



02

# 02

---

Fecha de presentación: febrero, 2016

Fecha de aceptación: junio, 2016

Fecha de publicación: noviembre, 2016

## Estudio de un desorden nutricional en el cultivo del arroz (Oriza Sativa, Lin)

Study of nutritional disorders in rice culture (Oriza Sativa, Lin)

Nelson Arzola Pina<sup>1</sup>

E-mail: [narzola@ucf.edu.cu](mailto:narzola@ucf.edu.cu)

<sup>1</sup>Centro de Estudios para la Transformación Agraria Sostenible. CETAS. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Cienfuegos

### ¿Cómo referenciar este artículo?

Arzola Pina, N. (2016). Estudio de un desorden nutricional en el cultivo del arroz (Oriza Sativa, Lin). Revista Científica Agroecosistemas [seriada en línea], 4 (1). pp. 12-21. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/ras>

### RESUMEN

Con el propósito de determinar la causa de la muerte de las plantas de arroz en una superficie de 1 300 ha en la Empresa Arrocería Sur del Jíbaro de la provincia Sancti Spiritus, Cuba, fueron realizadas observaciones de campo y se tomaron y analizaron muestras de agua, de suelo y de plantas en las áreas de cultivo afectadas y no afectadas para poder establecer una comparación. En el agua se determinaron el pH, las sales solubles y la conductividad eléctrica; en el suelo las características físicas y químicas. En las plantas el nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y manganeso. En los estudios en macetas, se realizó un análisis de varianza en cada indicador evaluado, cuando la prueba F fue significativa se compararon las medias por Duncan, para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 15. Para diagnosticar la causa de la afectación resultó adecuado el valor de la relación Fe/P de la parte aérea de la planta y el contenido de fósforo asimilable del suelo. En el área afectada y en los cultivos en macetas, se comprobó que la causa de las afectaciones se debía a altas concentraciones de hierro y deficiencia de fósforo. Esta afectación fue resuelta mediante la aplicación de elevadas dosis de fertilizante fosfórico

**Palabras clave:** Toxicidad por hierro, deficiencia de fósforo, relación Fe/P en las plantas, antagonismo Fe-P en las plantas.

### ABSTRACT

With the purpose of determining the origin of the rice plants death over about 1300 ha in the Rice Enterprise "Sur del Jíbaro" in the Sancti Spiritus province, Cuba, field observations were carried on, and water, soil and plants samples were taken and analyzed in the affected and not affected areas, in order to establish a comparison. In the water, pH, soluble salts and electric conductivity were determined; in the soil, physical and chemical characteristics; in the plants, nitrogen, phosphorous, potassium, iron and magnesium. In the studies in pots, a variance analysis of each evaluated indicator was carried on. When the F test was significant, the media was compared using Duncan test. For all this, the Statistical Package SPSS, version 15 was used. For diagnosing the cause of the affectations, the rate Fe/P of the plant aerial part and the phosphorus contain assimilable by the soil was adequate. In the affected area and in the crops in pots, the cause of affectations was the high iron concentrations and the insufficiency of phosphorous. These affectations were eliminated by the application of high doses of phosphorous fertilizers.

**Keywords:** rice, Fe toxicity, P insufficiency, Fe/P rate in plants, antagonisms Fe-P in plants.

# INTRODUCCIÓN

En una empresa dedicada al cultivo del arroz en Cuba se presentaron daños severos anuales en aproximadamente 1 300 ha de la plantación. Esto trajo como resultando grandes pérdidas económicas (alrededor de un millón de dólares por cosecha), planteándose la necesidad de precisar las causas de tan severa afectación y la de proponer vías para su solución. Con ese propósito se creó un grupo multidisciplinario que realizó estudios en diferentes disciplinas y demostró que no existían problemas genéticos, ni de plagas, enfermedades, o de otro tipo, que explicaran la afectación del cultivo; excepto aspectos relacionados con las características del suelo del área donde aparecían los síntomas en las plantas.

