



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter
Complejivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGRÓNOMO

TEMA:

“Alteraciones electroquímicas en suelos cultivados con arroz
bajo condiciones de riego”

AUTOR:

Alexander Joel Sánchez Morán

TUTOR

Ing. Agr. Oscar Mora Castro, M Sc

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2021

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a Dios por darme la sabiduría y cuidarme en cada paso que doy, a toda mi familia, compañeros y amigos que han estado presente durante todo mi proceso de trabajo y que han sido pilar fundamental para el cumplimiento de esta meta.

A mi padre Martin Sánchez, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, a mi madre Olga Morán, por estar siempre dispuesta a acompañarme en cada paso que doy y brindarme un consejo, a mis hermanas que son el motor de mi superación, a mi abuelita que sé que estaría muy orgullosa de mi en estos momentos.

Se lo dedico también a mis grandes amigos Jamil, Jhon, Cecilia, Doménica, que siempre brindaron su apoyo incondicional en mi vida personal apoyándome en todo momento.

Me enorgullece poder dedicarles este logro que a través de muchos años lo he realizado con mucho esfuerzo, trabajo y dedicación.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo por abrirme las puertas y formarme como profesional.

A los docentes que impartieron con paciencia y sabiduría sus conocimientos en las aulas de clases, que servirán de gran ayuda en mi vida personal y laboral.

A todos mis compañeros con quienes estuvimos en el aula de clase compartiendo experiencias, conocimientos y risas, a los cuales les deseo éxitos profesionales.

A la secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación por todo su apoyo brindado durante estos años

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
MARCO METODOLÓGICO.....	2
1.1. Definición del tema caso de estudio	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	3
2. Objetivos	4
2.1. General	4
2.2. Específicos	4
3. Fundamentación teórica	4
3.1. Alteración de las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo por fertilización.	4
3.2. Cambios en las propiedades electroquímicas.....	6
3.2.1. pH	6
3.2.2. Potencial redox (Eh).....	7
3.2.3. Conductividad eléctrica (CE)	9
3.3. Cambios en las propiedades químicas.	10
3.3.1. Cambios en la concentración de N.....	10
3.3.1. Cambios en la concentración de P.....	10
3.3.1. Cambios en la concentración de Fe.	11
4. Hipótesis.....	11
5. Metodología de la investigación.....	11
CAPITULO II.....	12
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	12

6. Desarrollo del caso	12
6.1. Situaciones detectadas.....	12
6.2. Soluciones planteadas.....	13
7. Conclusiones	13
8. Recomendaciones	14
BIBLIOGRAFÍA.....	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambios en el pH de suelo de arroz, y número de días después de la inundación. Fuente Copetti (2015)-----	6
Figura 2. Potencial redox versus número de días después de la inundación. Fuente Copetti (2015)-----	7
Figura 3. Relaciones entre la solubilidad del Cd y As y el potencial redox del suelo en los arrozales. Fuente Wang et al. (2019).-----	8
Figura 4. Cambios en la conductividad eléctrica del suelo (CE), de 15 suelos inundados de África Occidental. Fuente Narteh y Sahrawat (1999).-----	9

RESUMEN

El cultivo de arroz figura como uno de los cereales más cultivados y consumidos en el mundo y cumple un papel estratégico en la cadena agroalimentaria. El arroz, es la principal fuente de carbohidratos de más de la mitad de la población mundial y es consumido por personas con alto y bajo poder adquisitivo. La comprensión de la influencia de las inundaciones en las propiedades electroquímicas y químicas de los suelos proporciona información necesaria en su gestión para la producción de arroz países arroceros. Con este objetivo se realizó una revisión para comprender las alteraciones electroquímicas en suelos cultivados con arroz bajo condiciones de riego. Los suelos bajo riego difieren ampliamente en sus capacidades para liberar amonio, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn y, por lo tanto, un análisis puede proporcionar información útil sobre las posibles deficiencias de los nutrientes de las plantas y también sobre la aparición de toxicidad por Fe en suelos con arroz irrigado. El nitrógeno inorgánico disuelto (NID) adsorbido en los coloides del suelo juega un papel importante en la lixiviación de N del suelo. En general, la revisión muestra que los suelos inundados afectan los procesos electroquímicos y químicos que, a su vez, afectan la fertilidad del suelo de manera dinámica. La adopción generalizada del uso de fuentes de N de baja pérdida podría convertirse en una solución clave para la reducción futura de la contaminación ambiental por N y los insumos agrícolas de N.

Palabras claves: propiedades electroquímicas; pH; potencial redox; macro y micronutrientes.

