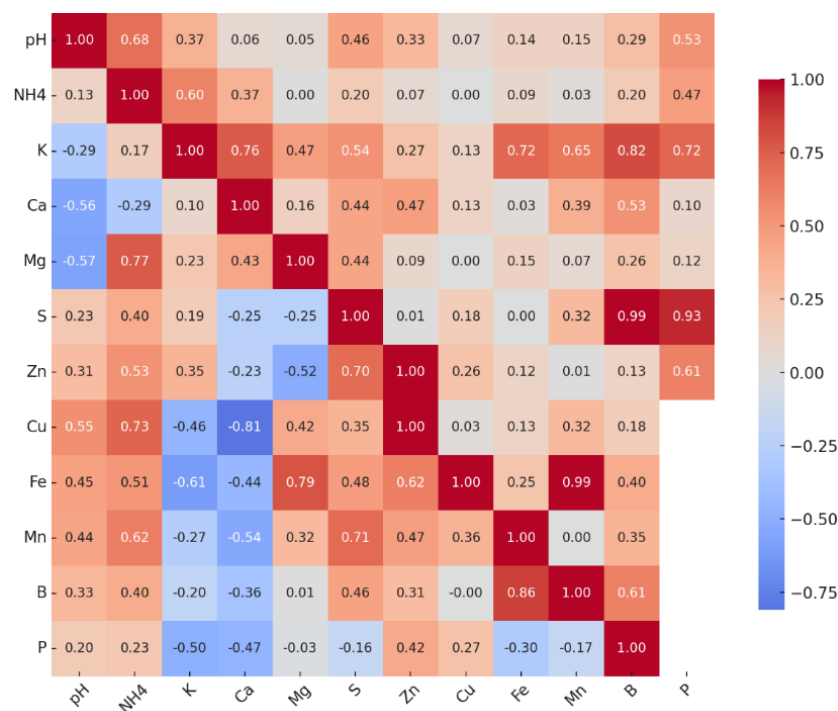
Cu<sup>2+</sup> se asociaron moderadamente con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y con metales de transición, mientras que el Mg<sup>2+</sup> mostró una correlación negativa significativa con Zn<sup>2+</sup> (-0,52) sugiriendo posibles interacciones competitivas en el complejo de intercambio.

Tanto los aniones y micronutrientes móviles, particularmente S-, B- y P-, presentaron las correlaciones más altas del conjunto. S- presentó relaciones casi perfectas con B- (0,99) y P- (0,93) lo que indica que estos elementos se concentran en entornos con características edáficas compartidas, posiblemente asociados por la mineralización o por prácticas de fertilización.

En síntesis, la estructura de correlaciones permite identificar tres grupos dominantes, bien definidos bases intercambiables (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>), micronutrientes redox-dependientes (Fe<sup>+++</sup>, Mn<sup>++</sup>, Zn<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>) y elementos asociados a procesos de movilidad y retención aniónica (S-, B-, P-). Estos resultados indican que la fertilidad de suelos está modulada por interacciones químicas coherentes con los procesos edáficos del sitio, aunque debe recordarse que la correlación no implica causalidad y que cada nutriente requiere interpretación individual para fines de manejo agronómico.

#### Gráfico 4

*Análisis de correlación: Multifactorial de los Horizontes Químicos y Biológicos del Suelo para la Optimización del Cultivo de Palma Aceitera (OxG) en la Latitud "0", Ecuador*



