



Empleo de enmiendas orgánicas e inorgánicas para la disminución de la toxicidad del hierro en el cultivo de arroz (Oryza Sativa L.), Guayas

Use of organic and inorganic amendments to reduce iron toxicity in rice crops (Oryza Sativa L.), Guayas

Utilização de aditivos orgânicos e inorgânicos para reduzir a toxicidade do ferro em culturas de arroz (Oryza Sativa L.), Guayas

Hamilton Ronaldo Chica-González ^I
hrcg1993@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-5322-0856>

José Leonardo Montoya-Bazán ^{II}
jmontoya@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0237-6189>

Jairo Isai Loor-Vega ^{III}
jloor@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-9012-8362>

Diego Santiago Beltrán-Rosero ^{IV}
dbeltran@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9564-6709>

Correspondencia: hrcg1993@gmail.com

Ciencias Económicas y Empresariales
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 03 de diciembre de 2024 * **Aceptado:** 25 de enero de 2025 * **Publicado:** 05 de febrero de 2025

- I. Investigador Estudiante De Posgrado De La Universidad Agraria Del Ecuador, Ecuador.
- II. Investigador Universidad Agraria Del Ecuador, Ecuador.
- III. Investigador Universidad Agraria Del Ecuador, Ecuador.
- IV. Investigador Universidad Agraria Del Ecuador, Ecuador.

Resumen

Las enmiendas fertilizantes son beneficiosas cuando se trata de mejorar el rendimiento del cultivo, por ello el objetivo de la presente investigación fue determinar que enmienda orgánica e inorgánica obtuvo el mejor resultado agronómico y económico en la producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) basándose en el análisis de reducción de hierro por toxicidad de la planta. Este proyecto se lo realizó en el cantón Lomas de Sargentillo, en la provincia del Guayas. La investigación fue a la vez experimental con un diseño de Bloques Completamente al Azar, el cual se llevó a cabo con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizó abonos orgánicos e inorgánicos como complemento a la fertilización sintética especialmente para disminuir la presencia de hierro en el arroz mejorando las condiciones edáficas y de producción del cultivo. Las variables que se tomaron en cuenta fueron: altura de la planta, número de panículas por planta, longitud de la panícula, número de granos por panícula, peso de 1000 granos, rendimiento, así como también la respectiva valoración económica en relación beneficio/costo. Luego de haber obtenido todos los resultados se determinó que el tratamiento T1 (Silicio + Diatomeas) en dosis de 3kg/ha. fue el que disminuyó la toxicidad de hierro, además este tratamiento fue el que mejor efecto tuvo en comportamiento agronómico de la planta, así como también en el rendimiento con valor de 5496,95 kg/ha y en la relación beneficio/costo con un valor de 1,59.

Palabras clave: fertilización; orgánico; inorgánico; hierro; toxicidad; arroz.

Abstract

Fertilizer amendments are beneficial when it comes to improving crop yield, therefore the objective of this research was to determine which organic and inorganic amendment obtained the best agronomic and economic result in rice crop production (*Oryza sativa* L.) based on the analysis of iron reduction by plant toxicity. This project was carried out in the Lomas de Sargentillo canton, in the province of Guayas. The research was both experimental with a Completely Randomized Block design, which was carried out with five treatments and four repetitions. Organic and inorganic fertilizers were used as a complement to synthetic fertilization especially to reduce the presence of iron in rice, improving soil and crop production conditions. The variables taken into account were: plant height, number of panicles per plant, panicle length, number of grains per panicle, weight of 1000 grains, yield, as well as the respective economic assessment in relation to benefit/cost. After obtaining all the results, it was determined that the T1 treatment (Silicon +

Diatoms) at a dose of 3 kg/ha was the one that decreased iron toxicity, and this treatment was the one that had the best effect on the agronomic behavior of the plant, as well as on the yield with a value of 5496.95 kg/ha and on the benefit/cost ratio with a value of 1.59.

Keywords: fertilization; organic; inorganic; iron; toxicity; rice.

Resumo

Os aditivos fertilizantes são benéficos quando se trata de melhorar o rendimento das culturas, por isso, o objetivo desta investigação foi determinar qual o aditivo orgânico e inorgânico que obteve o melhor resultado agrônomico e econômico na produção de arroz (*Oryza sativa* L.) com base na análise da redução de ferro pela toxicidade das plantas. Este projeto foi realizado no cantão Lomas de Sargentillo, na província de Guayas. A investigação foi experimental com delineamento em blocos inteiramente casualizados, realizado com cinco tratamentos e quatro repetições. Os fertilizantes orgânicos e inorgânicos foram utilizados como complemento à fertilização sintética, principalmente para reduzir a presença de ferro no arroz, melhorando as condições do solo e da produção agrícola. As variáveis tidas em conta foram: altura da planta, número de panículas por planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos, produtividade, bem como a respectiva valorização econômica em relação benefício/custo. Após a obtenção de todos os resultados, determinou-se o tratamento T1 (Silício + Diatomáceas) na dose de 3kg/ha. Foi o que reduziu a toxicidade do ferro, sendo que este tratamento foi o que melhor teve efeito no comportamento agrônomico da planta, bem como na produtividade com um valor de 5.496,95 kg/ha e na relação benefício/custo com um valor de 1,59.

Palavras-chave: fertilização; orgânico; inorgânico; ferro; toxicidade; arroz.

Introducción

Antecedentes del problema

El hierro es el principal nutriente causante de daños en los cultivos y esta alteración se debe a pH ácidos y falta de aireación. El Fe es el cuarto elemento más abundante sobre la corteza terrestre después del Si, además el país se caracteriza por tener varios tipos de suelos entre ellos se destaca Francos, limosos y arcillosos. Los suelos más adecuados para el cultivo de arroz son de textura arcillosa con pocas proporciones de arena y requiere una topografía plana (Juarez , et al., 2015).

El pH óptimo para el cultivo de *Oryza sativa* L oscila entre 6,5 y 7,5 se debe evitar llegar a la acidez excesiva con un pH menor o igual a 4,5 ya que puede causar acumulación de sales que son perjudiciales para las plantas de igual forma los suelos arenosos no son aconsejables para llevar a cabo la agricultura, por su poca capacidad para retener agua y su vez producen pérdida por lavado de nutrientes. Una de las mayores limitaciones para la producción agrícola es la erosión de suelos déficit de nutrientes y toxicidad ya que en algunos casos los suelos son inadecuados (Mitra y Sahu, 2015).