SUMMARY

Rice is one of the most cultivated and consumed cereals in the world and plays a strategic role in the agri-food chain. Rice is the main source of carbohydrates for more than half of the world's population and is consumed by people with high and low purchasing power. Understanding the influence of floods on the electrochemical and chemical properties of soils provides necessary information in their management for rice production. With this objective, a review was carried out to understand the electrochemical alterations in soils cultivated with rice under irrigated conditions. Irrigated soils differ widely in their abilities to release ammonium, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, and Zn and therefore an analysis can provide useful information on potential plant nutrient deficiencies as well as on the appearance of Fe toxicity in soils with irrigated rice. Dissolved inorganic nitrogen (DIN) adsorbed on soil colloids plays an important role in the leaching of N from the soil. In general, the review shows that flooded soils affect electrochemical and chemical processes which, in turn, dynamically affect soil fertility. The widespread adoption of the use of low-loss N sources could become a key solution for the future reduction of environmental pollution by N and agricultural N inputs.

Keywords: electrochemical properties; pH; redox potential; macro and micronutrients.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz figura como uno de los cereales más cultivados y consumidos en el mundo y cumple un papel estratégico en la cadena agroalimentaria. El arroz, es la principal fuente de carbohidratos de más de la mitad de la población mundial y es consumido por personas con alto y bajo poder adquisitivo. El consumo per cápita a nivel mundial es aproximadamente 54 kg persona⁻¹ año⁻¹ (SOSBAI 2018).

Debido a su amplia adaptabilidad de suelo y clima, el cultivo de arroz se produce en diferentes ecosistemas. Además de ser cultivado en diferentes partes del mundo, es cultivado bajo condiciones de secano, secano favorecido y bajo condiciones de riego (SOSBAI 2018). No obstante, el 40 % de la oferta mundial de arroz es producida bajo sistema de riego (Linh et al. 2015).

Los suelos cultivados bajo condiciones de riego se caracterizan por tener topografía plana, horizonte arcilloso y baja conductividad hidráulica, lo cual facilita mantener el suelo saturado. Sin embargo, el uso intensivo del suelo conlleva a alteraciones biogeoquímicas, una vez que el suelo es sometido a prolongados periodos de saturación y drenaje, tales condiciones pueden alterar la dinámica de la materia orgánica, ya sea por los compuestos que se liberan y la velocidad de descomposición (da Rosa et al. 2011, Buresh y Haefele 2010). Además, la alteraciones más pronunciadas se encuentra en el sistema oxi-reductor (Fageria et al. 2011).

El potencial oxi - reducción (E_H) se caracteriza a través de un amplio rango de variaciones, los cambios electroquímicos ocurridos en el suelo y los efectos sobre el desarrollo del cultivo bajo condiciones de riego. Asociadas a las alteraciones del E_H , se verifica el aumento o disminución del pH, como resultado de la baja disponibilidad del oxígeno y aumento de CO_2 . Siendo este último, producido por la respiración microbiana (da Rosa et al. 2011). La ausencia de oxígeno conlleva los microorganismos anaerobios facultativos y obligatorios a consumir el O_2 de los receptores secundarios de electrones (Schmidt et al. 2013, Fageria et al. 2011).

Bajo estas condiciones, el contenido de electrolitos en la solución del suelo se altera. De este modo, algunos iones, macro y micronutrientes aumentan su concentración. Consecuentemente, el aumento de la disponibilidad de estos elementos pueden alcanzar niveles de toxicidad en el cultivo de arroz (Zhang et al. 2019, Borin et al. 2016).

CAPITULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente documento trata sobre la temática correspondiente al análisis de las características electroquímicas de los suelos de arroz irrigado.

El conocimiento del comportamiento de los diferentes insumos en los procesos de intercambio catiónico y disponibilidad de nutrientes para la planta, así como la emisión de gases a la atmosfera son de importancia para producir de manera sustentable.

1.2. Planteamiento del problema

Los suelos arroceros se caracterizan por tener una carga predominantemente variable debido a la alta carga de fertilizantes, sobre todo de alto contenido de N. Se sabe que muchas prácticas de manejo comúnmente utilizadas, por ejemplo, , aplicación de fosfato y abonos (orgánicos e inorgánicos) modifican su carga eléctrica y el comportamiento de las cargas de cationes y aniones. Este proceso está, al menos, parcialmente gobernado por las cargas existentes en el sistema del suelo, poco estudiadas en Ecuador.

1.3. Justificación

El cultivo de arroz cumple un papel fundamental la alimentación de más del 50 % de la población mundial y merece ser destacado.

En Ecuador, el cultivo de arroz es sembrado en aproximadamente una superficie de 366 194 ha, de las cuales el 94,07 % se encuentra en las provincias del Guayas y Los Ríos, donde el 60 % es cultivada mediante riego y el 40 % en condición de secano.

Los suelos cultivados con arroz, bajo condiciones de riego presentan alteraciones biogeoquímicas resultantes de largos periodos de inundación, lo cual puede influir en la producción del cultivo.

