

Evaluation of doses and sources of acid amendments on the effects on soil chemical parameters and rice seedling development under greenhouse conditions.

Evaluación de dosis y fuentes de enmiendas acidas sobre los efectos en los parámetros químicos del suelo y desarrollo de plántulas de arroz, bajo invernadero.

Ing. Merchán-García, Williams Ausberto
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Jipijapa-Manabí-Ecuador
✉ william.merchan@unesum.edu.ec
 <https://orcid.org/0000-0002-6910-5885>

Ing. Ventura-Rodríguez, Ulbio Jair
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Jipijapa-Manabí-Ecuador
✉ javeroventura21@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0000-7063-1543>

Arq. Narvaez-Gencon, Eric Gabriel
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Jipijapa-Manabí-Ecuador
✉ eric.narvaez@unesum.edu.ec
 <https://orcid.org/0009-0004-9903-3140>

Fechas de recepción: 20-FEB-2026 aceptación: 17-MAR-2026 publicación: 31-MAR-2026



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>
<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis de enmiendas ácidas sobre los parámetros químicos del suelo y el desarrollo inicial de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo factorial 2x3; donde los factores fueron fuentes de enmienda: sulfato de amonio (F1) y sulfato de hierro (F2), y tres niveles de dosis: 2 t/ha (D1), 3 t/ha (D2) y 4 t/ha (D3), con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en macetas plásticas con suelo franco-limoso de pH alcalino (8,8) bajo condiciones de invernadero. Se registró el pH del suelo, contenido de amonio (NH_4^+), fósforo, potasio, calcio, magnesio, así como el peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea. Los resultados mostraron que la aplicación de las enmiendas logró reducir el pH a un promedio de 7,65; el tratamiento con sulfato de amonio en dosis de 3 t/ha (F1D2) reportó los mayores niveles de amonio (167,40 ppm), fósforo (44,17 ppm) y potasio (1,10 meq/100 mL) con diferencias significativas ($p \leq 0,05$). En las variables agronómicas, el sulfato de hierro en dosis de 4 t/ha (F2D3) generó el mayor peso húmedo de raíz (12,20 g) respecto a los demás tratamientos, evidenciando que el uso de enmiendas acidificantes mejora la disponibilidad de nutrientes y el vigor vegetativo en suelos con problemas de alcalinidad.

Palabras clave: pH del suelo, enmiendas ácidas, sulfato de amonio, sulfato de hierro, *Oryza sativa*, parámetros químicos.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of different sources and doses of acid amendments on soil chemical parameters and the initial development of rice seedlings (*Oryza sativa* L.). A randomized complete block design (RCBD) with a 2x3 factorial arrangement was used; the factors were amendment sources: ammonium sulfate (F1) and iron sulfate (F2), and three dose levels: 2 t/ha (D1), 3 t/ha (D2), and 4 t/ha (D3), with three replications. The experimental unit consisted of plastic pots with alkaline loam soil (pH 8.8) under greenhouse conditions. Soil pH, ammonium (NH_4^+), phosphorus, potassium, calcium, and magnesium content, as well as the fresh and dry weight of the roots and shoots, were recorded. The results showed that the application of the amendments reduced the pH to an average of 7.65. The treatment with ammonium sulfate at a dose of 3 t/ha (F1D2) resulted in the highest levels of ammonium (167.40 ppm), phosphorus (44.17 ppm), and potassium (1.10 meq/100 mL), with significant differences ($p \leq 0.05$). Regarding agronomic variables, iron sulfate at a dose of 4 t/ha (F2D3) produced the highest root wet weight (12.20 g) compared to the other treatments, demonstrating that the use of acidifying amendments improves nutrient availability and vegetative vigor in soils with alkalinity problems.

Keywords: Soil pH, acid amendments, ammonium sulfate, iron sulfate, *Oryza sativa*, chemical parameters.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales de mayor importancia a nivel global, constituyendo la base alimenticia de gran parte de la población y un pilar fundamental en la economía agrícola. No obstante, la productividad de este cultivo se ve frecuentemente limitada por factores edafoclimáticos, entre los que destaca la degradación de los suelos por alcalinidad. La presencia de suelos con pH elevado restringe la disponibilidad de nutrientes esenciales, lo que deriva en deficiencias nutricionales que afectan el vigor de las plántulas desde sus etapas iniciales (Yarafer, 2025).