Sanchez y Hernandez (2016) expresa que esta gramínea al estar en condiciones de inundación no controla la concentración de hierro en el suelo, los valores de pH y contenidos de materia orgánica por lo general los suelos destinados a la producción de arroz en su mayoría tienen altos niveles de hierro, lo cual sus síntomas se muestran a partir de 2 y 4 semanas después de la siembra y esto puede causar el retraso de la absorción del potasio y el fósforo que son los principales elementos requeridos para el normal desarrollo.

Planteamiento y formulación del problema

Planteamiento del problema

Identificar la toxicidad del hierro es un caso común en los cultivos de arroz bajo inundación, siendo el mismo una limitante en la producción a causa de su mal manejo, además es uno de los principales cultivos en la provincia del Guayas con un área cultivada de 81,694 has. Identificar el hierro bajo parámetros de campo es una tarea difícil para los agricultores, la mayor parte se confunden con problemas de deficiencia en la planta, se puede manifestar que su falta de conocimientos hacen que se confundan con enfermedades visibles en la planta mientras la realidad es otra porque son de hierro, se empleara la comprobación, como se manifestará en la planta, por ser un elemento de transición caracterizado por la relativa facilidad con la que puede cambiar su estado de oxidación, además esto representa un daño grave para los agricultores, en función al rendimiento de su cultivo (Brancadoro, et al., 1995).

Tomando en consideración los altos contenidos de hierro en los sectores arroceros del guayas, poseen excesivas concentraciones de metales que podrían impactar en la calidad de los alimentos, se acumulan en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo para las raíces, se probará la efectividad de los tratamientos orgánicos e inorgánicos, con la finalidad de crear condiciones

adecuadas en la relación suelo planta, para tener una nueva alternativa en la agricultura convencional y resolver el incremento de la producción.

Formulación del problema

¿Con el uso de enmiendas orgánicas e inorgánicas se podrá disminuir la toxicidad del hierro en el cultivo del arroz e incrementar sus rendimientos?

Justificación de la investigación

Conocer la fertilidad de un suelo es indispensable para emprender un programa de producción agrícola. Los suelos del cantón Lomas de Sargentillo son aptos para la agricultura sin embargo posee un nivel de fertilidad media y nivel ácido de pH convierte a el suelo propenso a la toxicidad de elementos como es el caso del hierro en el cultivo de arroz.

Mediante este método de usos de materia orgánica e inorgánica lo cual permitirá conocer las dosificaciones que permitan que este elemento disminuya su toxicidad y ser asimilable para la planta por lo cual la presente investigación plantea realizar un diagnóstico de fertilidad de suelo en el área de innovación y desarrollo.

Objetivo general

Analizar la disminución de la toxicidad del hierro mediante el uso de enmiendas orgánica e inorgánica en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en Lomas de Sargentillo- Guayas.

Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento agronómico del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) según cada tratamiento en estudio.
- Determinar el nivel de toxicidad del hierro con análisis foliar y edáfico sobre el cultivo de arroz en los tratamientos en estudio.
- Realizar la valoración económica de los tratamientos en estudio.

Materiales y métodos

Enfoque de la Investigación

Tipo de investigación

Investigación de campo y laboratorio el cual se desarrolló con el propósito de evaluar tratamientos químicos y orgánicos de tal manera argumentar el proyecto con bases teóricas y demostrativas.

Diseño de la investigación

- Investigación experimental: Este tipo de investigación permitió manipular las variables y medir su efecto sobre las variables dependientes.
- Investigación descriptiva: Permitted recolectar los datos sobre la base de la hipótesis, exponiendo y resumiendo la información para analizarlas minuciosamente los resultados a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuirá en la relación que existen entre dos o más variables.

Metodología

Variables

Variable independiente

Disminución de la toxicidad de hierro con: Silicio + diatomeas, Sulfato de magnesio BACTOPLUS y Nutri-Humic

Variable dependiente

Altura de la planta

Se evaluó la altura de 10 plantas escogidas al azar dentro de un área útil de 2m² de cada parcela y se midió desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera que se encuentra más pronunciada se expresará en m y se tomó los datos a los 30 y 50 días después del trasplante.

Número de panícula por planta

Se evaluó 10 plantas tomadas al azar dentro de un área de cada parcela de 2m² lo cual se contó el número panículas por planta el cual se contabilizó al momento de la cosecha.

Longitud de la panícula

Se escogió al azar 30 panículas del área útil de cada parcela 2m² se evaluó la longitud desde la base hasta la punta apical de la misma el cual se midió al momento de la cosecha.

Granos por panícula

Se evaluó 10 panículas tomadas al azar dentro del área útil de cada parcela 2m² y se contó el número de granos de cada uno de ellas.

Peso de mil granos al 24% de humedad

Se tomó 1000 granos llenos de área útil de cada parcela el cual se tuvo en cuenta que no esté bajo daños de plagas y enfermedades y se lo pesó en una balanza en unidades de gramos al 24% de humedad.

Hierro en el suelo

Se realizó un análisis de suelo antes de sembrar para evaluar los niveles de hierro en el área total del diseño experimental y también después de la cosecha se efectuó nuevamente un análisis de suelo por cada tratamiento.

Hierro en la planta

Mediante el uso de análisis de foliar se evaluó la cantidad de hierro en la planta dentro del área útil de la parcela esto se lo efectuó a los 50 días después del trasplante tomando 50 hojas representativas de cada tratamiento.

