

---

## USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN ARROZ IRRIGADO EN UN SUELO DE LA SERIE CALABOZO

*Utilization of nitrogen fertilizer in paddy rice, in a soil of the Calabozo serie*

M. Barrios<sup>1</sup> y M. Adams<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Agronomía Facultad de Agronomía Universidad Central de Venezuela

<sup>2</sup> Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela Apartado 4579, Maracay 2101, Venezuela.

---

### Resumen

Para conocer las dinámicas de algunas variables químicas y electroquímicas en suelos inundados, se realizaron ensayos con tres objetivos principales: a) Estudiar las características químicas de un suelo del Sistema de Riego Río Guárico, clasificado como Entic chromustert; b) Determinar el efecto de los tratamientos sobre las dinámicas de diferentes formas nitrogenadas bajo condiciones de inundación; c) Obtener información acerca de la optimización en el manejo integrado de la fertilidad en el cultivo de arroz de riego. Se llevaron a cabo ensayos a nivel de invernadero y campo, probando diferentes dosis y épocas de aplicación del fertilizante, lo cual permitió conocer los principales procesos reguladores involucrados en los cambios de concentración del nitrógeno amoniacal en suelos inundados. Un último experimento para obtener información acerca del

manejo de los fertilizantes confirmó la influencia de su sistema de manejo (forma, dosis y época de aplicación) sobre el aprovechamiento del nitrógeno. La forma de aplicación fraccionada del fertilizante nitrogenado permite a la planta hacer un uso más eficiente de éste, comprobándose además, que dosis muy elevadas de fertilizante no se convierten en mayores rendimientos en materia seca.

**Palabras claves:** Cinéticas químicas, Nitrógeno, Fertilización, Arroz, Calabozo.

### Abstract

To study the kinetics of some electrochemical and chemical variables in flooded rice soils, experiments were conducted with three main objectives: a) To know the chemical characte-

ristics of a soil of the Guárico River Irrigation System classified as Entic Chromustert; b) To determine the effect of the treatments on the dynamics of different nitrogen forms under flooded conditions, and c) To obtain information about optimization in the fertility integrated management in paddy rice. Essays were carried out at two levels: greenhouse and field, trying different rates and time of application of fertilizer, which allowed to know the main regulation process involved in the concentration changes of ammonia in flooded soils. The last experiment to obtain information about fertilizers management,

## INTRODUCCIÓN

En la última década, la producción, rendimiento y área cultivada de arroz, se han incrementado en Venezuela, donde existen alrededor de dieciocho millones de hectáreas de suelos mal drenados o sujetos a inundación durante ciertos períodos del año y que cuentan con las condiciones necesarias para la producción de arroz.

Considerando que el arroz podría convertirse en el cereal más importante desde el punto de vista del consumo humano, se han realizado muchos esfuerzos encaminados a aumentar los rendimientos; gran parte de estos esfuerzos han sido orientados hacia la utilización eficiente del fertilizante nitrogenado aplicado al suelo (Rivillo, 1986); esto se ha debido principalmente a que el uso de este fertilizante puede aumentar sustancialmente los rendimientos del arroz, tomando en consideración que la eficiencia de uso del nitrógeno va a variar con las características de la planta y con las condiciones ambientales (Oaks, 1994). Se ha comprobado además que, si no se corrigen las elevadas pérdidas de nitrógeno y la baja eficiencia en su uso, gran parte de los beneficios potenciales del fertilizante, podrían no ser aprovechados.

Este trabajo fue realizado con el objetivo principal de conocer las dinámicas químicas de diferentes formas inorgánicas de nitrógeno en el uso eficiente de los fertilizantes por el arroz de riego.

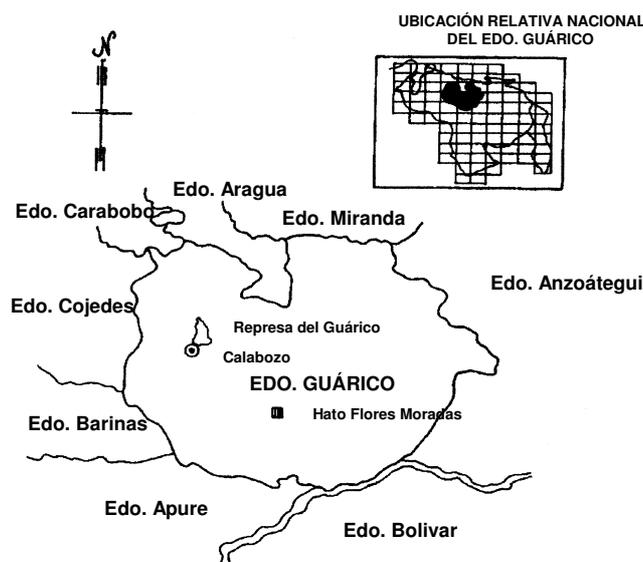
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio está ubicada en el Sistema de Riego Río Guárico, Calabozo, estado Guárico, Venezuela. Se utilizó un suelo Entic Chromustert perteneciente a la Serie Calabozo (pH 5,9; CO 1,27 %; N total 0,052%; CIC 20,8 cmol.kg<sup>-1</sup>; Capacidad de suministro de N 48 Kg/ha/ciclo de cultivo), el cual fue muestreado a 30 cm de profundidad en un área de 1 hectárea, perteneciente a una unidad de producción de arroz bajo riego, ubicada en el hato "Flores Moradas", a 50 Km de Calabozo (Figura 1).