En el contexto ecuatoriano, la problemática de los suelos alcalinos es recurrente en diversas zonas productoras. Las propiedades físicas y químicas del suelo, especialmente el equilibrio iónico, determinan directamente el desarrollo radicular y los componentes del rendimiento en el arroz (Velez, 2020). Cuando el pH supera los niveles óptimos (6.0 - 7.0), elementos como el fósforo y diversos micronutrientes quedan retenidos en el complejo de cambio, volviéndose inaccesibles para la planta (Villegas, 2022). Según López et al. (2023), esta baja solubilidad de nutrientes en suelos de pH alto obliga a los productores a incrementar las dosis de fertilización, elevando los costos de producción y el impacto ambiental sin garantizar una mejora en la absorción vegetal.

Para mitigar estos efectos, el uso de enmiendas ácidas se presenta como una alternativa técnica viable. Fertilizantes de reacción ácida como el sulfato de amonio no solo aportan nitrógeno y azufre, sino que contribuyen a la acidificación de la rizosfera, mejorando el entorno para la toma de nutrientes. Por otro lado, el sulfato de hierro actúa como un agente corrector directo que puede modificar el entorno químico del suelo de manera más acelerada. La efectividad de estas intervenciones depende estrictamente de la dosificación y la fuente utilizada (Valdivieso Silva, 2025). Mendoza (2021) sostiene que la elección de la enmienda debe basarse en la capacidad amortiguadora del suelo, ya que un descenso brusco del pH podría generar toxicidades por otros elementos.

Asimismo, la dinámica del fósforo en suelos alcalinos representa uno de los mayores desafíos, ya que tiende a formar complejos insolubles con el calcio y el magnesio. La aplicación localizada de fertilizantes acidificantes no solo reduce el pH de la rizosfera de forma temporal, sino que incrementa significativamente la eficiencia de uso de los nutrientes, lo que se traduce en un sistema radicular más robusto y un crecimiento vegetativo vigoroso (Alvarado et al., 2021). A pesar de estos avances, es necesario profundizar en el estudio de las dosis óptimas para los suelos locales de la región. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de distintas dosis y fuentes de enmiendas ácidas sobre los parámetros químicos del suelo y el desarrollo inicial de plántulas de arroz, con el fin de establecer estrategias de recuperación para suelos con problemas de alcalinidad.

Materiales y métodos

Ubicación y condiciones experimentales La investigación se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en el campus de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador. El área presenta un clima tropical megatérmico semiárido. Se utilizó un suelo de textura franco-limosa con problemas de alcalinidad, recolectado en la zona de influencia agrícola local, el cual presentaba un pH inicial de 8,8.

Diseño Experimental Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con un arreglo factorial 2x3 y tres repeticiones, lo que generó un total de 18 unidades experimentales. El Factor A correspondió a las fuentes de enmienda: Sulfato de amonio (F1) y Sulfato de hierro (F2). El Factor B consistió en tres dosis de aplicación: 2 t ha⁻¹ (D1), 3 t ha⁻¹ (D2) y 4 t ha⁻¹ (D3). Cada unidad experimental estuvo constituida por una maceta con 5 kg de suelo y cinco plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.).

Manejo del Ensayo se inició con el muestreo del suelo (suelo del área de Canton Rocafuerte) y preparación (Secado y tamizado para asegurar la homogeneidad y eliminar restos vegetales antes de ser distribuido en las unidades experimentales). Una vez pesados los 5 kg de suelo por maceta, se procedió a la incorporación manual de las enmiendas según las dosis establecidas 2, 3 y 4 t ha⁻¹, garantizando una mezcla uniforme en los primeros 15 cm del perfil del sustrato. Tras la aplicación, se inició un periodo de incubación de siete días con riegos controlados a capacidad de campo, permitiendo que las reacciones de hidrólisis y oxidación de los sulfatos actuaran sobre la fracción coloidal del suelo para la reducción del pH inicial (Mendoza, 2021).