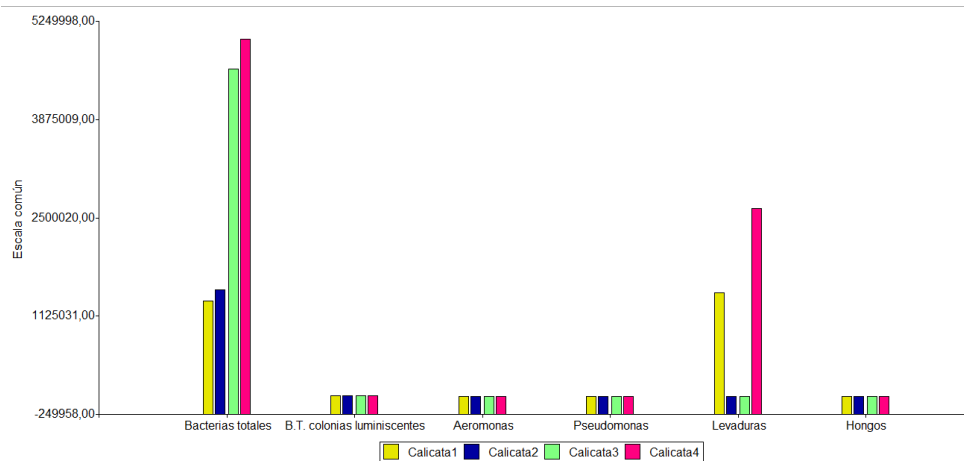
#### Biológico

En las calicatas A1, A2, A3, A4 se evaluaron los indicadores microbiológicos del suelo de acuerdo con el análisis descriptivo diagrama de barras de perfiles multivariados realizado en infostat, observando una alta actividad biológica general. Las bacterias totales alcanzaron un promedio de 3,100,000 unidades por muestra, reflejando la salud del suelo. Las Pseudomonas presentaron una actividad moderada con 198,000 unidades, influenciada por factores de la humedad y tipo de arcilla. Las levaduras presentaron un promedio alto de 1,240,000 unidades, destacando su papel en la descomposición de la materia orgánica, mientras que los hongos alcanzaron 87,500 unidades,

indicando una actividad fúngica moderada y heterogénea entre muestras. Finalmente, la aeromonas mostraron escaso crecimiento, evidenciando su baja presencia en los horizontes analizados.

### Gráfico 5

*Indicadores de Análisis microbiológico Ensayo: Multifactorial de los Horizontes Químicos y Biológicos del Suelo para la Optimización del Cultivo de Palma Aceitera (OxG) en la Latitud "0", Ecuador*



### DISCUSIÓN

El horizonte A presenta pH moderadamente ácido (5.85), AB (5,75) mientras que el horizonte B es ligeramente ácido (5.40). lo que demuestra que el horizonte B registró valores ácidos, lo cual demuestra que no debemos voltear el suelo para mejorar las propiedades Físicas, debido a la acidez que genera problemas radiculares y manejo nutricional adecuado estos datos se relacionan a los obtenidos por otros investigadores, quienes coinciden en que el pH ácido afecta negativamente la fertilidad del suelo. A medida que aumenta la acidez, aparecerán en grandes cantidades elementos antagónicos (Al<sup>3</sup>, Mn<sup>4</sup> y Fe<sup>3</sup>) de los principales nutrientes (K<sup>+</sup>, P<sup>-</sup>, N<sup>-</sup>), que reducirán la eficiencia en el uso de fertilizantes y resultan tóxicos y nocivos para el cultivo y las plantas. desarrollo de las raíces, lo que reduce la actividad de los microorganismos en las plantas [12], [13].

Los contenidos de Nitrógeno, fósforo y potasio presentaron niveles bajos en todos los horizontes del suelo, el elemento Nitrógeno presentó diferencias significativas de los contenidos a través de horizontes, mientras que fósforo y potasio no presentaron diferencias significativas, resultados que concuerdan con los obtenidos en un ensayo de invernadero con suelos degradados de Jama - Manabí, Zambrano-Barcia et al. (2021) "manifiestan que los suelos por efecto floclulantes pierde arcilla, parte del horizonte "Ap", y los tratamientos donde se omitió el nitrógeno, fósforo, y potasio, presentó los promedios más reducidos en el crecimiento de plantas indicadoras de Zea mays" (p.7). "Este mismo investigador encontró niveles bajos del elemento nitrógeno, en suelos de lodos de mangle en el estuario del río Cojimíes, mientras que los contenidos de fósforo y potasio fueron altos" [15, p. 16]. No obstante, el uso del suelo sin prácticas adecuadas de conservación ha provocado un deterioro progresivo de estas propiedades. En el ámbito químico la acidez del suelo está conjuntamente relacionada al H<sup>+</sup>Al, y su marcada disponibilidad de elementos considerados importantes y básicos en la salud del suelo Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, los cuales actúan como amortiguadores de la acidez en muchos de los casos intercambiable, son conocidos como factores determinantes de la fertilidad [16], [17], [18]. Al incrementar los iones Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, disminuye la saturación de Aluminio (Al) tóxica para la planta y la reducción de otros elementos como Na<sup>+</sup>, en caso de ser alto en el suelo, proceso favorecido por la aplicación de enmiendas carbonatadas, magnésicas, y/o dolomitas, lo que permite el lixiviado de los elementos tóxicos como el aluminio, manganeso y hierro, paralelamente a esto, los bicarbonatos y

carbonatos presentes en el suelo elevan el pH, y favorecen la precipitación de  $Al^{3+}$ , y neutralización del Hidrógeno, lo que estabiliza el complejo de cambio y facilita una retención neta de  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , en conjunto estos mecanismos incrementan los cationes divalentes y reducen el  $Al^{+++}$  y  $Na^{+}$  intercambiables, contribuyendo a mejorar la estructura y la calidad química del suelo [19], [20].