Rendimiento

Se determinó al cosechar el área útil de cada parcela experimental tomando en cuenta que el grano este totalmente maduro y que tenga un aproximado de 14% de humedad por unidad este peso se lo ajustó a kilogramos por hectárea el cual se empleó la siguiente fórmula de ajuste de pesos.

$$PA = (Pa (100-Ha))/(100-Hd)$$

Dónde:

PA = peso ajustado (kg/ha)

Pa = peso actual (kg/ha)

Ha = humedad actual (%)

Hd = humedad deseada (%)

Análisis económico

El análisis económico se realizó en base a la fórmula de (Crece Negocio, 2012), específica que las fórmulas para calcular los costos y la utilidad marginal son las siguientes:

Costo neto total = Costo Variable + Costo Fijo

Utilidad neta = Ingreso Total – Costo Total

$$\text{Relación Utilidad/Costo} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Costo neto}}$$

Tratamientos

Tabla 1. Tratamientos a evaluarse

No.	Tratamiento	Descripción del Producto	Dosis		Frecuencia de Aplicación (Días)
			Ha	Parcela	
1	Oxido de Silicio Silicio+diatomeas	Materia inorgánica solida	3 kg/ha	8 gr/parcela	0-15 días
2	Sulfato de Mg	Materia inorgánica solida	168 kg/ha	422 gr/parcela	0-15 días
3	P. flourecens BACTOPLUS	Materia orgánica sólida soluble	1 kg/ha	3 gr/parcela	0-15 días
4	Ácidos húmicos Nutri-Humic	Materia orgánica Solida soluble	25 kg/ha	62 gr/parcela	0-15 días
5	Testigo Convencional	Químico Comercial	421kg/ha- NPK	1.103 gr/parcela	0-15 días

Los Autores, 2024

Manejo del ensayo

Método de siembra

La preparación del terreno consistió en dejar un suelo tipo fangoso, pasar la rozadora para romper el rastrojo de la cosecha anterior, incorporar estos residuos al suelo utilizando el arado y contenidos de materia orgánica que ayude con las necesidades nutricionales de la semilla y planta para su germinación. Luego se construyó camas húmedas se recomienda realizar un semillero el cual se trasplantó a los 15 días después de la siembra al área destinada para que preparar 150 m² de semillero para 1 hectárea, es decir 3 camas de 2m de ancho por 25 m de largo (50 m²), dejando una separación de 0.50 m entre camas.

Análisis de suelo

Se efectuó un muestreo antes de la siembra, se tomó cada una de las submuestras siguiendo un recorrido en zigzag, luego con la ayuda de una pala se limpió bien la superficie del suelo, se cavó un hoyo en forma de “V” de 20cm o 30cm. de profundidad, después con la ayuda de un machete se quitó los bordes de la submuestra, se mezcló manualmente las submuestras obtenidas de 1 kg y así finalmente colocar la muestra en doble funda con una identificación, donde se obtuvo los compuesto que requiere para observar el contenido de pH, hierro en el suelo y otro muestreo al final de la cosecha, lo cual se procedió a enviar al laboratorio de suelos del INIAP para su análisis físico químico.

Riego

Fuente de agua proviene de la cuenca del río Daule, la calidad de agua se mantiene en esta zona provisionada para riego de los cultivos ya que no es apta para el consumo humano ya que dicha agua está contaminada por bacterias. El riego se mantuvo bajo lámina 5 a 10 cm de agua con la finalidad que el agua que ingresa a un tratamiento no pase a otro y de esta manera no se afecte.

Fertilización

La planta de arroz posee la capacidad de extracción de nutrientes del suelo, gracias a la fertilización podemos reponer los elementos sustraídos, por lo tanto, diremos que la cantidad dependerá de la variedad, el sistema de cultivo y de la fertilidad del suelo, cabe recalcar que se realizó la aplicación de los tratamientos establecidos. Esta variable, por ser motivo de investigación se la efectuó de acuerdo a los tratamientos y su frecuencia establecida en el ensayo 15 Días después del trasplante se hizo la primera fertilización, luego a los 30 días para fortalecer el macollamiento se debe realizar una segunda fertilización y finalmente la última fertilización a los 45 días.

Se hizo una fertilización convencional más los distintos tratamientos a evaluarse, por lo cual se dejó el testigo solo y además se aplicó la fertilización base con su respectiva dosificación

Tabla 2. Análisis de suelo para fertilización

Muestras Lab	Fertilización (15-30-45)								
	N	P	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	
(ppm)	14	3	63		6.1	23	3.4	174.8	0.5
Kg/Ha	28	6	126		12.2	46	6.8	349.6	10.2
Muestras Lab	Fertilización (15-30-45)								
		K			Ca			Mg	

(meq/100ml)	0.44	17	11.1
Kg/Ha	343	680	2686

Los Autores, 2024

Control de maleza

El control se realizó en malezas de hoja ancha y las de hoja angosta de manera manual y mediante de herbicidas selectivos del cultivo de arroz. Producto utilizado; 2.4 D amina.

Cosecha

Se cosecha una vez que los granos hayan alcanzado su madurez total, y se procedió a realizarlo de manera manual con el uso de una hoz en todos los tratamientos dentro del área útil de cada parcela.

Diseño Experimental

De acuerdo a la información que ofrece INIAP Boliche estimulan al productor a subir su rentabilidad con su programa de Nutrición mineral y fertilización balanceada en el cultivo de arroz basados en el testigo convencional, a cargo del: Ing. MSc. Wuellins Durango C, él se encargó de los diferentes análisis de agua, suelo y foliar. Este ensayo se llevó a cabo utilizando una distribución de bloques completos al azar, el cual está formado de 5 tratamientos, cada uno de los cuales se valoró mediante 4 repeticiones. Esto permitió contar con un total de 20 unidades experimentales (parcelas), cuyas dimensiones son de 5m x 5m; abarcando un área total de todo el ensayo de 575 m².

Métodos y técnicas

- **Método deductivo:** Permitió observar casos particulares de la investigación a través de principios, teorías y leyes.
- **Método inductivo:** Este método permitió observar los resultados obtenidos con la finalidad de cumplir los objetivos e hipótesis planteada.
- **Método sintético:** Permitió establecer y relacionar los resultados para construir la discusión, conclusiones relacionadas bajo la perspectiva de totalidad de la investigación.
- **Técnica:** La técnica utilizada fue la observación directa en el campo de trabajo, lo que permitió la observación de las necesidades de nuevas técnicas en la fertilización del arroz,

por ser un cultivo con mayor demanda en la zona de estudio se necesita implementar nuevas técnicas para obtener resultados rentables.