confirmed the influence of the fertilizer management system (form, rate and time of application), on nitrogen uptake. The fractionated application form of nitrogen fertilizer, allows to the plant to make a more efficient use of the fertilizer; and it was confirmed that high rates of fertilizer do not become in highest yields in dry matter.

**Key words:** Chemical kinetics, Nitrogen, Fertilization, Rice, Calabozo.



**Figura 1.** Ubicación del suelo Entic Chromustert utilizado en los experimentos realizados.

### Estudio controlado a nivel de invernadero

#### Montaje del experimento

Se utilizaron recipientes de plástico (60 l), con dos sistemas de extracción (Figura 2):

a) Sistema de extracción a nivel radical: un tubo de polivinil genérico (PVC) perforado (1,5 cm de diámetro y 20 cm de largo), forrado con tela geotextil (SUPAC), fue utilizado como extractor de la muestra de solución de suelo. El tubo fue colocado a 20 cm de la base del recipiente y ambos extremos fueron sellados con tapones de goma.

b) Sistema de extracción a nivel sobrenadante: Se utilizó un tubo PVC perforado (1,5 cm de diámetro y 30 cm de largo), cubierto con tela geotextil (SUPAC), colocado a 10 cm del borde superior del recipiente .

Una vez ensamblados todos los recipientes, se agregó el suelo y se inundó con agua desmineralizada dejando un sobrenadante de 10 cm de altura.

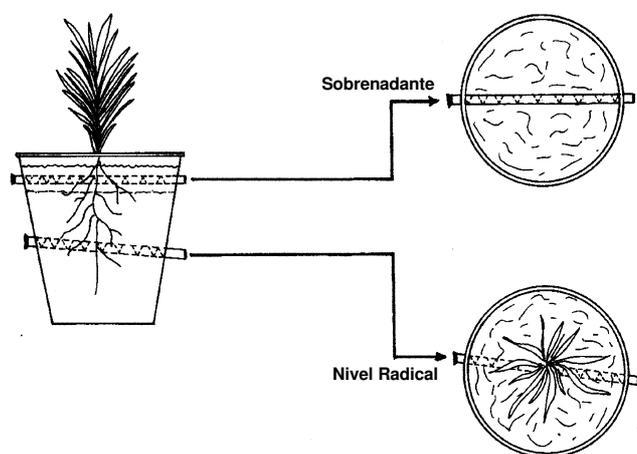
## Tratamientos de fertilización

Se utilizó un diseño de tratamiento con arreglo factorial y se realizaron dos tratamientos de fertilización, con dos réplicas y un testigo. Se utilizaron las mismas dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, aplicadas en dos formas: Incorporación superficial ( $120 \text{ Kg N.ha}^{-1}$  como urea;  $20 \text{ Kg P.ha}^{-1}$  como SFT, y  $30 \text{ Kg K.ha}^{-1}$  como KCl), aplicadas la mitad a la siembra y la otra mitad en el rebono, y aplicación fraccionada ( $120 \text{ Kg N.ha}^{-1}$  como urea en tres fracciones, 15, 32 y 62 días después de la inundación). El tratamiento testigo no fue fertilizado.

### Extracción y análisis de la solución de suelo

Las muestras de solución de suelo se recogieron en un envase de plástico de 60 ml, en cuyas tapas se adaptaron dos mangueras de 1 cm de diámetro. Una de las mangueras se sumergió en un vaso de precipitado con agua y otra, cuya longitud se adaptaba al sistema de extracción radical, permitió evacuar el aire del recipiente, utilizando nitrógeno. Posteriormente, la manguera sumergida en agua se acopló al tubo de extracción y la otra se cerró mediante una pinza. A medida que la solución de suelo iba llenando el recipiente, desplazaba el nitrógeno a través de la manguera sumergida en agua.

Las muestras de solución de suelo se sometieron a determinaciones de pH, utilizando un electrodo de vidrio combinado y un potenciómetro Methron – Herisau E-520; Eh, a través de un electrodo de platino, conectado al mismo potenciómetro. Posteriormente se realizaron determinaciones de  $\text{NH}_4^+$ , por un sistema de flujo continuo, y de  $\text{Fe}^{++}$  por espectrofotometría de absorción atómica.