Las alteraciones electroquímicas sirven de partida para el desencadenamiento de procesos de reducción como resultado de la disminución de O₂, consecuentemente, conlleva a variaciones significativas en el potencial de oxi – reducción y en el pH.

Tales variaciones, resultan importante para el cultivo de arroz, pues interfieren en la fertilidad del suelo, determinando las formas estables de los elementos y su disponibilidad para la planta.

Ante lo expuesto, la compilación de información relacionada a la dinámica de macro y microelementos en función a las alteraciones electroquímicas en suelos bajo condiciones de riego son necesarias para conocer y proponer prácticas de manejo mejorado a los productores de arroz de la zona.

2. Objetivos

2.1. General

- Comprender las alteraciones electroquímicas en suelos cultivados con arroz bajo condiciones de riego

2.2. Específicos

- Detallar las alteraciones en el sistema oxi-reductor en suelos cultivados con arroz bajo condiciones de riego
- Indagar la disponibilidad de macro y micronutrientes en función a las alteraciones del sistema oxi-reductor en suelos cultivados con arroz bajo condiciones de riego

3. Fundamentación teórica

3.1. Alteración de las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo por fertilización.

En entornos agrícolas arroceros, los altos niveles de fertilización química nitrogenada pueden aumentar la lixiviación de nitrógeno inorgánico disuelto (NOD) (Ding et al. 2020). y causan diversos problemas ambientales, como la eutrofización del agua y la degradación del hábitat (Yang et al. 2015).

Por el contrario, la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos puede mejorar la fertilidad del suelo y reducir la pérdida de NOD. Por ejemplo, las enmiendas orgánicas, como el estiércol, pueden reducir las pérdidas de NO_3 en cultivos perennes, reducir la lixiviación de NOD en los campos de trigo de invierno (Holub et al. 2020), disminuir significativamente la lixiviación de N en los sistemas de cultivo de trigo y maíz (Zhou et al. 2016), y disminuir

significativamente la lixiviación de N en los arrozales cuando se combina con fertilizantes químicos (Nie et al. 2018).

Además, las características del suelo (una variable importante que afecta la lixiviación de N del suelo) están significativamente influenciadas por las prácticas agrícolas, como la fertilización y el riego. Sin embargo, los mecanismos de la lixiviación de N del suelo de los arrozales bajo fertilización orgánica no se han investigado en profundidad (Wang et al. 2021).

En general, la transformación y migración de iones de nutrientes están significativamente relacionadas con la capacidad de adsorción de los coloides del suelo (que tienen grandes superficies específicas y fuertes capacidades de adsorción de iones que permiten la adsorción extensiva de iones nutrientes).

Por ejemplo, el amonio (NH_4) adsorbido en las partículas del suelo puede verse afectado por un fuerte campo eléctrico alrededor de las partículas del suelo y las soluciones del suelo (Guo et al. 2019).

En un estudio Guo y otros (2019) estudiaron la aplicación de estiércol, la cual es ampliamente reconocida como un método para mejorar la estructura del suelo y la fertilidad del suelo debido a los aportes adicionales de materia orgánica y nutrientes. Sin embargo, la salinidad del estiércol animal puede tener un efecto perjudicial sobre la agregación del suelo.

Además, los cambios en las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo provocados por la fertilización orgánica relacionados con los cambios en los niveles de materia orgánica del suelo (MOS) (Leal et al. 2015), que también pueden alterar la adsorción de nutrientes y los iones de contaminación en la superficie del suelo.

Esto sugiere una relación potencialmente significativa entre la lixiviación NOD y las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo. Sin embargo, los estudios anteriores sobre la superficie de las partículas del suelo se han centrado principalmente en el desarrollo de la fertilidad del suelo bajo la restauración natural a largo plazo de los pastizales (Liu et al., 2020), junto con investigaciones sobre la lixiviación de P en el suelo.

Además, la abundancia de coloides del suelo cargados eléctricamente puede afectar el comportamiento del transporte de NH_4 a través de la unión a la superficie. Ciertos coloides pueden moverse libremente en los poros del suelo, actuando como una fase sólida móvil que controla los comportamientos de transporte de los iones adsorbidos (Ishiguro 2019).

3.2. Cambios en las propiedades electroquímicas.

3.2.1. pH

El aumento observado en el pH del suelo y de la solución como resultado de la inmersión en agua es bien conocido y se atribuye al consumo de protones durante los procesos de reducción. Sin embargo, observó que la relación entre el pH del suelo y el suelo reducción no fue sencilla (Fig. 1).