Los elementos esenciales que las plantas extraen del suelo, se requieren en cantidades diferentes, unos en mayor cantidad (macro elementos) otros en menor (micro elementos); aunque, como elementos esenciales que son, la carencia de cualquiera de ellos origina que la planta no complete su ciclo vegetativo o reproductivo, todos ellos son insustituibles y su insuficiencia es cada vez más frecuente a nivel global, en particular la de zinc y boro, reportándose por su insuficiencia 20% o más de disminución de los rendimientos (sin que aparezcan síntomas visuales) (Fageria, 2008; Zou et al., 2008; Malakouti et al., 2007). A pesar de estar tan difundidas las insuficiencias, en ocasiones se presentan excesos de algún(os) micro elemento(s), principalmente en cultivos como el del arroz en que las condiciones de aniego favorecen los procesos de reducción en el suelo y la aparición de excesos o desórdenes nutricionales.

La respiración anaeróbica de las raíces bajo aniego origina la formación de alcohol tóxico para las raíces de las plantas. En un medio reducido como sucede en el caso del cultivo del arroz bajo aniego se pueden acumular en el suelo excesos de  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $S^{2-}$  y ácidos orgánicos y alcanzando estos niveles tóxicos.

Con las observaciones realizadas en el área donde las plantas de arroz no completaban generalmente su ciclo vegetativo ni reproductivo, sin conocerse las causas de ese desorden, se apreciaba mayor intensidad de los síntomas e incluso la muerte en los lugares donde se acumulaba el agua.

Precisar la causa de la muerte de las plantas de arroz en esta superficie agrícola resultó una incógnita de importancia práctica para una empresa dedicada a este cultivo. Por esa razón se realizaron estudios que perseguían determinar las causas y dar solución al problema que originaba la mortalidad de las plantas de arroz, lo que no solo constituía una situación de importancia local pues podría presentarse en cualquier otra localidad dedicada a este cultivo.

Los estudios realizados con el propósito de precisar las causas, establecer el diagnóstico, y el tratamiento a emplear para dar solución a las afectaciones del cultivo, son expuestos en esta oportunidad con el deseo de contribuir a que se tomen soluciones adecuadas en cualquier lugar en que se presente un problema similar.

## Materiales y métodos

Las características morfológica generales del perfil del suelo donde se afectaban las plantas de arroz se describen a continuación:

A<sub>1p</sub> 0-20 cm , Arcilla pardo oscura en estado seco, agregados poliédricos y nuciformes de 3-5 mm de diámetro, sin concreciones, plástico cuando está húmedo, mal drenaje y presencia de raíces.

B<sub>1</sub> 20-38 cm , Arcilla pardo amarillenta, estructura no definida, con pequeñas manchas rojizas y amarillas en estado seco, muchas concreciones de color oscuro de 2-4 mm, estas aumentan con la profundidad del horizonte, plástico cuando húmedo y mal drenaje.

B<sub>2</sub> 38-123 cm , Arcilla amarilla parduzca, estructura poliédrica y en bloques con agregados de 3-5 mm de diámetro, muchas concreciones, pero menos que en B<sub>1</sub>, plástico cuando húmedo, mal drenaje.

B<sub>3</sub> 123-195 cm , Arcilla amarilla parduzca con muchas manchas rojizas y muchas concreciones.

La textura arcillosa, gran plasticidad, mal drenaje y presencia de manchas rojizas y amarillas en estado seco son propios de un Gleysol. En esas condiciones al anegarse existe un fuerte proceso de reducción. Por otra parte los colores pardos, amarillos y rojos coinciden con la presencia de abundante hierro férrico el que podría transformarse en hierro ferroso asimilable para la planta bajo condiciones de aniego.

Como se mencionó, en el suelo donde se afectan las plantas (que para su estudio se le ha denominado "suelo problema".) crecen mejor las plantas de arroz en las partes más elevadas del microrelieve, a pesar de existir mayor contenido salino que en las partes más bajas (Black, 1968). El contenido de sales en los diferentes horizontes de ese suelo nunca fue mayor de 0,05 (% de suelo seco), lo que se corresponde con un suelo no salino (< de 0,20 % según Angladete, 1969). Numerosos trabajos se realizaron sobre el contenido de sales y la composición salina del suelo y del agua de riego, concluyendo que: ni el contenido de sales, ni alguno de los componentes salinos del suelo, ni del agua podrían explicar la muerte de las plantas de arroz.