**Figura 2.** Sistemas de extracción utilizados en el experimento de invernadero.

Esta metodología de extracción de la solución de suelo fue desarrollada y probada en el Laboratorio de Química de Suelos de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

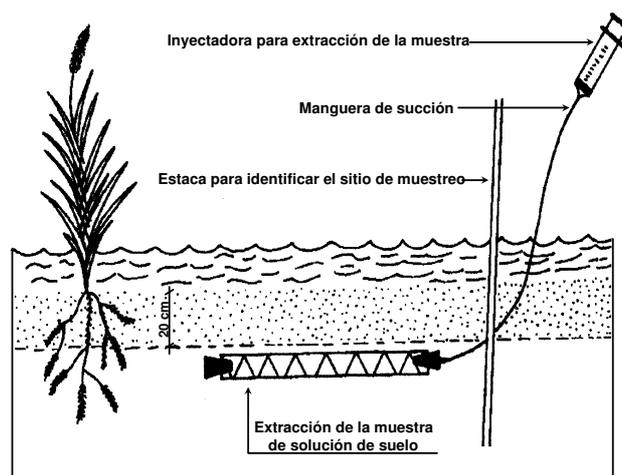
### *Estudio controlado a nivel de campo*

Se llevó a cabo en un área de arroz bajo riego ubicada

a 30 Km. de Calabozo, Estado Guárico. Esta área fue dividida en 39 parcelas de  $45 \times 6 \text{ m}$ .

### Sistema de extracción

La solución de suelo se extrajo a través de un tubo PVC perforado (1,5 cm de diámetro y 20 cm de largo), recubierto con tela geotextil (SUPAC). Los extremos del tubo se sellaron con tapones de goma, a uno de los cuales se adaptó una manguera (1 cm de diámetro y 1 m de largo), que sobresalía del agua sobrenadante. La figura 3 muestra el sistema de extracción.



**Figura 3.** Sistema de extracción en el campo.

### Tratamientos de fertilización

Se utilizaron los mismos tratamientos que en el experimento de invernadero, empleando las mismas fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio. Se probó además una dosis de  $150 \text{ Kg N.ha}^{-1}$ . El nitrógeno fue aplicado la mitad a la siembra, un cuarto a los 20 días y el resto a los 60 días de la inundación del campo. El P y el K se aplicaron la mitad a la siembra y la mitad a los 30 días de la inmersión.

### Extracción y análisis de la solución de suelo

Una inyectadora (25 cc) se acopló al extremo final de la manguera de extracción para la toma de la muestra, la cual se recogió en envases plásticos (40 ml). Posteriormente, a las muestras acidificadas con  $\text{HCl } 0,01 \text{ N}$ , se les practicaron determinaciones de  $\text{NH}_4^+$ , a través de un sistema de flujo continuo, y de  $\text{Fe}^{++}$  por espectrofotometría de absorción atómica.

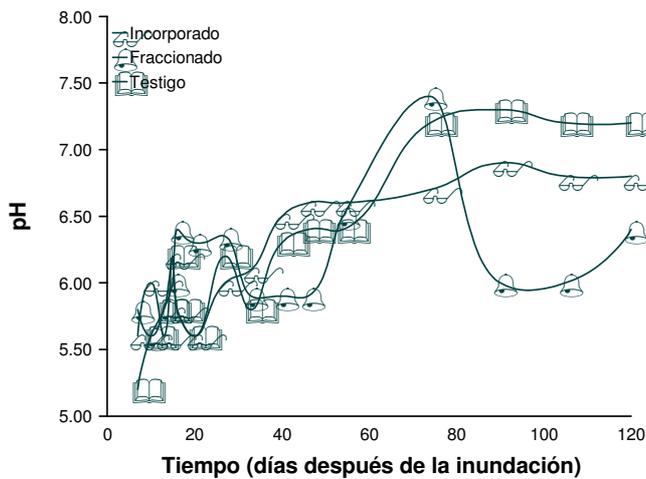
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Estudio controlado a nivel de invernadero*

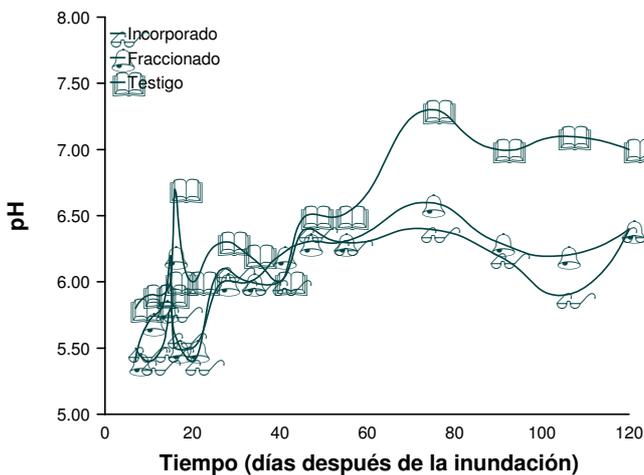
#### Cinéticas físicoquímicas y químicas en el perfil de suelo

Los resultados obtenidos a nivel de invernadero permiten caracterizar el comportamiento del pH en el suelo cuando es sometido a condiciones de anoxia (Figuras 4 y 5).