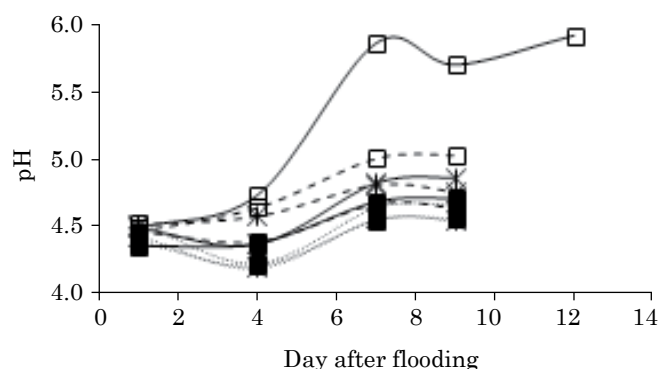


Figura 1. Cambios en el pH de suelo de arroz, y número de días después de la inundación. Fuente Copetti (2015)

Borin et al. (2016) señaló que, tras la inmersión, la producción de radicales ácidos, especialmente COO^- y radicales orgánicos, se puede compensar en parte el efecto de aumento del pH de la reducción en suelos ácidos o puede provocar una disminución del pH en el caso de suelos alcalinos.

El pH óptimo, medido en la solución del suelo, para el arroz es 6,6 en el que la liberación microbiana de N, P y su disponibilidad es alta. Los aportes de

elementos micronutrientes como Cu, Zn y Mo son adecuados y las concentraciones de productos reductores como ácidos orgánicos y Al, Mn y CO₂ están por debajo de los niveles tóxicos (Upadhyay et al. 2020).

3.2.2. Potencial redox (Eh)

El potencial redox expresado en Eh (mV) se modificó mediante la adición de nitrato de sodio. El potencial redox de los suelos fertilizados con nitratos oscila entre aproximadamente 313 y 350 mV, y fue menor en ausencia de fertilización con nitratos, oscilando entre 202 y 230 mV.

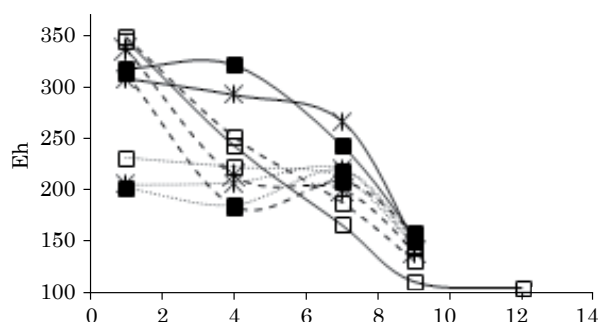


Figura 2. Potencial redox versus número de días después de la inundación. Fuente Copetti (2015)

El potencial redox se utiliza para caracterizar el costo de energía libre y la dirección de las reacciones que involucran la transferencia de electrones, una de las reacciones bioquímicas más ubicuas e importantes.

Tales reacciones de reducción-oxidación se caracterizan por un cambio de energía libre que comparte algunas características conceptuales con el uso para describir pKa en reacciones ácido-base donde la transferencia de protones está involucrada en lugar de la transferencia de electrones (Milo y Phillips 2015).

El potencial redox en los arrozales tiene un efecto profundo pero opuesto sobre la biodisponibilidad de As y Cd (Fig. 3), mientras que el pH del suelo afecta la biodisponibilidad de Cd más que la biodisponibilidad de As. Se han

caracterizado varios genes clave implicados en la absorción, translocación, secuestro y desintoxicación de As y Cd en el arroz (Zhao y Wang 2020).