Análisis estadístico

Análisis funcional

El análisis estadístico se lo realizó a través del software Infostat. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza para verificar diferencias significativas entre los tratamientos. En el caso de existir estas diferencias, se aplicó el test de Tukey, al 5% de probabilidad; previa constatación de la normalidad y homocedasticidad de los mismos.

Hipótesis estadística

Ho: Al menos uno de los tratamientos empleados no presentó el mejor resultado en la reducción de la toxicidad del hierro en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

Ha: Al menos uno de los tratamientos empleados presentó el mejor resultado en la reducción de la toxicidad del hierro en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

Resultados

Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), según cada tratamiento en estudio

Altura de planta a los 30 días

En la tabla 6 se muestran todos los promedios obtenidos al evaluar la altura de la planta a los 30 días después del trasplante, de acuerdo con el análisis de la varianza si se encontró significancia estadística, el promedio más alto lo tuvo el tratamiento T1 con una altura de 0,57 m mientras que el promedio más bajo fue el tratamiento T5 con 0,50 m. Con cv de 3,17.

Tabla 6. Altura de planta a los 30 días (m)

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	0,57 a
3	P. flourecens 1kg/ha	0,54 ab
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	0,53 abc

2	Sulfato de Mg	168 kg/ha	0,51 bc
5	Testigo	0	0,50 c

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

Los Autores, 2024

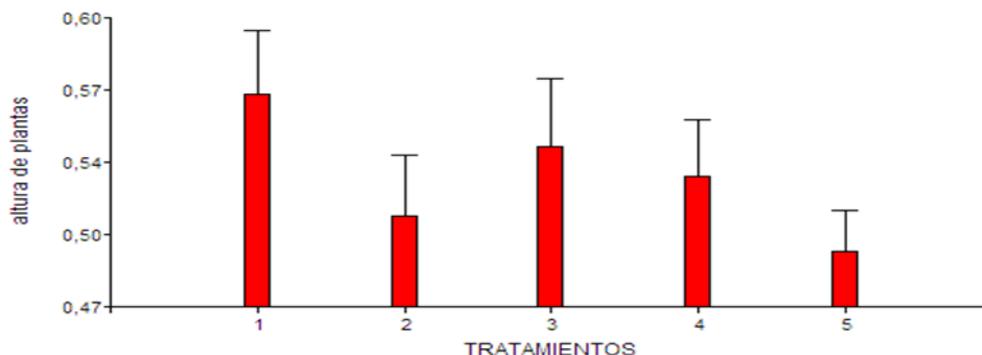


Figura 1. Altura de plantas a los 30 días (m)

Los Autores, 2024

Altura de planta a los 50 días

En la tabla 7 se muestran todos los promedios obtenidos al evaluar la altura de la planta a los 50 días después del trasplante, de acuerdo con el análisis de la varianza si se encontró significancia estadística, el promedio más alto lo tuvo el tratamiento T1 con una altura de 1,03 m. Con un cv de 0,87.

Tabla 7. Altura de planta a los 50 días (m)

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	1,00 a
3	P. flourecens 1kg/ha	1,00 ab
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	1,01 bc
2	Sulfato de Mg 168 kg/ha	1,02 c
5	Testigo 0	1,03 c

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

Los Autores, 2024

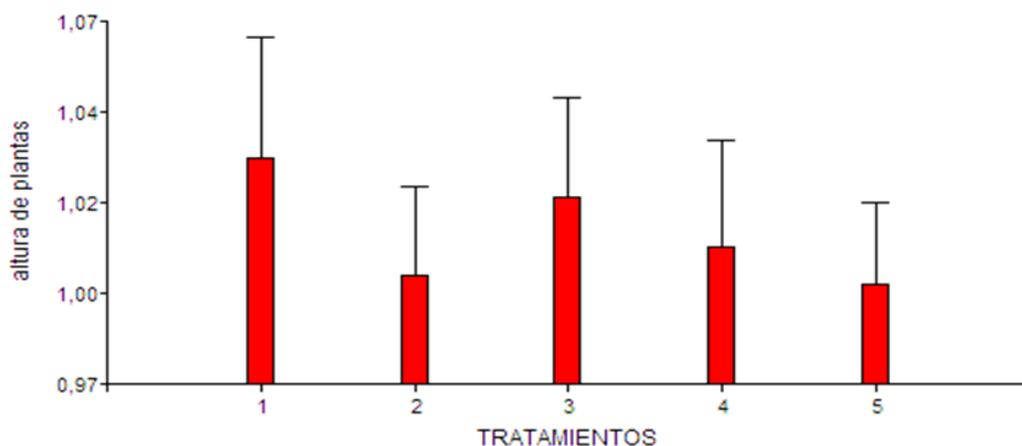


Figura 2. Altura de plantas a los 50 días (m)

Los Autores, 2024

Longitud de panícula

En la tabla 8 se muestran todos los promedios obtenidos al evaluar la longitud de espiga en cm, de acuerdo con el análisis de la varianza si se encontró significancia estadística, el promedio más alto lo tuvo el tratamiento T1 con 26,33cm mientras que el promedio más bajo fue el tratamiento T5 con 23.53cm. Con un cv de 3,01.

Tabla 8. Longitud de panícula (cm)

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	26,33 a
3	P. flourecens 1kg/ha	24,83 ab
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	24,48 b
2	Sulfato de Mg 168 kg/ha	23,55 b
5	Testigo 0	23,53 b

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

Los Autores, 2024

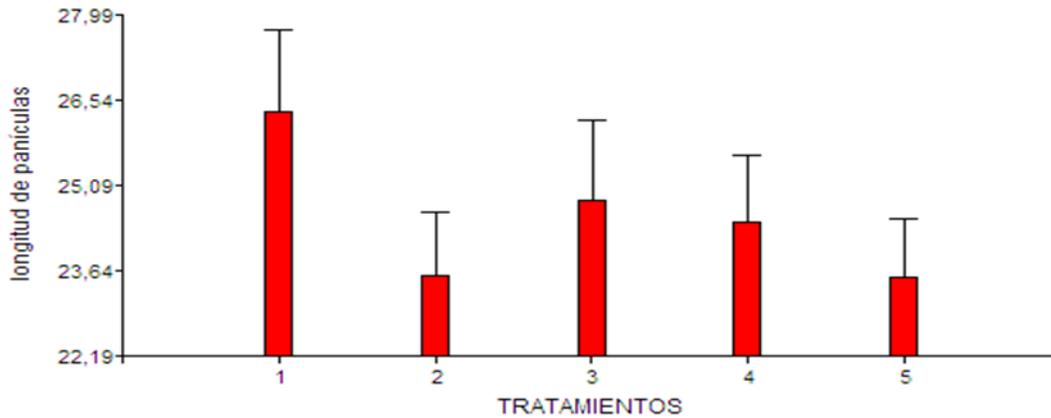


Figura 3. Longitud de panícula (cm)