Los aumentos de pH están relacionados con el aumento del  $\text{OH}^-$ , causado por la reducción de  $\text{Fe}^{+++}$  a  $\text{Fe}^{++}$  (Ponamperuma, 1985). Por otra parte, las disminuciones se deben a un aumento de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  en los tratamientos con planta, y un consiguiente aumento de iones  $\text{H}^+$  y ácidos orgánicos (Beye *et al.*, 1979). Estas variaciones del pH podrían entonces ser atribuidas a reacciones de óxido-reducción entre la materia orgánica del suelo y el hidróxido férrico, conducentes a la formación de Fe ferroso y  $\text{CO}_2$ ; estas reacciones disminuyen además las concentraciones de  $\text{H}^+$  en la solución, elevándose el pH; al aumentar posteriormente el contenido de  $\text{CO}_2$  se presenta una disminución del pH (Guillobez, 1989).



**Figura 4.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del pH en el nivel radical (con cultivo) del suelo Calabozo tratado con  $120 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , en condiciones de invernadero.

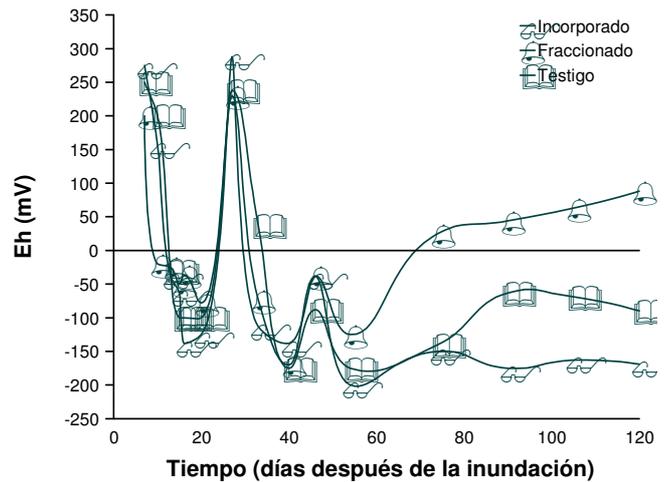


**Figura 5.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del pH en el nivel radical (sin cultivo) del suelo Calabozo tratado con  $120 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , en condiciones de invernadero.

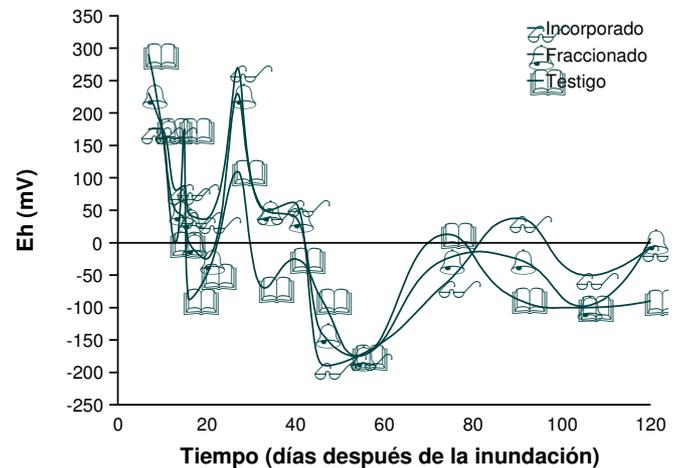
El status del pH en los suelos inundados juega además un importante papel en la absorción del  $\text{NH}_4^+$  por las células del

arroz; Karasawa *et al.* (1994), encontraron que el  $\text{NH}_4^+$  es activamente absorbido por las células de las raíces del arroz y que hay dos sistemas de transporte en la membrana de la célula, lo cual estaría asociado con un gradiente electroquímico, es decir, la suma del gradiente de pH y el potencial de la membrana, generado por la enzima  $\text{H}^+$ -ATPasa, donde el gradiente de pH es mucho más importante para el transporte que el potencial de la membrana.

El análisis del comportamiento del Eh en este experimento permitió descubrir variaciones durante todo el período de inundación en todos los tratamientos (Figuras 6 y 7).



**Figura 6.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del Eh en el nivel radical (con cultivo) del suelo Calabozo tratado con  $120 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , en condiciones de invernadero.