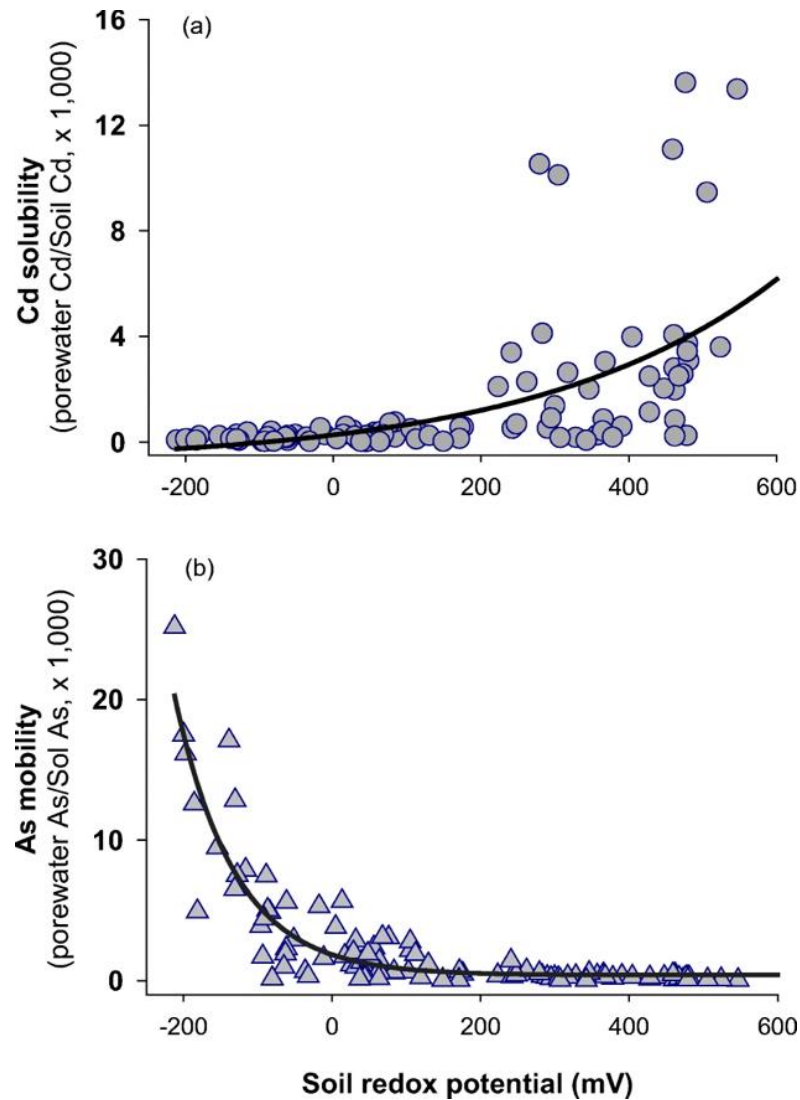


Figura 3. Relaciones entre la solubilidad del Cd y As y el potencial redox del suelo en los arrozales. Fuente Wang et al. (2019).

El potencial redox es una medida de intensidad y cambia en función de las características del suelo. Por tanto, el mismo valor puede indicar reducción en un tipo de suelo y oxidación en otro, los valores superiores a 200 mV se consideran estados de oxidación, mientras que los valores cercanos a cero significan un estado de reducción.

3.2.3. Conductividad eléctrica (CE)

Los cambios en la CE en 15 suelos se muestran en la Fig. 4. Después de 1 semana de inundación, la CE osciló entre $0,11 \text{ mS cm}^{-1}$ y $2,07 \text{ mS cm}^{-1}$, no hubo cambios apreciables con el tiempo en la CE tendencias.