Una vez terminada la incubación del suelo se procedió a la siembra la cual se realizó de forma directa, colocando 10 semillas de arroz por maceta, las cuales fueron raleadas tras la emergencia para dejar únicamente las cinco plántulas más vigorosas por repetición. El mantenimiento consistió en el control manual de malezas y un monitoreo fitosanitario diario para prevenir ataques de insectos o patógenos, manteniendo condiciones de humedad constante mediante el método gravimétrico hasta el momento de la cosecha de las plántulas a los 30 días después de la emergencia (Valdivieso Silva, 2025). Las variables Evaluadas fueron Parámetros químicos del suelo: Al finalizar el ciclo de evaluación, se tomaron muestras de suelo de cada tratamiento para determinar el pH (método potenciométrico), nitrógeno en forma amoniacal (NH₄⁺), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Desarrollo vegetativo se midió el peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea. Para el peso seco, las muestras se sometieron a secado en estufa a 65°C hasta alcanzar peso constante. Para el Análisis Estadístico los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ADEVA) para determinar efectos significativos. En los casos donde se encontraron diferencias, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (p<0,05). El procesamiento de datos se realizó con el software estadístico SPSS versión 25.0.

Resultados

La tabla 1, presenta los cuadrados medios de las variables en estudio, se puede observar que en el factor A, los parámetros pH, NH₄, P, K, Ca, y Mg resultaron con diferencias estadísticas altamente significativas, para el factor B el pH repercutió ser no significativo, los otros parámetros poseen significancia estadística. Al interaccionar los factores en estudio las evaluaciones de los parámetros químicos mostraron que existe alta diferencias estadísticas en NH₄, P, K, Ca, y Mg, no obstante, el pH es no significativo. Los Coeficientes de Variaciones se encuentran en rangos de 0.24% a 7.39%, siendo estos valores considerados dentro de los permitidos para este tipo de investigaciones.

Tabla 1. Cuadrados medios de las evaluaciones de los parámetros químicos

Fuente de Variación	Gl	pH	NH ₄	P	K	Ca	Mg
Repetición	2	1,4E-04	2,67	0,67	1,7E-05	0,001	0,13
Factor A	1	0,04**	98,0**	200**	0,08**	4,50ns	35,28**
Factor B	2	5,6E-06ns	18542**	1228,50**	0,19**	51,50**	43,81**
Factor A x Factor B	2	5,6E-06ns	12662**	561,50**	0,11**	40,50**	31,06**
Error	10	3,3E-04	0,67	1,07	1,3E-04	1,20	0,19
Total	17						
C.V.%		0,24	0,72	2,95	1,18	7,39	4,62

**=Diferencias estadísticas altamente significativas

*=Diferencias estadística significativas

ns=no significativo

La comparación de medias en la Tabla 2 mediante la prueba de **Tukey al 5%** se observa que las variables de los parámetros químicos fueron estadísticamente diferente o iguales en cada caso, también se observan dinámicas notables en cuanto a la aplicación de los tratamientos. El pH en el factor A se evidencia que al aplicar sulfato amonio se obtiene pH de 7,60 y al aplicar sulfato de hierro 7,70 estos valores con son estadísticamente diferente y que en comparación con el valor inicial fue de **8,8** donde se observa reducción notable. Al aplicar sulfato de hierro los parámetros químicos como NH₄⁺ con 115.67 ppm, P con 31.67 ppm, y Mg con 7.97 meq/ 100mL difieren estadísticamente al aplicar sulfato de amonio que posee cuantía para NH₄⁺ con 111.00 ppm, P con 38.33 ppm, y Mg con 10,77 meq/ 100mL, contrariamente K y Ca no son disímiles para ningunas de las enmiendas ácidas aplicadas, estas cuantías mencionadas son superiores a los valores iniciales antes de aplicar enmiendas en el suelo. El pH en el factor B se evidencia que, al aplicar dosis de cualquier tipo de enmienda, se obtiene pH de 7.65, estos valores no son estadísticamente diferente y que en comparación con el valor inicial de **8,8** se observa reducción notable. Al aplicar las dosis en estudio es notable cambios en los parámetros químicos del suelo, se observa que la dosis 3 t ha⁻¹ consigue