Los micronutrientes presentan patrones diferenciados entre horizontes, el manganeso, zinc, cobre, hierro, responden a un mismo control edáfico, mientras que el boro muestra un comportamiento independiente, esto evidencia que los procesos redox, la mineralogía arcillosa típica de los vertisoles, y los mecanismos de adsorción gobiernan la disponibilidad de los micronutrientes en el perfil de suelo. Resultados similares fueron reportados en suelos entisol, alfisol, ultisol, vertisol, aridisol, inceptisol, molisol, en donde el diagnóstico según los análisis de suelos confirma suelos de baja a mediana fertilidad, importantes en la producción del cultivo palma aceitera en algunas localidades de Colombia donde se diagnostica suelos de baja a mediana fertilidad con deficiencias claras de micronutrientes  $Fe^{++}$ ,  $Zn^{++}$ ,  $Cu^{++}$ , B- en hoja 17. Por lo tanto, la formulación de dosis específicas por subunidad y mantener una fertilización, continuar sin remover residuos vegetales es esencial para corregir desequilibrios y sostener la productividad a futuro (Salgado-García et al., 2023, p. 10).

### Discusión de la Microbiológica del Suelo

Los resultados demuestran una dinámica microbiana diversa donde las bacterias totales y las levaduras presentan las mayores abundancias, indicando un suelo biológicamente activo y favorable para el ciclado de nutrientes y crecimiento vegetal. Pseudomonas y los hongos exhiben niveles moderados, lo que sugiere funciones específicas vinculados al control biológico, la formación de micorrizas y la mejora de absorción de nutrientes. En contraste, Aeromonas mantiene una presencia muy baja, asociada a la estabilidad ecológica y ausencia de perturbaciones microbianas, en conjunto la comunidad microbiana refleja un suelo equilibrado, funcional y con buen potencial agroecológico.

**Tabla 1**

*Actividad microbiana del suelo, nivel funcional interpretación ecológica según literatura científica*

Grupo Microbiano	Promedio (UFC/Unidad de suelo)	Nivel de actividad	Interpretación ecológica/función	Discusión según los autores
Bacterias totales	3,100,000	Alta	Elevada descomposición de la materia orgánica	Los sistemas orgánicos incrementan el carbono orgánico, biomasa microbiana y respiración basal mejorando las propiedades biológicas (Paolini-Gómez, 2018, p. 20).
Pseudomonas	198,000	Moderada	Participa en inmunidad vegetal y control biológico mediante metabolitos secundarios	Su repertorio metabolito permite controlar fitopatógenos y reducir agroquímicos [22, p. 721].
Levaduras	1,240,000	Alta	Promueve disponibilidad de nutrientes, producción de fitohormonas y tolerancia al estrés abiótico	Las levaduras promotoras de crecimiento vegetal fortalecen vigor, nutrición y resiliencia [23], [24], [25].

Hongos	87,500	Moderada	Forman micorrizas y facilitan absorción de aguas y nutrientes	La inoculación con Endo- y ectomicorrizas es eficiente, se requieren técnicas específicas por especie [26, p. 19].
Aeromonas	1,00	Baja	Indica Estabilidad ecológica; evita aumentos oportunistas	Niveles bajos son positivos, bajo estrés térmico salino y biótico evitando disrupciones microbianas [27], [28], [29].

### CONCLUSIÓN

El estudio determinó que los suelos de la estación experimental Latitud 0, presentan fertilidad moderada, pH ácido y bajos niveles de amonio, macronutrientes y micronutrientes, lo que limita el desarrollo óptimo del híbrido OxG. No obstante, la alta actividad microbiana indica un buen potencial biológico. El desequilibrio catiónico evidencia la necesidad de incorporar magnesio, potasio y fuentes de rocas fosfóricas para mejorar la disponibilidad de nutrientes. En conjunto el manejo adecuado de suelo es esencial para optimizar la adaptabilidad y productividad de la palma aceitera en Pedernales.