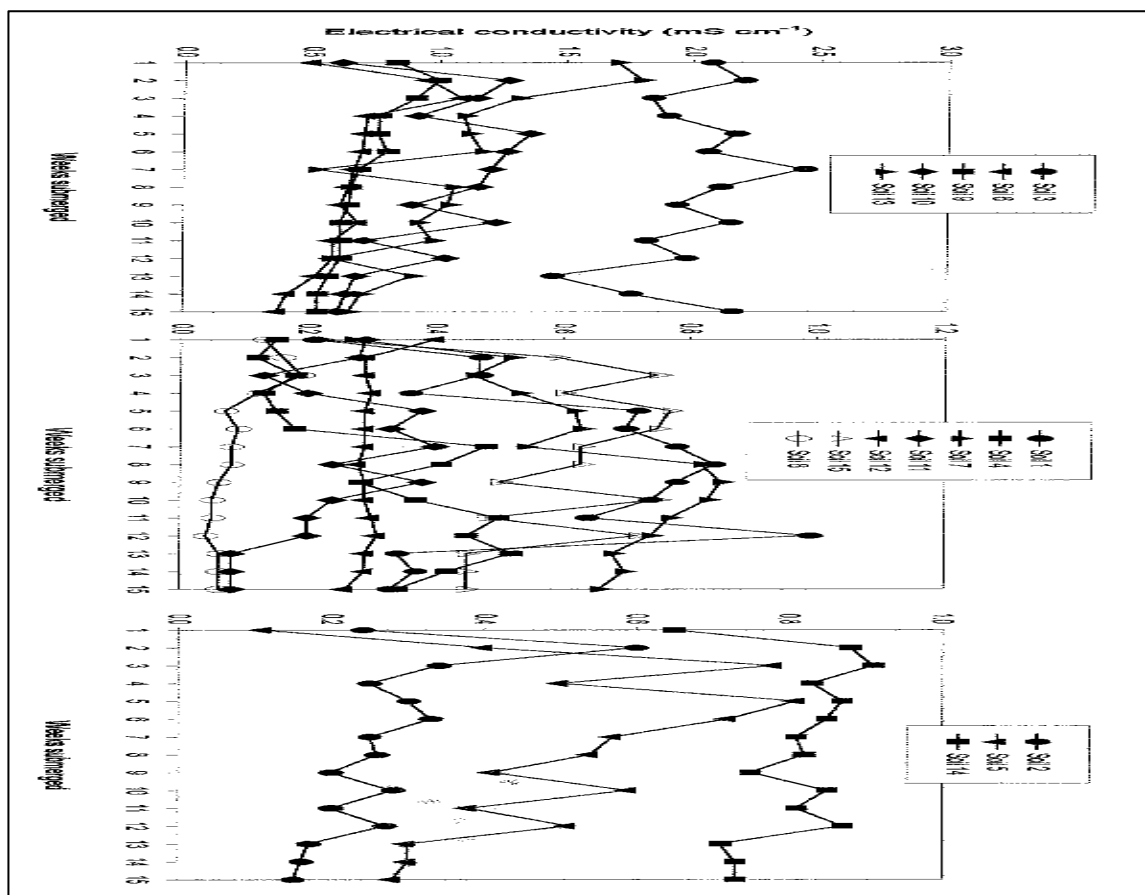


Figura 4. Cambios en la conductividad eléctrica del suelo (CE), de 15 suelos inundados de África Occidental. Fuente Narteh y Sahrawat (1999).

Considerando los 15 suelos en la cuarta semana de inundación, se encontró que la CE del suelo estaba correlacionada con las concentraciones de los cationes básicos, a saber, Ca, Mg y K en lugar de Fe, Mn o Zn (Fig. 4).

La estrecha relación que se observa entre la CE del suelo y la concentración de cationes básicos en los suelos inundados es, por tanto, muy importante y tiene una influencia directa en el uso de fertilizantes y enmiendas para la producción de arroz (Kheir et al. 2019).

3.3. Cambios en las propiedades químicas.

3.3.1. Cambios en la concentración de N.

La producción de amonio es el proceso clave para la nutrición de N del arroz de tierras bajas porque el proceso de mineralización de N se detiene en la producción de amonio en los suelos de arroz bajo agua.

Los cambios en la concentración de amonio en la solución del suelo indican que los suelos arroceros tienen un amplio rango en las cantidades de N de amonio movilizado en la solución del suelo, basado en los valores medios de amonio para arroz (Ullah et al. 2021).

3.3.1. Cambios en la concentración de P.

La mayor disponibilidad de P como resultado de las inundaciones es de gran beneficio para el arroz de las tierras bajas. Se ha demostrado que el Fe-P es la fuente más importante de P para el arroz y esta es la fracción de P que está muy influenciada por el régimen hídrico (Cedeño et al. 2018).

El aumento inicial de la solución de suelo P en suelos sumergidos se atribuye en gran parte a la reducción del fosfato férrico al fosfato ferroso más soluble y, en menor grado, al desplazamiento del fosfato por los aniones orgánicos de los fosfatos férrico y de aluminio.

La posterior disminución de P soluble es causada por la reabsorción de fosfato en superficies de absorción como arcilla e hidróxidos y un aumento en el pH (Zhang et al. 2019).

3.3.1. Cambios en la concentración de Fe.

La materia orgánica actúa como donante de electrones en la reducción de Fe y el alto contenido de materia orgánica mejora la liberación del Fe²⁺ de óxidos de Fe.

Los cambios químicos influenciados por las inundaciones incluyen la liberación de macro y micronutrientes que dependen de las características del suelo, especialmente la textura, la materia orgánica y el Fe reducible.

4. Hipótesis

Ho= Las alteraciones electroquímicas del suelo inundado afectan el normal desenvolvimiento del cultivo de arroz.

Ha= Las alteraciones electroquímicas del suelo inundado no afectan el normal desenvolvimiento del cultivo de arroz

5. Metodología de la investigación

Para el desarrollo de la presente revisión bibliográfica titulada “Alteraciones electroquímicas en suelos cultivados con arroz bajo condiciones de riego” se obtuvo información de artículos científicos, revistas, libros y demás fuentes confiables.

La información relacionada con el tema propuesto se copiló bajo técnicas de análisis, parafraseo, síntesis y resumen, tratando que esta información referente sea comprendida por el lector.

CAPITULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6. Desarrollo del caso

Los suelos de los humedales son predominantemente libres de oxígeno, incluidos los pantanos, los humedales costeros, las llanuras aluviales, etc. y son de importancia mundial para el cultivo del arroz.

Los cambios químicos ocurren debido a cambios en las propiedades electroquímicas y también por microorganismos anaeróbicos. Los microorganismos anaeróbicos juegan un papel clave en provocar transformaciones de nutrientes con una tendencia general de aumento en el pH del suelo, conductividad eléctrica y fuerza iónica, pero disminuyen el potencial redox en suelos anegados.

Los suelos tropicales anegados se caracterizan por tener una carga predominantemente variable.

Se sabe que muchas prácticas de manejo comúnmente utilizadas en la explotación de estos suelos (por ejemplo, encalado, aplicación de fosfato y abono) modifican su carga eléctrica y el comportamiento de cationes y aniones. Este proceso está, al menos, parcialmente gobernado por las cargas existentes en el sistema del suelo.