Después de seco, molido y tamizado los horizontes de un perfil del suelo problema presentó las características que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características generales del suelo del Gleysol (suelo problema).

Característica	Profundidad del suelo (cm)			
	0-20	20-38	38-123	123-195
Arcilla (%)	60,98	67,72	60,75	59,64
Limo (%)	13,22	8,46	21,64	23,86
Arena fina (%)	15,82	11,27	8,45	9,81
Arena gruesa (%)	9,98	12,55	9,17	6,70
Materia orgánica (%)	3,70	1,70	0,90	0,40
Valor T (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	39,0	39,5	42,5	48,0
Ca cambiabile (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	29,26	27,10	24,30	23,22
Mg cambiabile (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	4,39	3,56	5,31	7,33
K cambiabile (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	0,42	0,24	0,23	0,23
Na cambiabile (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	0,82	0,83	1,04	1,38
Valor S (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	34,89	31,73	30,88	32,15
Valor V (%)	89,46	80,33	72,66	67,00
pH en agua	7,5	6,9	7,1	7,1

Los contenidos de fósforo asimilable en el suelo, indican que existe insuficiencia de este nutriente (comparar Tabla 2 con Tabla 3). En el caso de las fracciones no se reportan valores críticos.

Tabla 2. Contenidos de fósforo por los diferentes métodos empleados en el perfil de suelo (mg P.kg<sup>-1</sup> de suelo de suelo)

Métodos	Profundidad del suelo (cm)			
	0-20	20-38	38-123	123-195
Fósforo asimilable por Olsen	5,1	1,5	3,0	0,9
Fósforo asimilable por Bray y Kurtz	0,2	2,1	2,3	0,5
Fósforo asimilable por Dabin	12,5	12,5	5,6	12,5
Fósforo asimilable por Truog	4,1	4,1	traz	6,6
Fracción de P-Al	32,8	9,2	9,2	9,2
Fracción de P-Fe	101,5	99,8	55,0	64,1
Fracción de P-Ca	39,5	27,5	91,6	18,3

Para evaluar los contenidos de fósforo asimilable de la Tabla 2, se exponen los rangos de abastecimiento en la Tabla 3

Tabla 3. Rangos críticos de fósforo asimilable del suelo (mg P.kg<sup>-1</sup> de suelo)

Métodos	Rangos de abastecimiento			
	M.B.	Bajo	Medio	Alto
Fósforo asimilable por Olsen <sup>1</sup>	<5	5-10	10-18	>18
Fósforo asimilable por Bray y Kurtz <sup>2</sup>	<3	3-7	7-20	>20
Fósforo asimilable por Dabin <sup>3</sup>	<43,5	43,6-65,5	>65,5	
Fósforo asimilable por Truog <sup>4</sup>	<15	15-22	22-44	>44

Para el método de Olsen<sup>1</sup> se utilizaron los valores de Jackson (1962), Bingham (1962), y Hami (1974); para el método de Bray y kurtz<sup>2</sup> se utilizó Jackson (1962) y Saiz del Rio et al. (1962); para el método de Dabin<sup>3</sup> se utilizaron los valores de Dabin (1967); para el método de Truog<sup>4</sup> se utilizaron los valores de Unamba-Oparah et al. (1968), Pagel (1972) y Hami (1974).

De la comparación de las propiedades generales del "suelo problema" con un suelo aldeaño en que se alcanzan elevados rendimientos del cultivo y que fue empleado para diferentes comparaciones, resultó que: el primero presentaba en época de seca moteados rojizos y amarillos y azul verdosos en condiciones de aniego lo que podría explicarse por un proceso de reducción, además durante la época de seca sólo existen pequeñas grietas que permiten muy poca aireación (Gleysol). El suelo aldeaño donde se alcanzaban buenos rendimientos, presentaba profundas grietas en época de seca (que permiten la aireación), caras de deslizamiento, relieve de saltanejo

y grandes bloques estructurales, todas estas características propias de un Vertisol.

#### Estudios en maceta

En todos los casos se utilizó el primer horizonte del suelo seco al aire y pasado por un tamiz de 2 mm.