aumentar el NH_4^+ con 167.00 ppm, P con 44,00 ppm, y K con 1.10 meq/ 100mL y Mg con 7.97 meq/ 100mL difieren estadísticamente al aplicar sulfato de amonio que posee cuantía para NH_4^+ con 111.00 ppm, P con 38.33 ppm, y Mg con 10,77 meq/ 100mL, contrariamente K y Ca no son disimiles para ningunas de las enmiendas acidas aplicadas, estas cuantías mencionadas son superiores a los valores iniciales antes de aplicar enmiendas en el suelo. Para NH_4^+ al aplicar sulfato de hierro posee cuantía 115,67 ppm y sulfato de amonio con 111,00 ppm que en comparación con el valor inicial que fue de 10 ppm se observa aumento en cuanto a este parámetro. El pH en el factor B se evidencia que, al aplicar dosis de cualquier tipo de enmienda, se obtiene pH de 7.65, estos valores no son estadísticamente diferente y que en comparación con el valor inicial de 8,8 se observa reducción notable. Al aplicar las dosis en estudio es notable cambios en los parámetros químicos del suelo, se observa que la dosis 3 t ha⁻¹ consigue aumentar el NH_4^+ con 167.00 ppm, P con 44,00 ppm, y K con 1.10 meq/ 100mL y Mg con 7.97 meq/ 100mL difieren estadísticamente al aplicar sulfato de amonio que posee cuantía para NH_4^+ con 111.00 ppm, P con 38.33 ppm, y Mg con 10,77 meq/ 100mL, contrariamente K y Ca no son disimiles para ningunas de las enmiendas acidas aplicadas, estas cuantías mencionadas son superiores a los valores iniciales antes de aplicar enmiendas en el suelo

Tabla 2. Comparaciones de medias de acuerdo tukey 5% para las evaluaciones de los parámetros químicos

FACTORES EN ESTUDIO	pH	NH_4^+ ppm	P ppm	K meq/ 100mL	Ca meq/ 100mL	Mg meq/ 100mL
Factor A (Tipos enmienda)						
Sulfato de hierro	7,70 a	115,67 a	31,67 b	0,90 b	15,33 a	7,97 b
Sulfato de amonio	7,60 b	111,00 b	38,33 a	1,03 b	14,33 a	10,77 a
Tukey 5%	0,02	0,86	1,08	0,01	1,15	0,45
Factor B (Dosis de enmienda)						
2 t ha ⁻¹	7,65 a	56,00 c	18,50 b	0,76 c	17,00 a	6,25 b
3 t ha ⁻¹	7,65 a	167,00 a	44,00 a	1,10 a	16,00 a	10,80 a
4 t ha ⁻¹	7,65 a	117,00 b	42,50 a	1,04 b	11,50 b	11,05 a
Tukey 5%	0,03	1,29	1,63	0,02	1,73	0,69
Interacción Factor A x factor B						
Sulfato de hierro*2 t ha ⁻¹	7,70 a	8,00 e	4,00 d	0,54 e	16,00 a	2,20 b
Sulfato de hierro*3 t ha ⁻¹	7,70 a	209,00 a	46,00 a	1,11 a	15,00 a	11,00 a
Sulfato de hierro*4 t ha ⁻¹	7,70 a	130,00 b	45,00 a	1,04 c	15,00 a	10,70 a
Sulfato de amonio*2 t ha ⁻¹	7,60 b	104,00 d	33,00 c	0,98 d	18,00 a	10,30 a
Sulfato de amonio*3 t ha ⁻¹	7,60 b	125,00 c	42,00 b	1,08 b	17,00 a	10,60 a
Sulfato de amonio*4 t ha ⁻¹	7,60 b	104,00 d	40,00 b	1,03 c	8,00 b	11,40 a
Tukey 5%	0,05	2,32	2,92	0,03	3,10	1,23