6.1. Situaciones detectadas

Existe el riesgo de una posible acumulación en el suelo de contaminantes orgánicos e inorgánicos emergentes, producto de la utilización de fertilizantes en suelos de arroz.

Estudios sugieren que la fertilización orgánica sustancial continua puede

disminuir principalmente la lixiviación temprana de N de los arrozales cultivados sobre riego al alterar las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo.

Las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo se pueden establecer como un factor interno para predecir la migración de iones del suelo en sistemas agrícolas.

El aumento de la carga de la superficie del suelo por fertilización, la densidad de carga de la superficie, el potencial de la superficie y la intensidad del campo eléctrico de la superficie aumentó la retención de NH_4^+ .

6.2. Soluciones planteadas

Se prevé la reutilización de efluentes para riego de suelos cultivados con arroz como una posible estrategia para mitigar la presión sobre los recursos hídricos.

Procesos que ayuden a la restauración natural a largo plazo de los suelos contribuirá a mejorar la capacidad de intercambio catiónico y la superficie específica del mismo.

Entender y estudiar la química de los suelos sumergidos para:

(a) para comprender los problemas del suelo, que limitan los rendimientos de las variedades de arroz de alto rendimiento, y

(b) para evaluar el papel de los sedimentos de ríos y otros efluentes como reservorios de nutrientes para las plantas acuáticas y como sumideros de desechos.

7. Conclusiones

Pocos estudios se han centrado directamente en los mecanismos internos de las propiedades electroquímicas de la superficie del suelo que controlan la pérdida por lixiviación de N en los arrozales bajo fertilización.

La fertilización orgánica disminuyó significativamente la lixiviación de DIN del suelo de arroz al tiempo que mejora las propiedades físicas y electroquímicas de la superficie del suelo.

La comprensión de la influencia de las inundaciones sobre las propiedades electroquímicas y químicas de los suelos proporciona información necesaria para la mejora gestión para la producción de arroz.

En general, la revisión muestra que los suelos inundados afectan los procesos electroquímicos y químicos que, a su vez, afectan la fertilidad del suelo de manera dinámica.

Los principales cambios electroquímicos que afectan la fertilidad del suelo incluyen una disminución del potencial redox y cambios en el pH del suelo y de la solución de este.

Estos cambios están controlados principalmente por la materia orgánica y el contenido de Fe reducible de los suelos.

Los cambios químicos influenciados por las inundaciones incluyen la liberación de macro y micronutrientes que dependen de las características del suelo, especialmente la textura, la materia orgánica y el Fe.

8. Recomendaciones

La adopción generalizada del uso de fuentes de N de baja pérdida podría convertirse en una solución clave para la reducción futura de la contaminación ambiental por N y los insumos agrícolas de N.

La toma de decisiones relacionada con las aplicaciones de nitrógeno (N) basada únicamente en la experiencia histórica todavía está muy extendida en países en vías de desarrollo como Ecuador.

Mapeo de calidad de suelos actualizada, basada en estudios y muestras del Instituto de Investigaciones (INIAP).

BIBLIOGRAFÍA

Borin, JBM; Carmona, F de C; Anghinoni, I; Martins, AP; Jaeger, IR; Marcolin, E; Hernandez, GC; Camargo, ES. 2016. Soil solution chemical attributes, rice response and water use efficiency under different flood irrigation management methods (en línea). *Agricultural Water Management* 176:9–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.021>.

Buresh, RJ; Haefele, SM. 2010. Soil Solutions for a Changing World Changes in paddy soils under transition to water-saving and diversified cropping systems. *In 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. Brisbane, s.e. p. 4.

Cedeño, J; Cedeño, G; Alcívar, J; Cargua, J; Cedeño, F; Cedeño, G; Constante, G. 2018. Increase of yield and nutritional quality of rice with NPK fertilization complemented with micronutrients. *Scientia Agropecuaria* 9(4). DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.05>.

Ding, W; Xu, X; He, P; Zhang, J; Cui, Z; Zhou, W. 2020. Estimating regional N application rates for rice in China based on target yield, indigenous N supply, and N loss (en línea). *Environmental Pollution* 263:114408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114408>.

Fageria, NK; Carvalho, GD; Santos, AB; Ferreira, EPB; Knupp, AM. 2011. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability (en línea). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(16):1913–1933. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.591467>.

Guo, Z; Zhang, J; Fan, J; Yang, X; Yi, Y; Han, X; Wang, D; Zhu, P; Peng, X. 2019. Does animal manure application improve soil aggregation? Insights from nine long-term fertilization experiments (en línea). *Science of The Total*

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.051>.