Los Autores, 2024

Número de panículas por planta

En la tabla 9 se muestran todos los promedios obtenidos al evaluar el número de espigas por planta, de acuerdo con el análisis de la varianza si se encontró significancia estadística, el promedio más alto lo tuvo el tratamiento T1 con 22. Con un cv de 4,61.

Tabla 9. Número de panículas por planta

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	22,00 a
3	P. flourecens 1kg/ha	20,00 b
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	18,75 bc
2	Sulfato de Mg 168 kg/ha	17,75 c
5	Testigo 0	17,00 c

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

Los Autores, 2024

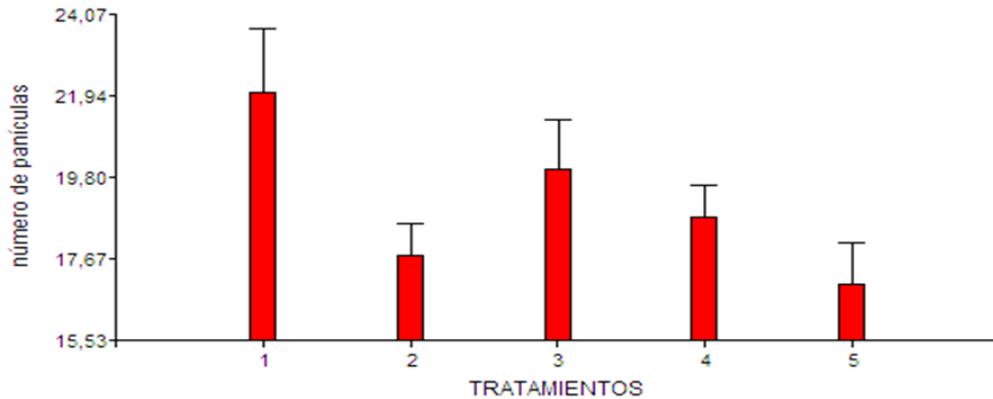


Figura 4. Número panículas planta
Los Autores, 2024

Número de granos por panícula

En la tabla 10 se muestran todos los promedios obtenidos al evaluar el número de granos por panícula, de acuerdo con el análisis de la varianza si se encontró significancia estadística, el promedio más alto lo tuvo el tratamiento T1 con 110,50 granos, mientras que el promedio más bajo fue el tratamiento T2 con 92,75 número de granos. Con un cv de 6,63.

Tabla 10. Número de granos por panícula

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	110,50 a
3	P. flourecens 1kg/ha	98,50 ab
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	98,0 ab
5	Testigo 0	95,75 ab
2	Sulfato de Mg 168 kg/ha	92,75 b

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

Los Autores, 2024

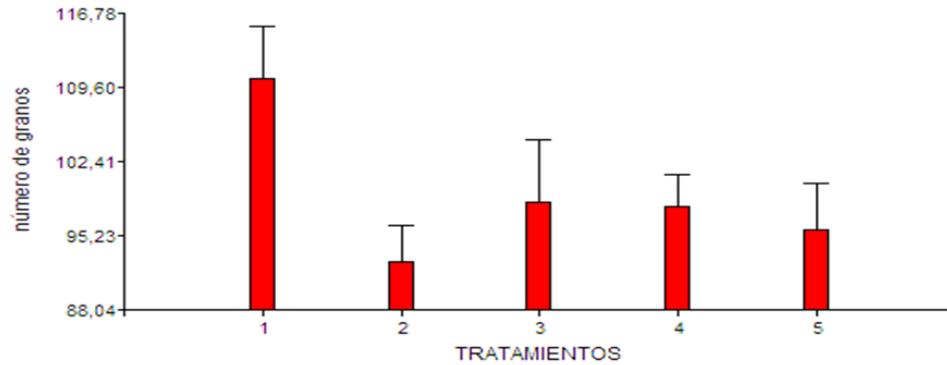


Figura 5. Número de granos por panícula
Los Autores, 2024

Peso de 1000 granos al 24% de humedad

Según el análisis estadístico del peso de 1000 granos de arroz, se determinó que el coeficiente de variación es de 3,35%, con un p-valor de 0.0337 entre tratamientos, inferior al 0.05 de la prueba de Tukey, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, existiendo diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el T1 el mejor promedio con 31,48gr; y el T2 el menor promedio con 28,98 gr. Con un cv de 3,35.

Tabla 11. *Peso de 1000 granos (g)*

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	31,48 a
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	30,61 ab
5	Testigo 0	29,75 ab
3	P. flourecens 1kg/ha	29,61 ab
2	Sulfato de Mg 168 kg/ha	28,98 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Los Autores, 2024