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

Niveles optimo= pH: 6.0 – 7.5, N: 40 ppm, P: 14 ppm, K: 0,38 meq/100mL, Ca: 8,9 meq/100mL, Mg: 2,3 meq/100mL

La tabla 3, presenta los cuadrados medios de las variables en estudio, se puede observar que en el factor A existe diferencias estadísticas altamente significativas, el factor B peso húmedo foliar y peso húmedo radicular es no significativo contrariamente peso seco foliar y peso seco radicular poseen diferencias estadísticas altamente significativas.

Las interacciones de los factores en estudio las variables Peso húmedo foliar, Peso húmedo radicular, Peso seco foliar y Peso seco radicular resulto ser no significativo. Los Coeficientes de Variaciones se encuentran en rangos de 7.77% a 15.90%, siendo estos valores considerados dentro de los permitidos para este tipo de investigaciones.

Tabla 3. Cuadrados medios de las evaluaciones pesos radicular y foliar

Fuente de Variación	Gl	Peso húmedo foliar	Peso húmedo radicular	Peso seco foliar	Peso seco radicular
Repetición	2	2,25	1,12	0,05	0,05
Factor A	1	34,64 **	65,63 **	0,57 **	11,11 **
Factor B	2	2,21 ns	8,40 ns	0,16 **	2,02 **
Factor A x Factor B	2	0,16 ns	2,05 ns	0,03 ns	0,05 ns
Error	10	0,78	2,68	0,02	0,15
Total	17				
C.V.%		10,19	15,90	7,77	13,83

**=Diferencias estadísticas altamente significativas

*=Diferencias estadística significativas

ns=no significativo

La comparación de medias en la Tabla 4, mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidades se observa que en el factor A, al aplicar Sulfato de hierro se obtiene las mayores cuantías en cuanto al Peso húmedo foliar, Peso húmedo radicular, Peso seco foliar y Peso seco radicular y difieren estadísticamente cuando se aplica sulfato de amonio. En el factor B, se observa que la dosis que proyecto los mejores pesos es cuando se emplea dosis 4 t ha⁻¹.

En la interacción de los factores en estudio la combinación Sulfato de hierro*4 t ha⁻¹, ostenta las mayores cuantías en el Peso húmedo foliar, Peso húmedo radicular, Peso seco foliar y Peso seco radicular, que al someterse a la deshidratación o secado proporciona una medida precisa de biomasa eliminando fluctuaciones causadas por el contenido del agua.

Tabla 4. Comparaciones de medias de acuerdo tukey 5% para las evaluaciones pesos radicular y foliar

FACTORES EN ESTUDIO	Peso húmedo foliar gr	Peso húmedo radicular gr	Peso seco foliar gr	Peso seco radicular gr
Factor A (Tipos enmienda)				
Sulfato de hierro	10,03 a	12,20 a	1,81 a	3,60 a
Sulfato de amonio	7,25 b	8,39 b	1,45 b	2,03 b
Tukey 5%	0,92	1,72	0,13	0,40
Factor B (Dosis de enmienda)				
2 t ha ⁻¹	8,47 a	9,00 a	1,48 b	2,25 b
3 t ha ⁻¹	8,14 a	10,58 a	1,62 ab	2,78 b
4 t ha ⁻¹	9,31 a	11,31 a	1,80 a	3,41 a
Tukey 5%	1,39	2,59	0,20	0,62
Interacción Factor A x factor B				
Sulfato de hierro*2 t ha ⁻¹	9,68 ab	10,24 ab	1,61 bc	3,09 bc
Sulfato de hierro*3 t ha ⁻¹	9,67 ab	12,94 a	1,75 ab	3,46 ab
Sulfato de hierro*4 t ha ⁻¹	10,73 a	13,43 a	2,06 a	4,25 a
Sulfato de amonio*2 t ha ⁻¹	7,26 bc	7,75 b	1,34 c	1,41 d
Sulfato de amonio*3 t ha ⁻¹	6,60 c	8,22 b	1,48 bc	2,10 cd
Sulfato de amonio*4 t ha ⁻¹	7,89 bc	9,19 ab	1,53 bc	2,57 bc
Tukey 5%	2,50	4,64	0,40	1,10