Estudio 1 (en el suelo problema): Se establecieron diferentes tratamientos con fertilización fosfórica, con niveles de fósforo desde 0 hasta 0,84 mg de  $P_2O_5$ . kg de suelo<sup>-1</sup>. Los tratamientos fueron:  $P_0 = 0$  mg de  $P_2O_5$ . kg de suelo<sup>-1</sup>;  $P_1 = 0,21$  mg de  $P_2O_5$ . kg de suelo<sup>-1</sup>;  $P_2 = 0,42$  mg de  $P_2O_5$ . kg de suelo<sup>-1</sup>;  $P_3 = 0,63$  mg de  $P_2O_5$ . kg de suelo<sup>-1</sup>;  $P_4 = 0,84$  mg de  $P_2O_5$ . kg de suelo<sup>-1</sup>. Se utilizaron niveles de fondo de nitrógeno y potasio. Se establecieron 4 réplicas.

El fertilizante se disolvió en agua y se aplicó homogéneamente en el suelo correspondiente para cada maceta. Se colocó en la maceta y se regó a saturación, se recogió el líquido drenado aplicándolo de nuevo a la maceta. Transcurridos 45 días se volvió a sacar el suelo de la maceta, se homogeneizó, preparó y se tomó una muestra de suelo para su análisis, entonces se colocó el peso de suelo designado para la maceta. Se sembró arroz, el que se cosechó a los 55 días (a partir de esa fecha) y se determinó peso verde y seco de la parte aérea de la planta.

Estudio 2 (en el suelo problema). El efecto de la fertilización mineral (NPK) y el régimen hídrico sobre la composición, biomasa formada y el rendimiento en grano se realizó mediante el establecimiento de cuatro tratamientos (1: aniego sin fertilizante, 2: aniego más fertilizante, 3: sin aniego ni fertilizante, 4: sin aniego con fertilizante) replicados estos 4 veces.

Estudio 3. Se comparó bajo condiciones de aniego, durante siete semanas la formación de hierro ferroso y férrico en muestras de suelo del primer horizonte del Gleysol (suelo problema) con un Vertisol aledaño en que se alcanzaban rendimientos normales del cultivo.

#### Los métodos analíticos fueron:

Textura: método de la pipeta y dispersión con Pirofosfato de Sodio (Thun et al., 1955).

Materia orgánica: oxidación con solución de Sulfato de Hierro y Amonio (Tiurin-Simakov) y multiplicación por 2.

pH en agua y en solución de KCl. La relación entre el suelo y la solución empleada fue de 1:2,5. La determinación con electrodo de cristal.

Valor T: método Schachtschabel con solución de Acetato de Amonio 1 normal pH 7 y valoración del Amonio sorbido en el complejo de cambio con 0,1 normal de NaOH después de añadir formaldehído (Thun et al., 1955).

Cationes cambiabiles: en el primer filtrado con Acetato de Amonio, Ca y Mg por valoración por el método del versenato y, K y Na por fotometría de llama.

Valor S: suma de los cationes cambiabiles (Ca, Mg, Na, K) en  $cmol^{(+)} \cdot kg^{-1}$

Valor T: Total de cargas negativas del complejo de cambio en  $cmol^{(+)} \cdot kg^{-1}$

Valor V: (S/T) 100.

Fracciones de fósforo: según Chang y Jackson (1957).

El fósforo asimilable se determinó mediante extracción con:

0,58 normal  $NaHCO_3$  pH 8,5 según Olsen et al. (1954); 0,03 normal  $NH_4F$  y 0,1 normal de HCl según Bray y Kurtz (Jackson, 1962).

P-Sorción extracción con 10 g de suelo y con 50 ml de una solución de fósforo ( $KH_2PO_4$ , pH 6), con una concentración de 100 mg P/100 g de suelo. Se agitó, centrifugó y en una alícuota se determinó el fósforo por el método del vanadio molibdato en el colorímetro. El cálculo se basó en:

P- Sorción (mg/100g): Fósforo añadido con la solución -fósforo residual en la solución.