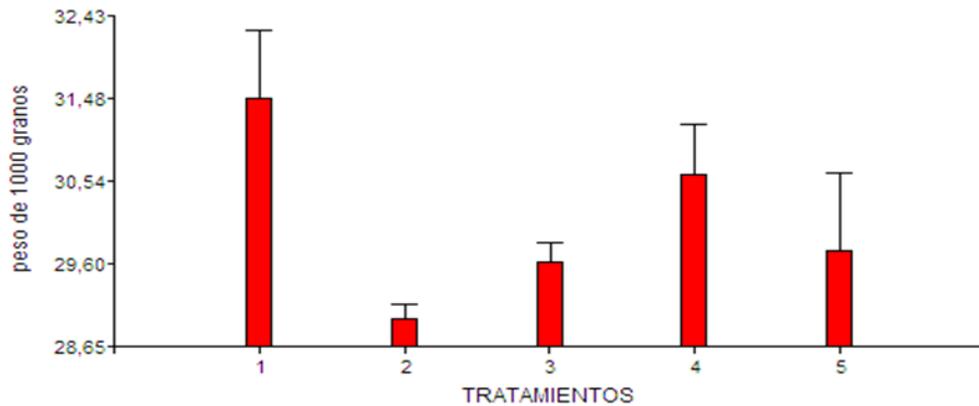


Figura 6. Peso de 1000 granos

Los Autores, 2024

Rendimiento al 24% de humedad

Según el análisis estadístico del rendimiento del cultivo de arroz, se determinó que el coeficiente de variación es de 12,10%, con un p-valor de 0.0133, menor al 0.05 de la prueba de Tukey, por lo que si existe diferencia significativa entre los tratamientos, los tratamientos T1 y T3 obtuvieron los mejores resultados con una media de 5496,95 y 4891,28 kg/ha respectivamente, y el tratamiento con menor promedio fue el T5 con un valor de 3964,58 kg/ha. Con un cv de 12,10.

Tabla 12. Rendimiento (kg/ha)

No	Tratamientos	Promedios
1	Oxido de silicio 3kg/ha	5496,95 a
3	P. flourecens 1kg/ha	4891,28 ab
4	Ácidos húmicos 25kg/ha	4299,69 ab
2	Sulfato de Mg 168 kg/ha	4214,46 b
5	Testigo 0	3964,58 b

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

Los Autores, 2024

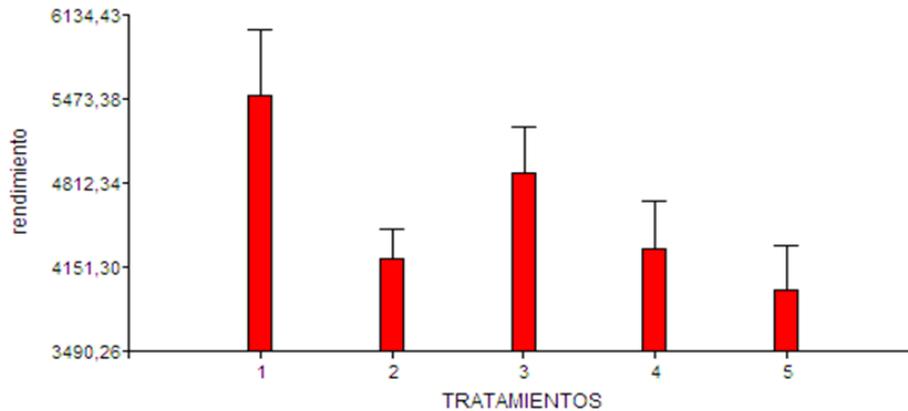


Figura 7. Rendimiento

Los Autores, 2024

Determinación del nivel de toxicidad del hierro con análisis de suelo y foliar sobre el cultivo de arroz en los tratamientos en estudio

En el análisis comparativo de presencia de hierro en el suelo, se determinó que el tratamiento con enmienda de silicio + diatomeas presentó el mejor valor de Hierro en un término “medio” (M) de 36 ug/ml ubicado en la escala de 20 – 40 ug/ml que es el óptimo en hierro para el suelo y los cultivos. Información que al ser comparada con los otros tratamientos fue el más exitoso ya que en los demás se obtuvieron valores indicados como “altos” (A) tales como 41, 56, 51 y 53.

Así mismo, en el análisis foliar se determinó que el tratamiento t1 silicio + diatomeas presentó un valor de 102 ppm ubicado en el rango de “adecuado” (A) según INIAP. Y que al ser comparados con los otros tratamientos fue el de menor valor y por lo tanto el de mejor control de hierro por problemas de toxicidad del mismo elemento antes mencionado.

Realización de un análisis económico de los tratamientos en estudio en base a la relación beneficio/costo

Análisis económico

Se realizó el análisis económico tabla 11, para determinar el tratamiento con mejores resultados en relación beneficio/ costo, donde según los datos de los rendimientos en cada tratamiento se logró observar que los tratamientos que predominaron en el estudio fueron el T1 y T3 con un beneficio/costo de 1,59 y 1,42 respectivamente; equivalente a que si hubo ganancia a la aplicación de las enmiendas, llegando a la conclusión que uno de los tratamiento que no dio un buen resultado en el análisis económico fue el T5, con un valor de 1,16 equivalente a que hubo menos ganancias.

Datos obtenidos con un 24% de humedad a la cosecha y que por motivos de parámetros de venta al mercado se debió ajustar a un 14% de humedad sacándole el 10% del valor del rendimiento para luego restarlo y obtener rendimiento al 14%; así también el precio actual en el mercado es de 0,39 ctvs el kg del precio comercial del saco de arroz; dato que sirve para obtener bien bruto y restarle los costos de producción y obtener bien neto.

Tabla 13. Valoración económica

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO kg/ha 24%	RENDIMIENTO 10%	RENDIMIENTO AJUSTADO AL 14%	PRECIO COMERCIAL(\$/Kg)	BIEN/BRUTO \$	COSTO DE PROD \$	BIEN/NETO \$	RELACION B/C
OXIDO DE SILICIO	5496,95	549,70	4947,26	0,39	1929,43	1212	717,43	1,59
SULFATO DE MG	4214,46	421,45	3793,01	0,39	1479,28	1224	255,28	1,21
P. FLOURECENS	4891,28	489,13	4402,15	0,39	1716,84	1213	503,84	1,42
AC. HÚMICOS	4299,69	429,97	3869,72	0,39	1509,19	1227	282,19	1,23
TESTIGO CONV.	3964,58	396,46	3568,12	0,39	1391,57	1200	191,57	1,16

Beneficio / Costo

Los Autores, 2024

Discusión

El propósito de la investigación presentada fue de evaluar la respuesta del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas e inorgánicas como prácticas de disminución de Hierro para este cultivo.