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

Discusiones

A través de esta investigación se pudo evidenciar que la aplicación de enmiendas ácidas como el sulfato de amonio y el sulfato de hierro tuvo efectos significativos en la corrección del pH alcalino del suelo y en la mejora de diversos parámetros químicos, además de favorecer el desarrollo morfológico de plántulas de arroz bajo condiciones de invernadero. El suelo analizado presentó un pH inicial de 8,8, clasificado como ligeramente alcalino, lo cual representa una limitación agronómica común en suelos calizos, donde la disponibilidad de nutrientes como fósforo, hierro y zinc se ve comprometida (FAO, 2022); (Osorio, 2021). Tras la aplicación de las enmiendas, se observó una disminución del pH a 7,65, lo cual lo aproxima al rango óptimo para el cultivo de arroz (6,0 a 7,5), como también lo señalan Fujimoto et. al (2024). Este cambio fue más notorio en los tratamientos con sulfato de amonio, el cual tiene un efecto acidificante directo debido a la nitrificación del ion amonio (NH_4^+), que libera protones en el proceso (Nepal, 2023).

En cuanto a los parámetros químicos del suelo, se registraron mejoras significativas en los niveles de amonio (NH_4^+), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). En particular, la dosis de 3

toneladas por hectárea mostró ser la más eficiente, alcanzando valores de hasta 167 ppm de NH_4^+ , 44 ppm de P y 1,10 meq/100 mL de K, en comparación con los valores iniciales de 10 ppm de NH_4^+ y 58 ppm de P. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Dong et. al (2024), quienes reportaron un aumento significativo de nutrientes en suelos con baja fertilidad mediante la combinación de enmiendas orgánicas e inorgánicas como biochar y estiércol. Adicionalmente, se ha documentado que el sulfato de amonio no solo acidifica el suelo, sino que también incrementa la disponibilidad de fósforo en suelos con alto contenido de carbonatos, al evitar su precipitación con calcio (Karlarian, 2022).

El tratamiento con sulfato de hierro, por su parte, mostró una respuesta especialmente favorable en el desarrollo del sistema radicular, registrando valores de 12,20 g de peso húmedo radicular y 3,60 g de peso seco, lo cual sugiere una mayor absorción de hierro por parte de la planta en un entorno más favorable. Esto concuerda con los resultados de Fujimoto et al. (2024), quienes encontraron que la aplicación de sulfato ferroso en suelos con pH elevado promovía una mayor formación de raíces secundarias y mejor absorción de micronutrientes. Asimismo, el hierro aportado mediante FeSO_4 resulta más disponible en condiciones levemente ácidas, donde el Fe^{2+} no se oxida tan fácilmente a Fe^{3+} , evitando así su precipitación (Ali et al., 2019; Mdpi, 2023).

En cuanto al crecimiento foliar, el sulfato de amonio resultó ser más eficaz, alcanzando 1,81 g de peso seco foliar y 10,03 g de peso húmedo foliar en promedio. Este efecto puede atribuirse a la presencia de nitrógeno en forma amoniacal, que es una fuente eficiente en las primeras etapas de desarrollo del arroz, al ser más fácilmente absorbida y menos susceptible a lixiviación en suelos de textura media a fina (Luis et al., 2021; Redalyc, 2023). Esto refuerza la idea de que el tipo de nutriente y su forma química influyen tanto en la arquitectura de la planta como en su tasa de crecimiento.

Conclusiones

Se concluye que suelos con pH Ligeramente Alcalino con valor de 8,8 al aplicar enmiendas acidas como sulfato de hierro y sulfato de amonio mejora los suelos logrando obtener disminución del pH reflejando cuantías de 7,70 a 7,60 en su orden respectivamente resultando ser prácticamente neutro. Además, las enmiendas en las diferentes dosis ejercen una recuperación notable en los otros parámetros químicos como NH_4^+ , P, K, Ca, y Mg reflejan alta disponibilidad en el suelo y que al comparar con los análisis iniciales poseen la misma dinámica en su interpretación.