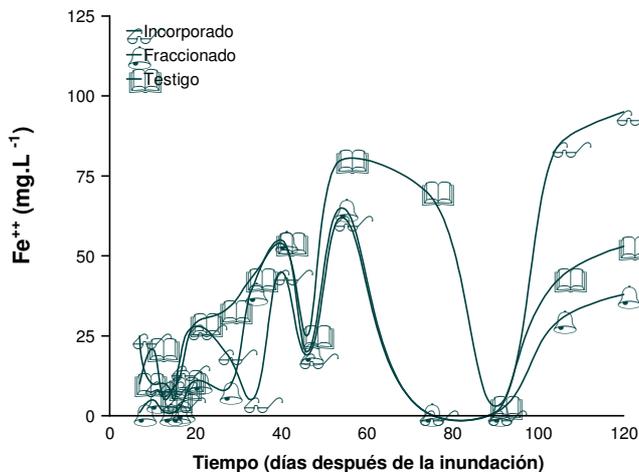


**Figura 7.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del Eh en el nivel radical (sin cultivo) del suelo Calabozo tratado con  $120 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , en condiciones de invernadero.

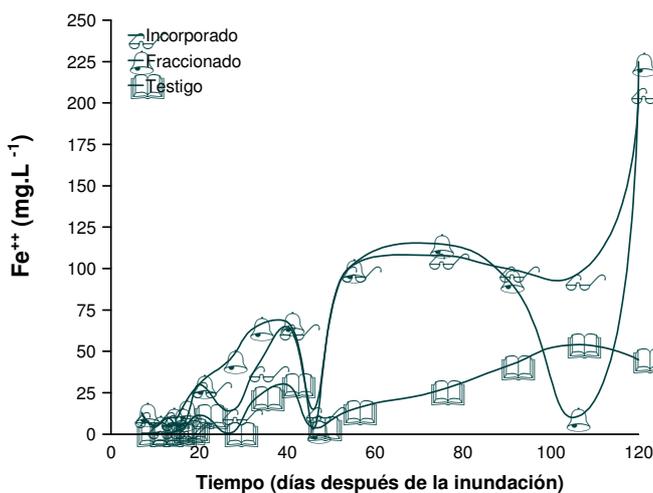
A partir de los 45 días la reducción es total en los tratamientos con cultivo debido al crecimiento de organismos reductores, condición que además se ve favorecida por la presencia de materia orgánica en el suelo, bajo contenido de  $\text{NO}_3^-$ ,

MnO<sub>2</sub> y temperaturas cercanas a 35 °C (Ponnamperuma, 1985). Es evidente entonces que la disminución de los valores de Eh como resultado inmediato de la inundación del suelo es determinante en las pérdidas de N durante el crecimiento del cultivo, ya que, a bajos valores de Eh, se favorece el proceso de denitrificación (Pedrazzini, 1983).

Con respecto a la cinética del Fe<sup>++</sup>, se apreciaron variaciones a lo largo del período de inundación. Las disminuciones en las concentraciones de Fe<sup>++</sup>, se deben a la precipitación del Fe soluble. Se observó además que, el tratamiento con fertilizante incorporado con cultivo, alcanza concentraciones mayores de Fe<sup>++</sup> en relación al tratamiento fraccionado con cultivo (200 y 90 mg.l<sup>-1</sup>, respectivamente), lo cual indicaría la influencia del fertilizante sobre la actividad de la microflora reductora de Fe<sup>+++</sup> (Figuras 8 y 9).

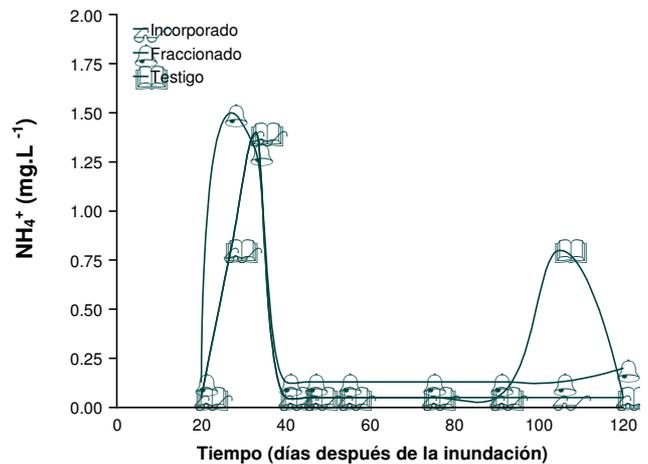


**Figuras 8.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del Fe<sup>++</sup> en el nivel radical (con cultivo) del suelo Calabozo tratado con 120 kg N.ha<sup>-1</sup>, en condiciones de invernadero.