Después de haber llevado a cabo la aplicación de las enmiendas en el cultivo se pudo observar que hubo significancia estadística en la altura de plantas, número de panículas por planta, número de granos por panícula, peso de 1000 granos y que acorde con Mendieta (2009) establece que el crecimiento y rendimiento de una planta de arroz varía no solo por la fertilización aplicada, sino también por las condiciones climáticas y estado del suelo en el momento de la siembra. Siendo la fertilización una muy influyente causa para determinar la altura, vigor, diámetro, peso y rendimiento de un cultivo; por lo que se tendrá que tomar en cuenta los niveles de presencia de nutrientes en el suelo y necesidades del cultivo para evitar desnutrición o toxicidad de algún elemento.

Los resultados obtenidos en la investigación y su respectiva tabulación estadística nos indica que se obtuvieron mejores resultados con el uso de “Silicio + Diatomeas” como fertilización complementaria a la sintética, por lo que concuerdo con INSUSEMILLAS (2016) quien indica que incorpora elementos como aminoácidos, proteínas, vitaminas y polisacáridos y elementos minerales como macroelementos y microelementos.

Según las variables analizadas en los diferentes tratamientos, se puede determinar que las plantas sometidas al método convencional no obtuvieron buenos resultados en el rendimiento (kg/ha), por lo que concuerdo con Warnars (2012) quien indica que el uso de enmiendas en un cultivo conlleva a la reparación o mejoramiento del suelo como también del cultivo mismo, siendo éste efectivo en dosis adecuadas así como también sugiere Macas (2004) un excelente control de suelos y nutrientes previa a la siembra dará a una planta saludable siendo así menos susceptible a plagas y enfermedades por trofobiosis; la cual considera que una planta tiene muchas posibilidades de ser atacada por agentes patógenos, como hongos, bacterias, ácaros, virus, insectos, etc., en el supuesto de que la savia que esté en el alimento que estos patógenos buscan esté integrada con aminoácidos. Según esta teoría, una planta que esté sana tiene muy pocas probabilidades de ser atacada por plagas y enfermedades.

En el análisis comparativo de presencia de hierro en el suelo, se determinó que el tratamiento con enmienda de silicio + diatomeas presento el mejor valor de Hierro en un término “medio” (M) de 36 ug/ml ubicado en la escala de 20 – 40 ug/ml que es el óptimo en hierro para el suelo y los cultivos. (INIAP, 2019). Información que al ser comparada con los otros tratamientos fue el más exitoso ya que en los demás se obtuvieron valores indicados como “altos” (A) tales como 41, 56, 51 y 53.

Así mismo, en el análisis foliar se determinó que el tratamiento t1 silicio + diatomeas presentó un valor de 102 ppm ubicado en el rango de “adecuado” (A) según INIAP, 2019. Y que al ser comparados con los otros tratamientos fue el de menor valor y por lo tanto el de mejor control de hierro por problemas de toxicidad del mismo elemento antes mencionado. Siendo t2: 114 ppm; t3: 109 ppm; t4: 125 ppm y t5: 117 ppm.

El comportamiento agronómico del cultivo es uno de los factores cruciales que determinan la salud de las plantas y el rendimiento que se obtendrá en cosecha así también como el aspecto económico. Así, la importancia de seleccionar bien el suplemento a la fertilización a utilizar en un cultivo determinado es de suma importancia. Por ello, se probaron 4 enmiendas orgánicas e inorgánicas

que actúan bien frente a cultivos como el arroz y con los cuales se esperaba obtener mejores resultados en rendimiento y valoración económica mediante la disminución de hierro en la planta, por lo que concuerdo con Maceto (2013) quien en sus investigaciones sobre aplicación de enmiendas dedujo que tienen una triple función: servir como abono para mejorar las propiedades del terreno, sirve de alimento para las plantas y, a la vez, corrige deficiencias de nutrientes o excesos de estos mismos por lo que ayudan al desarrollo vegetal del cultivo. Así también acorde con Ramírez (2012) señala que las enmiendas actúan de forma indirecta y lenta. Pero con la ventaja que mejoran la textura y estructura del suelo y se incrementa su capacidad de retención de nutrientes, liberándolos progresivamente en la medida que la planta los demande.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación se concluye lo siguiente:

Se puede indicar que los mejores tratamientos fueron T1 (Silicio + Diatomeas) Y T3 (P. Flourences) para disminución de la presencia de hierro en el cultivo de arroz.

El mejor tratamiento fue T1 (Silicio + Diatomeas) para la fertilización complementaria en el cultivo de arroz.

El mejor resultado fue el tratamiento T1 (Silicio + Diatomeas) en dosis (3 kg/ha) en la relación beneficio/costo con un valor de 1,59, así como también en comportamiento agronómico y rendimiento con un valor de 5496,95 kg/ha.

Recomendaciones

De acuerdo con la presente investigación se puede recomendar:

Más investigaciones en diferentes condiciones climáticas, edáficas en el cultivo de arroz con el uso de los productos utilizados para corroborar lo que se concluye en el presente trabajo de investigación.

Tomar en consideración otras variables o parámetros a medir para cuantificar los beneficios de la aplicación de los abonos orgánicos para el cultivo de arroz, tales como aumentar las dosis de las enmiendas que no tuvieron el efecto deseado.

La realización de otros trabajos experimentales para determinar mediante el análisis económico a largo plazo, la viabilidad de implementar la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas como complemento a la fertilización sintética.

En base a este proyecto de investigación se recomienda el uso de “Silicio + Diatomeas” en dosis de (3 kg/ ha); como suplemento a la fertilización sintética en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)