## REFERENCIAS

Antonelli, C., Narduzzi, M., Ruzzi, M., Testa, A., & Vettrano, A. M. (2025). Mining Microbial Niches: Sources of Bacteria for Enhancing Plant Growth and Resilience to pH, Salinity, Drought and Phytophthora infestans. *Environmental Microbiology Reports*, 17(5), e70217. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.70217>

Ayompe, L. M., Nkongho, R. N., Masso, C., & Egoh, B. N. (2021). Does investment in palm oil trade alleviate smallholders from poverty in Africa. Investigating profitability from a biodiversity hotspot, Cameroon. *PLOS ONE*, 16(9), e0256498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256498>

Barrales- Brito, E., Paz-Pellat, F., Velázquez-Rodriguez, A., Hodalgo-Moreno, C., & Etchevers-Barra, J. (2021). 253 Publications 1,580 Citations se profile. 39(1). <https://doi.org/DOI:%252010.28940/terra>

Behera, S. K., Shukla, A. K., Suresh, K., Manorama, K., Mathur, R. K., & Majumdar, K. (2022). Yield Variability in Oil Palm Plantations in Tropical India Is Influenced by Surface and Sub-Surface Soil Fertility and Leaf Mineral Nutrient Contents. *Sustainability*, 14(5), 2672. <https://doi.org/10.3390/su14052672>

Bernal Gustavo, Vega Cristian, Calvache Marcelo, Cevallos Geovanna, Ayala Andrea, Parra Jenny, Guerra Martha, Guañuna Orlando, Morales Rocío, & Sánchez Julio. (2016). El Desbalance Catiónico Calcio-Magnesio-Potasio, causa principal del problema amarillamiento secamiento de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Bloque Occidental Ecuatoriano. <https://www.researchgate.net/publication/304014273>

Cabrera, Y. R., Terrero, Y. B., Jatib, N. H., Cruz, S. G., & Gómez, J. A. V. (2023). Caracterización química de suelos de uso agrícola en una unidad de producción agroalimentaria de Moa.

Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica mexicana*, 129, 1–27. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>

Castro, G. S. A., & Crusciol, C. A. C. (2013). Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. *Geoderma*, 195–196, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.006>

Dong, B., Zheng, X., Liu, H., Able, J. A., Yang, H., Zhao, H., Zhang, M., Qiao, Y., Wang, Y., & Liu, M. (2017). Effects of Drought Stress on Pollen Sterility, Grain Yield, Abscisic Acid and Protective Enzymes in Two Winter Wheat Cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1008. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01008>

González-Pedraza, A., Sandoval, S., & Escalante, J. (2025). Soil characteristics under different crops in mountain environments in Pamplona, Norte de Santander. *Revista de La Facultad de Agronomía, Universidad Del Zulia*, 42(4), e254248. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.n4.V](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n4.V)

Hirzel, J., Toloza, S., & Novoa, F. (2016). Evolución a corto plazo de las propiedades químicas en dos suelos de la zona centro sur de Chile fertilizados con diferentes fuentes de calcio. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, ahead, 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902016005000006>

Ibrahim, M. F., Mahmoud, M. A., Fouad, F. A., Mahmoud, A. A., Mohamed, M. A., Abdelrhman, A. A., Ali, A. M., & Al-Sayed, H. M. (2025). Synergistic impacts of organic modifications and foliar phytostimulants on soil properties, growth, yield, and chemical constituents of borage (*borago officinalis* L.). *BMC Plant Biology*, 25(1), 1290. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07430-9>

Liu, Y., Tan, Y.-L., Li, Y.-M., Ping, Y.-M., He, D.-M., Zhang, G.-L., Sun, W.-B., & Cai, L. (2024). Conservation and threatened status of plant species with extremely small populations in the karst region of

southeastern Yunnan, China. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1520363. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1520363>

Lucas-León, J. A., & Llerena-Ramos, L. T. (2024). Microorganismo beneficios como biofertilizantes eficientes en el cultivo de arroz (*Oriza sativa* L) (Primera edición Quevedo, mayo del 2024.). Universidad Estatal de Quevedo.