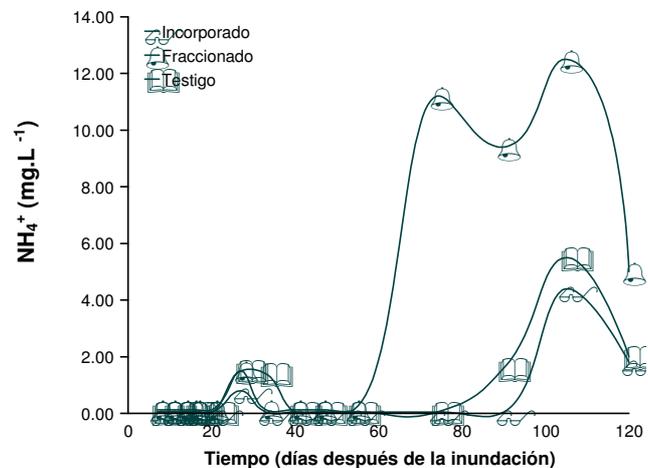


**Figuras 9.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del Fe<sup>++</sup> en el nivel radical (sin cultivo) del suelo Calabozo tratado con 120 kg N.ha<sup>-1</sup>, en condiciones de invernadero.

El aumento general en el tiempo de los contenidos de Fe está relacionado con el agotamiento superficial de los óxidos de manganeso y una fuerte actividad reductora de los óxidos de hierro (Rivillo, 1986). Con respecto a la dinámica del NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, se observaron bajos niveles de N amoniacal, aún en los tratamientos fertilizados (Figuras 10 y 11), comportamiento relativo a suelos de textura fina y moderadamente pobres, como el estudiado. El aumento inicial observado coincide con la colocación del fertilizante y con la fase vegetativa del cultivo.



**Figuras 10.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el nivel radical (con cultivo) del suelo Calabozo tratado con 120 kg N.ha<sup>-1</sup>, en condiciones de invernadero.



**Figura 11.** Efecto del cultivo sobre la dinámica del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el nivel radical (sin cultivo) del suelo Calabozo tratado con 120 kg N.ha<sup>-1</sup>, en condiciones de invernadero.

Los tratamientos fertilizados y sin cultivo presentaron una concentración de amonio mucho más baja. En los tratamientos con cultivo, cuando éste entra en su fase reproductiva, las concentraciones disminuyen significativamente, debido a una elevada utilización del amonio transferido desde la capa superior a la rizósfera donde puede ser absorbido por la planta (Ando *et al*, 1996), y fijación por las arcillas minerales (De

Datta, 1987). Se encontró además que la forma de aplicación fraccionada del fertilizante permite una mayor disponibilidad de N amoniacal para el cultivo, comprobado a través de un mayor rendimiento en materia seca y mayor contenido de N en la planta (Cuadro 1). Experimentos llevados a cabo por Ando *et al* (1996) demuestran además que, bajo ciertas condiciones, el principal factor responsable de las pérdidas de N no se relaciona con la volatilización del amonio, sino con procesos de denitrificación-nitrificación. Beye *et al.* (1979), encontraron que los niveles mas bajos de  $\text{NH}_4^+$  coinciden con los niveles más altos de  $\text{NO}_3^-$ ; esto se atribuye a que el  $\text{NH}_4^+$  no absorbido por la planta difunde a la capa superficial aeróbica del suelo y se oxida a  $\text{NO}_3^-$ .

**Cuadro 1.** Rendimiento en materia seca y contenido de N total en la planta, obtenidos en el ensayo controlado de invernadero, suelo Calabozo, en función del sistema de manejo del fertilizante nitrogenado.

Fertilizante Incorporado		Fertilizante Fraccionado				Sin Fertilizante					
Peso seco g.pote <sup>-1</sup>	N Total %	Peso seco g.pote <sup>-1</sup>	N Total %	Peso seco g.pote <sup>-1</sup>	N Total %	Peso seco g.pote <sup>-1</sup>	N Total %	Peso seco g.pote <sup>-1</sup>	N Total %		
T+H	P										
30	41	0,8	1,6	30	45	1,7	1,5	11	20	0,8	1,3

T + H: Tallos + Hojas ; P: Panojas.

#### Estudio controlado a nivel de campo

##### Cinéticas físicoquímicas y químicas en el nivel radical (0 – 20 cm)

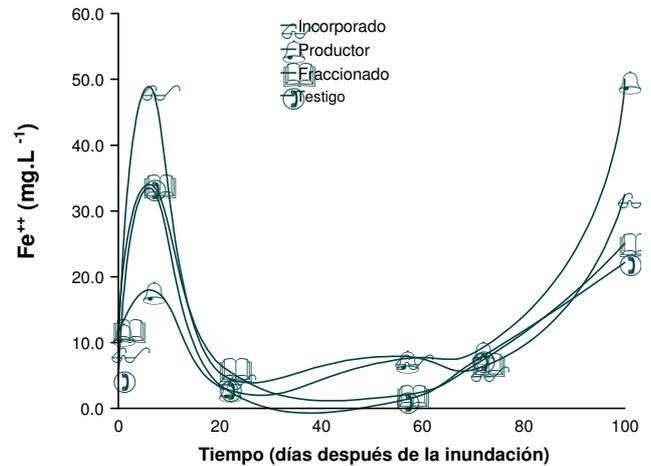
Se observó un aumento en las concentraciones de Fe durante los primeros 15 días de inundación (Figuras 12 y 13), con un descenso posterior de las concentraciones, en todos los tratamientos, probablemente asociado con fenómenos de precipitación de compuestos de Fe soluble o fácilmente reducibles ( $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}^{++}$ ) (Beye *et al.*, 1979).