Referencias

1. Abadia, J. (1992.). Leaf responses to Fe deficiency: a review. *Plants*. En *Plants in soils* (págs. 15: 1699- 1992.P). USA: Plant Nutrition.
2. Achim , D., & Fairhurs, T. (2006). Captacion del hierro en suelo y planta. Medellin: Scientific soils.
3. Adezrian, J., Yap, D., Khairiah, J., Ismail, B., Ahmad, T., & Mahir, R. (2009). The Uptake of Heavy Metals by Paddy Plants (*Oryza sativa*) in Kota Marudu, Sabah,
4. Álvarez, R. R. (2011). Transporte de hierro a larga distancia y metabolómica de la deficiencia de hierro en plantas. Madrid España: Tesis.
5. Arias, C. P. (2012). Adsorción de aniones sobre un suelo ferrálico. España: Tesis universitaria.
6. Banco Central del Ecuador . (16 de Abril de 2016). Banco Central del Ecuador (EC).
7. Bienfait, H. F. (1989.). Prevention of stress in iron metabolism of plants. En *Iron plants* (págs. 38: 105-129.p). Neerl.: Acta Bot. Neerl.
8. Brancadoro, L., RabottiA, G., Scienza, A., & Zocchi, G. (1995). Mechanisms of Fe-deficiency in roots of vitis spp. En *In response to iron-deficiency stress*. (págs. 171: 229-234 p).
9. Clarck, I. (1979). Applied Science Pub. En *Practical Geostatistics*. (pág. 169)
10. Datta, S. (1978). Fertilizer Management for Efficient Use in Wetland Rice Soils. En *Rice* (págs. p. 671-701.). Los Baños - Philippines: International Rice Research Institute.
11. Dumčius, A., Paliulis, D., & Kozlovska, J. (2011). Selection of investigation methods for heavy metal pollution on soil and sediments of water basins and river. En *Metal soil* (págs. 1-9p). Šiauliai, Lithuania: lietuvos mokslų akademija.
12. Fedearroz. (noviembre de 2015). Adopcion Masiva de Tecnologia. Bogota: MR.
13. Folch, E. C. (2007). La determinacion de hierro en arroz. Colombia bogota: ITA, en UCEL.

14. Gonzalez, P., Viera, S., & Taboada Castro. (2000). The Effect of Cultivation on the Spatial Variability of Selected Properties of a Umbric Horizon. En *Properties soils* (págs. p.97(3-4): 273-292). Geoderma: Soils.
15. Hidalgo, D. Y., & Rodríguez, I. M. (2016). Propuestas agroecológicas para el manejo agronomico del cultivo de arroz.
16. INIAP. (2015). Variedades dearroz generadas por INIAP. Boliche- Ecuador : Nucleo de ttransferencia de tecnologia y comunicacion.
17. INIFAP. (Septiembre de 2014). fertilizantes en arroz.
18. Juarez , M., Cerdan , M., & Sanchez , S. (2 de Agosto de 2015). Departamento de Agroquimica y Bioquimica Facultad de ciencias Universidad de Alicante. Recuperado el 10 de 02 de 2018, de Hierro en el sistema suelo-planta: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/HIERRO.pdf>
19. Lopez, A. (2016). Silicio para la Nutrición y produccion vegetal. Medellin colombia:
20. LORSA . (2014).Soberaniaalimentaria.gob.
21. Maldonado, M. E. (2012). nfluencia del suelo en los procesos de fijación y liberación del hierro. España: Tesis universitaria.
22. Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., & Marín-Garza, T. (2014). Concentracion de micronutrientes y crecimiento de raíz en variedades de arroz. Montecillo - Mexico: Rev. Fitotec.
23. Mitra, G. N., & Sahu, S. K. (2015). Ameliorating effects of potassium on iron toxicity in soils of orissa. OUAT, BHUBANESWAR - INDIA: International Symposium.
24. Paredes, M. (2014). Arroz. Obtenido de Tecnicos del Arroz: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/02/Manual-de-Arroz-PDF.pdf>
25. Patnaik, L., Raut, D., Behera, L., Nayak, A., Mishra, S., & Swain, S. (2013). Physico-Chemical and Heavy Metal Characterization of Soil from Industrial
26. Peñafiel, C. (2012). Adsorción de aniones sobre un suelo ferrálico. Madrid España: Tesis Minerva.
27. Perez, L. (2014). Cultivo de arroz en el Ecuador. Tesis de grado. Guayaquil.

28. Rodriguez, J. (2017). Magnesio en plantas. Medellin Colombia: IICA. Obtenido de [https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/\\$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf)
29. Rosal, M. J. (2013). Bases moleculares de la regulación de la respuesta a la deficiencia de hierro en plantas con Estrategia tipo I. Cordoba España: Tesis
30. Sagan, L., & Dorion, M. (2015). El proceso de nutrición de las plantas. Medellin colombia: IICA.
31. Sanchez, M. R., & Hernández, Y. M. (2016). Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. Scielo, p.3.
32. Sierra, C. (2017). Una relación intensa: El Hierro, el suelo y la planta. Santiago de Chile. Chile.: Diario El Mercurio,.
33. SINAGAP. (2013). Arroz ferroso propiedades toxicas . Obtenido de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/arroz.p df>
34. Slezzer, R. (2003). Wetland Soils in the U.S. Wetland. En *Plants Properties* (pág. p23). Inglaterra -London: Adventure international symption. Recuperado el ,10 de ,02 de 2018, de [http://academic. emporia.edu](http://academic. emporia.edu/aberjame/wetland/soils/soils2.htm)
35. /aberjame/wetland/soils/soils2.htm.
36. Sobitec. (18 de Mayo de 2017). El hierro en suelo y planta. Obtenido de <http://www.sobitecperu.com/hierro-en-las-plantas/>
37. Soltanpour, P., & Follett, R. (2001). Soil Test Explanation Quick Facts. Recuperado el ,11 de ,02 de 2018, de Colorado State University Cooperative Extension: <http://www.ext.colostate.edu/index.html/Soil Test Explanation.htm>.
38. Thoiron, S., Pascal, N., & Briat, J. F. (1997). Impact of iron deficiency and iron re-supply during the early stages of vegetative development in maize. En *Deficiency plants* (págs. 20: 1051-1060.p). *Plant Cell Environ.*
39. Torres, J. (2010). Ácidos húmicos. Medellin Colombia: IICA. Obtenido de <http://proferfol.es/pdf/acidos%20humicos.pdf>
40. Trujillo, C. (2015). Iron soils. USA: Internacional Information. Obtenido de <http://plantprobs.net/plant/nutrientImbalances/iron.html>

41. Ulloa, G. M. (2002). Aplicación de la geoestadística al estudio de la fertilidad del suelo. En Plantas y aplicacion (pág. p.440). Universidade de A Coruña: Tesis Doctoral.
42. Valencia, E., Villegas-Moreno, Javier, Sánchez-Yáñez, Manuel, J., & Peña- Cabriales. (2015). Pseudomonas fluorescens SIDEROFOROS. Chapingo Mexico: Terra.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).