Machado Cuzco, J. A., Paredes Ulloa, C. O., & Dago Dueñas, Y. (2024). Caracterización Química del Suelo de Dos Fincas de la Provincia de Pastaza, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 8375–8384. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1.10165](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10165)

Manzoor, M. Z., Sarwar, G., Alamery, S., Ibrahim, M., Sami, A., Ahmed, B., Ahsan, F., Gul, S., Attia, K. A., Fiaz, S., & Ullah, I. (2024). Efficacy of various amendments for immobilization of potentially toxic elements in wastewater contaminated soils. *Scientific Reports*, 14(1), 17350. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65686-x>

Núñez-Cano, J. I. (2023). Beneficial role of certain soil rhizospheric microorganisms (bacteria, fungus and yeasted) exert on the acquisition of iron, phosphorus and other elements in rice plants. 60(1), 1–16.

Ortiz-Solorio, C. A., & Gutiérrez-Castorena, E. V. (2014). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales Décima segunda Edición, 2014. 1–410.

Padilla-Cantero, J. M. P. (2024). Evaluación de bacterias nativas con potencial biofertilizante en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) EN Montería-Colombia. 1–123.

Paolini-Gomez, J. E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista terra Latino Americana*, 36(1), 13. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>

Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H., & Grass, I. (2020). Environmental, Economic, and Social Consequences of the Oil Palm Boom. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), 321–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-024922>

Rincon-Numpaqué, A., & Torres- Aguas, J. (2016). Suelos por tipo de paisaje asociados al cultivo de la palma de aceite en la Zona Suroccidental de Colombia. 37(1), 1–19.

Rosas Patiño, G., Avila Pedraza, E. A., & Sánchez Castillo, V. (2024). La acidez del suelo limita la producción agrícola: Una revisión enfocada en la amazonia colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 185–211. <https://doi.org/10.22490/21456453.7857>

Sánchez-Castillo, R., & Guerra-Ramírez, P. (2022). *Pseudomonas* spp. Beneficial in agriculture. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 13(4), 715–725.


Sarwar, G., Hussain, N., Schmeisky, H., Suhammad, S., Ibrahim, M., & Ahmad, S. (2008). Efficiency of various organic residues for enhancing rice-wheat production under normal soil conditions. 40(5). <https://doi.org/2107-2113>,

Senapati, N., Halford, N. G., & Semenov, M. A. (2021). Vulnerability of European wheat to extreme heat and drought around flowering under future climate. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024052. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdcd3>

Sibhatu, K. T., Tabe-Ojong, M. P. Jr., & Siregar, H. (2025). Nature-Based Land Management Practices and Yield Dynamics in Oil Palm Production: Insights From Indonesian Smallholder Growers. *Agricultural Economics*, 56(5), 713–727. <https://doi.org/10.1111/agec.70018>

Zambrano-Barcia, T. A. Z., Chila, R. R. M., Intriago-Mendoza, H., & Madrid-Jiménez, L. A. (2021). Omission of minerals and recovery with organic matter in albic soils of jama canton. 2(3).

Zambrano-Barcia, T. A. Z., Muñoz, T. Y. P., Avendaño, E. D. M., Almeida, J. A. A., & Jiménez, L. A. M. (2024). Characterization of The Physical and Chemical Components of Mangrove Mud in The Cojimies River Estuary, Latitude 0 Experimental Station Located in The Mache River. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(5), e07179. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n5-113>.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .

### **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen a la ULEAM Extensión Pedernales y al Decano Ing. Derli Francisco Alava Rosado Ph. D, por su apoyo a los proyectos de investigación en palma aceitera.

### **Transparencia de datos**

Los estudios se basan en metodologías científicas rigurosas, incluyendo análisis químico y biológico del suelo, y herramientas estadísticas avanzadas para garantizar la precisión de los resultados, empleando análisis multivariados de PCA para evaluar las características del suelo, permitiendo obtener conclusiones fundamentadas en evidencias científicas.

### **Contribución de autores**

TAZAB, FAZR, HOIM, RRMCH, DGPM, MDSF colaboraron en todas las fases del documento, desde la investigación inicial hasta la redacción y revisión final del texto, garantizando la participación.

### **Financiación**

Este artículo emplea metodologías descriptivas no inferenciales para analizar los datos, la financiación de los análisis de suelos y microbiológicos fueron realizados por los autores.