Posteriormente, las concentraciones de Fe disminuyen, lo cual estaría asociado con fenómenos de precipitación de Fe soluble a  $\text{FeCO}_3$ . El drenado y posterior reinundación del campo a los cuarenta y cincuenta días después de la inundación respectivamente, devuelven el suelo a sus condiciones iniciales, elevándose nuevamente las concentraciones de Fe por reducción o solubilización, aún en el tratamiento testigo.

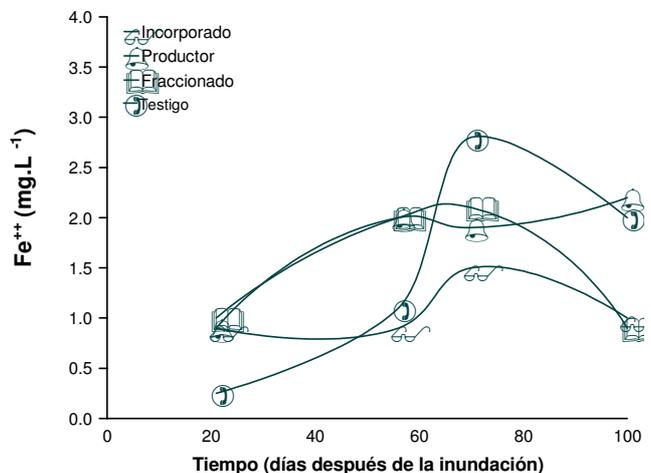
Los valores de  $\text{NH}_4^+$  durante los primeros 20 días de la estación de crecimiento del arroz, alcanzan valores entre 2 y 4  $\text{mg.l}^{-1}$  en los diferentes tratamientos (Figuras 14 y 15).

Después de los 20 días hay una reducción de los niveles de amonio, precedente a un nuevo aumento después de la reinundación del campo a los cincuenta días después de la inundación, el cual había sido drenado a los 40 días. Se obtuvieron mayores concentraciones en los tratamientos fertilizados en re-

lación al testigo con cultivo. La reducción de los niveles de amonio después de los 20 días de inundación puede ser debido a que el  $\text{NH}_4^+$  presente en la capa superficial del suelo pudo ser oxidado a  $\text{NO}_3^-$ , el cual al moverse hacia la capa anaeróbica, fue sometido a denitrificación (De Datta, 1987).



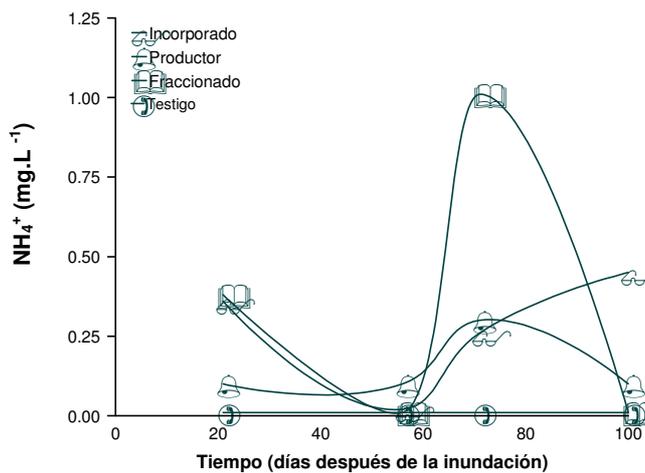
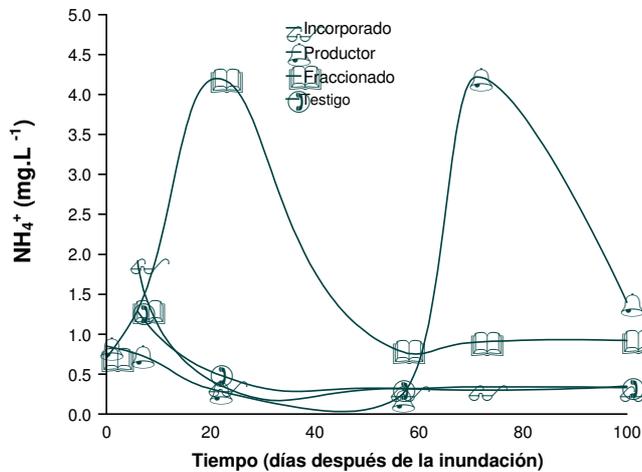
**Figura 12.** Efecto del tratamiento de fertilización sobre la dinámica del  $\text{Fe}^{++}$  en el nivel radical del suelo Calabozo, en condiciones de campo.