Holub, P; Klem, K; Tůma, I; Vavříková, J; Surá, K; Veselá, B; Urban, O; Záhora, J. 2020. Application of organic carbon affects mineral nitrogen uptake by winter wheat and leaching in subsoil: Proximal sensing as a tool for agronomic practice. *Science of the Total Environment* 717. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137058>.

Ishiguro, M. 2019. Water, solute transport, and interfacial electric phenomena in soils (en línea). *Soil Science and Plant Nutrition* 65(3):223–227. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1601501>.

Kheir, AMS; Abouelsoud, HM; Hafez, EM; Ali, OAM. 2019. Integrated effect of nano-Zn, nano-Si, and drainage using crop straw–filled ditches on saline sodic soil properties and rice productivity. *Arabian Journal of Geosciences* 12(15). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4653-0>.

Leal, O dos A; Castilhos, RMV; Pauletto, EA; Pinto, LFS; Pillon, CN; Penning, LH; Santos, DC dos. 2015. Organic Matter Fractions and Quality of the Surface Layer of a Constructed and Vegetated Soil After Coal Mining. II - Physical Compartments and Carbon Management Index. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* . DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140784>.

Linh, TB; Sleutel, S; Vo Thi, G; Le Van, K; Cornelis, WM. 2015. Deeper tillage and root growth in annual rice-upland cropping systems result in improved rice yield and economic profit relative to rice monoculture (en línea). *Soil and Tillage Research* 154:44–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.011>.

Milo, R; Phillips, R. 2015. » What is the redox potential of a cell? s.l., s.e.

Narteh, LT; Sahrawat, KL. 1999. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. *Geoderma* 87(3–4). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00053-6).

Nie, S; Zhao, L; Lei, X; Sarfraz, R; Xing, S. 2018. Dissolved organic nitrogen distribution in differently fertilized paddy soil profiles: Implications for its potential loss. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.015>.

da Rosa, CM; Castilhos, RMV; Pauletto, EA; Pillon, CN; dos Anjos Leal Leal, O. 2011. Content of soil organic carbon in albaqualf soil: Influence of irrigated rice management | Conteúdo de carbono orgânico em planossolo háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* .

Schmidt, F; Fortes, M de Á; Wesz, J; Buss, GL; Sousa, RO de. 2013. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento (en línea). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37(5):1226–1235. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500012>.

SOSBAI. 2018. Arroz Irrigado - Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil (2018). Embrapa Clima Temperado :205.

Ullah, S; Ali, I; Liang, H; Zhao, Q; Wei, S; Muhammad, I; Huang, M; Amanullah; Ali, N; Jiang, L. 2021. An approach to sustainable agriculture by untangling the fate of contrasting nitrogen sources in double-season rice grown with and without biochar. *GCB Bioenergy* 13(3). DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12789>.

Upadhyay, MK; Majumdar, A; Suresh Kumar, J; Srivastava, S. 2020. Arsenic in Rice Agro-Ecosystem: Solutions for Safe and Sustainable Rice Production. s.l., s.e., vol.4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00053>.

Wang, P; Chen, H; Kopittke, PM; Zhao, F-J. 2019. Cadmium contamination in agricultural soils of China and the impact on food safety (en línea). *Environmental Pollution* 249:1038–1048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.063>.

Wang, Q; Wen, J; Wen, Y; Zhang, Y; Zhang, N; Wang, Y; Bai, L; Su, S; Zeng, X. 2021. Alteration of soil-surface electrochemical properties by organic fertilization to reduce dissolved inorganic nitrogen leaching in paddy fields (en línea). *Soil and Tillage Research* 209:104956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104956>.

Yang, X-R; Li, H; Nie, S-A; Su, J-Q; Weng, B-S; Zhu, G-B; Yao, H-Y; Gilbert, JA; Zhu, Y-G. 2015. Potential Contribution of Anammox to Nitrogen Loss from Paddy Soils in Southern China (en línea). *Applied and Environmental Microbiology* 81(3):938–947. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02664-14>.

Zhang, X; Hou, J; Wang, X; Zhang, Z; Dai, F; Wang, J; Wei, C. 2019. High soil redox potential contributes to iron deficiency in drip-irrigated rice grown in calcareous Fluvisol (en línea). *Plant, Soil and Environment* 65(No. 7):337–342. DOI: <https://doi.org/10.17221/178/2019-PSE>.

Zhao, F-J; Wang, P. 2020. Arsenic and cadmium accumulation in rice and mitigation strategies (en línea). *Plant and Soil* 446(1–2):1–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04374-6>.

Zhou, M; Zhu, B; Brüggemann, N; Dannenmann, M; Wang, Y; Butterbach-Bahl, K. 2016. Sustaining crop productivity while reducing environmental nitrogen losses in the subtropical wheat-maize cropping systems: A comprehensive case study of nitrogen cycling and balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.022>.