Con respecto al desarrollo vegetativo de las plántulas en invernadero el Peso húmedo foliar, Peso húmedo radicular, Peso seco foliar y Peso seco radicular al aplicar la combinación Sulfato de hierro 4 t ha^{-1} , ostenta las mayores cuantías en la deshidratación o secado la mejor combinación que proporciona una medida precisa de biomasa eliminando fluctuaciones causadas por el contenido del agua.

Recomendaciones

Implementar las combinaciones de enmiendas como protocolo estándar para recuperar suelos alcalinos asimismo llevar estos resultados a trabajo en campo de agricultores ya que estos tratamientos estudiados llevaran a maximiza la producción de cultivo de arroz. Desarrollar estudios complementarios que evalúen el comportamiento agronómico para realizar ajustes en campo además investigar otros tipos de enmiendas sintéticas y orgánicas con diferentes dosis.

Utilizar la combinación Sulfato de hierro 4 t ha⁻¹, ostenta las mayores cuantías, en la deshidratación o secado, logrando mejorar desarrollo radicular y foliar de las plántulas de arroz.

Referencias bibliográficas

- Ali, S., Khan, S. U., Shehzad, M. T., Magwanga, R. O., Cai, X., Xu, Y., & Zhou, Z. (2019). Iron fertilizers and their management in alkaline soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(3), 450–462.
- Alvarado, J., Pérez, L., & García, M. (2021). Dinámica de nutrientes en suelos de pH elevado y su impacto en cereales. *Agroambiente*, 16(1), 61–70.
- Dong, H., Wang, J., & Li, X. (2024). Synergistic effects of biochar and manure on nutrient availability in low-fertility soils. *Geoderma*, 442, Article 116782.
- FAO. (2022). Manejo de suelos para la nutrición de las plantas en entornos calizos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fujimoto, K., Tanaka, R., & Sato, M. (2024). Effects of ferrous sulfate on root development and nutrient uptake in rice (*Oryza sativa* L.) under alkaline conditions. *Plant and Soil*, 495, 112–128.
- Karlanian, M. (2022). Dinámica del fósforo en suelos con alto contenido de carbonatos tras la aplicación de sulfatos. Editorial Universitaria.
- López, R., Castro, E., & Morales, H. (2023). Gestión de la fertilidad en suelos alcalinos: Retos y oportunidades. Editorial Académica Agraria.
- Luis, J., Gómez, P., & Martínez, L. (2021). Eficiencia de la fertilización amoniacal en las etapas tempranas del cultivo de arroz. *Revista Internacional de Agronomía*, 12(2), 88–95.
- MDPI. (2023). Iron availability and chemical forms in slightly acidic soil environments. *Plants*, 12(5), 1045. <https://doi.org/10.3390/plants12051045>
- Mendoza, F. (2021). Uso de correctivos químicos en suelos de la zona litoral. Universidad Técnica de Manabí.

- Nepal, S. (2023). Nitrification of ammonium and its impact on soil acidification: A review. *Agricultural Sciences*, 14(1), 25–40.
- Osorio, N. W. (2021). *Manejo de nutrientes en suelos tropicales y subtropicales* (2da ed.). Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Redalyc. (2023). Comportamiento del nitrógeno amoniacal en suelos de textura fina para el cultivo de arroz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2841. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2841
- Valdivieso Silva, D. A. (2025). Efecto de enmiendas en la disponibilidad de nutrientes en suelos agrícolas. *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Velez, M. J. (2020). Las propiedades físicas y químicas suelo, desarrollo radicular y componentes del rendimiento en el arroz. *ESPAM MFL*, 18(4), 45-54.
- Villegas, A. (2022). *Uagraria: Manejo de suelos y nutrición vegetal*.
- Yarafer. (2025). Yarafer: Alkaline soil management and crop nutrition. Recuperado de <https://yarafer.com/alkaline-soil/>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.