**Figura 13.** Efecto del tratamiento de fertilización sobre la dinámica del  $\text{Fe}^{++}$  en el sobrenadante del suelo Calabozo, en condiciones de campo.

Después de la reinundación del campo a los cincuenta días después de la inundación, se apreció un aumento en los niveles de amonio, probablemente debido a procesos de amonificación. Este amonio es rápidamente aprovechado por la planta en su etapa reproductiva, manteniéndose bajos los niveles de amonio en la solución del suelo. Esta rápida absorción del

amonio ocurre mediante un sistema que opera a través de la membrana celular y no por un simple mecanismo de difusión (Karasawa *et al.*, 1994); la determinación exacta de este mecanismo de absorción podría ser de gran ayuda en la utilización más eficiente del fertilizante por el arroz de riego, ya que ésta es la forma disponible del N en los suelos inundados.



**Figura 14.** Efecto del tratamiento de fertilización sobre la dinámica del  $\text{NH}_4^+$  en el nivel radical del suelo Cala-bozo, en condiciones de campo.

**Figura 15.** Efecto del tratamiento de fertilización sobre la dinámica del  $\text{NH}_4^+$  en el sobrenadante del suelo Cala-bozo, en condiciones de campo.

Estos regímenes alternados de secado y reinundación pueden tener importancia en el desarrollo de las raíces, el cual está fuertemente influenciado por las fluctuaciones en la profundidad de la mesa de agua (Mishra *et al.*, 1997). A este respecto, estos autores recomiendan la adopción de regímenes intermitentes de riego en lugar de inmersión continua, con el fin de lograr el rendimiento óptimo

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman la influencia del sistema de manejo del fertilizante (forma, dosis y época de aplicación) sobre el aprovechamiento del nitrógeno, que se traduce en mayor contenido de nitrógeno total en la planta y rendimiento en materia seca.

La oxidación del  $\text{N-NH}_4^+$  juega un papel importante en la disminución de los niveles de nitrógeno disponible para la planta durante la mitad y el final de la estación de crecimiento del arroz, comprobándose que el aporte de fertilizantes nitrogenados contribuye a la reconstitución del contenido de N en este suelo, dependiendo del estado de desarrollo del cultivo.

La forma de aplicación fraccionada del fertilizante nitrogenado permite a la planta una mayor disponibilidad de este elemento, comprobándose además que, dosis muy elevadas de fertilizante no se convierten necesariamente en mayor rendimiento en materia seca, al compararse con dosis menores aplicadas en forma fraccionada.

Finalmente, la naturaleza dinámica que adquiere el suelo después de la inundación constituye un aspecto importante para su productividad y adecuado manejo del cultivo de arroz. La noción del equilibrio iónico y del equilibrio entre los productos de transformación, constituyen los principales problemas existentes en los suelos inundados.

## AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, por haber aportado los recursos económicos para el financiamiento de esta investigación (Proyecto 01-33-2399-90).

## LITERATURA CITADA

- Ando, H., C. Mihara., K. Kakuda y G. Wada.** 1996. The fate of ammonium nitrogen applied to flooded Rice as affected by zeolite addition. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42(3), 531-538.
- Beye, G., M. Toure y G. Aried.** 1979. Etude de la chemie des principaux sols submerges de Base Casamance en relation avec le developpement et la nutrition minerale du riz. *Agron. Trop.* XXXIV (3): 271-300.
- De Datta, S.K.** 1987. Nitrogen transformation processes in relation to improved cultural practices for lowland rice. *Plant and Soil.* 100: 47-69.
- Guillobez, S.** 1989. Variation du pH et du bilan des ions majeurs. Conduite de la riziculture aquatique dans les sols a fort desequilibre ionique. *L'Agronomie Tropicale.* 44 (1): 3-12.

- Karasawa, T., T. Hayakawa., T. Mae., K. Ojima y T. Yamaya.** 1994. Characteristics of ammonium uptake by rice cells in suspension culture. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 (2): 333-338.
- Mishra, H.S., T.R. Rathore y R.C. Pant.** 1997. Root growth, water potential and yield of irrigated rice. *Irrig. Sci.*, 17: 69-75.
- Oaks, A.** 1994. Efficiency of nitrogen utilization in C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> cereals. *Plant Physiol.* 106: 407-414.
- Ponnamperuma, F.N.** 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility wetland soils: characterization, classification and utilization. IRRI. Manila. Philippines pp.71-89.
- Rivillo, A.D.** 1986. Cinéticas físico-químicas de suelos venezolanos bajo condiciones de inundación. Una metodología computarizada. Tesis de Doctorado. Maracay. Venezuela. Universidad Central. Facultad de Agronomía. Post grado en Ciencia del Suelo. 378 p.
-