P-Fijación = P sorbido - P asimilable por Troug (Unamba-Oparah et al., 1968)

El hierro del suelo se extrajo con la humedad natural, con una solución de Acetato de Amonio 1 normal de pH 7 ( $Fe^{2+}$ ) y de pH 3 ( $Fe^{2+} + Fe^{3+}$ ), con relación suelo: solución 1/16 (una parte de suelo por 16 de solución) y 5 minutos de agitación. La determinación colorimétrica se realizó con Fenantrolina (Jackson, 1962).

Para el análisis de NPK en planta se realizó una digestión del material vegetal con una mezcla de  $H_2SO_4$  y Se. Se determinó el Nitrógeno por Kjeldahl, el Fósforo colorimétricamente después de colorear con Metavanadato de Amonio y el Potasio con el fotómetro de llama. El Hierro y el Manganeseo mediante ceniza

en la mufla. Se determinó colorimétricamente el Fe con Fenantrolina y el Mn con Persulfato de Amonio

## Resultados y discusión

Las observaciones de campo, mostraron mayor intensidad de los síntomas (anaranjamiento de las hojas) en los lugares más bajos del microrelieve, incluso la necrosis era evidente donde se encharcaba el agua, lo que sugería que condiciones de reducción del suelo formaban parte de la causa de los daños. De ser ello cierto, al aumentar la intensidad de los síntomas, debería aumentar el de sustancias que se acumularían hasta niveles tóxicos cuando eran mayores las condiciones de reducción, por ello se relacionó el incremento de los síntomas con la asimilación por las plantas de esas sustancias. Solo fue posible identificar el hierro y el manganeso dadas las limitaciones analíticas.

### a. Grado de intensidad de los síntomas.

El contenido de hierro y la relación Fe/P de la planta incrementa con el aumento del grado de intensidad de los síntomas, mientras que disminuían los contenidos de fósforo y potasio. En el mayor grado de intensidad de los síntomas de las plantas (Tabla 5) se superó 10 veces del límite de toxicidad por hierro para la planta de arroz (300 ppm de Fe según Yoshida et al., 1972) y disminuyó el de fósforo por debajo del nivel crítico 0,1 %P (Tablas 4 y 5).

Tabla 4. Relación entre el contenido de nutrientes de la parte de la planta sobre el suelos y la intensidad de los síntomas (Edad: 50 días)

Contenido	Incremento de los síntomas 1 => 5 Anaranjamiento => muerte				
	1	2	3	4	5
Fe(ppm)	492	480	414	914	1925
N (%)	2,46	2,60	2,32	2,50	1,56
P (%)	0,14	0,13	0,11	0,08	0,07
K (%)	2,59	2,59	2,29	1,33	0,94
Mn(ppm)	169	180	128	154	230
Fe/P	0,4	0,4	0,4	1,1	1,8
Fe/Mn	2,6	2,6	3,2	5,9	8,4

Al transcurrir el tiempo, se aprecia con mayor claridad el exceso de hierro y la insuficiencia de fósforo (comparar Tablas 4 y 5).

Tabla 5: Relación entre el contenido de nutrientes de la parte de la planta sobre el y la intensidad de los síntomas (Edad: 85 días)

Contenido	Incremento de los síntomas 1=> 5 Anaranjamiento => muerte				
	1	2	3	4	5
Fe(ppm)	420	585	1100	1210	3392
N (%)	1,42	1,80	1,68	1,68	1,75
P (%)	0,10	0,07	0,05	0,05	0,04
K (%)	1,79	1,51	1,21	1,04	0,50
Mn(ppm)	111	117	150	110	147
Fe/P	0,4	0,8	2,2	2,4	8,5

La toxicidad de Fe puede ocurrir con el exceso de lluvias o en suelos anegados, como en este caso de arroz bajo aniego (reducción de  $Fe^{3+} \Rightarrow Fe^{2+}$ ). Otro factor importante es la carencia de sustancias que se reducen primero que este, como son:  $O_2$ , nitratos y el  $Mn^{4+}$ , las cuales de no estar presentes dejan al  $Fe^{3+}$  como primera opción para ser reducido, pudiendo alcanzar niveles tóxicos. Esto a su vez representa una complejidad para establecer un diagnóstico de la insuficiencia o exceso de este nutriente, pues la cuantía de esas sustancias que afectan la reducción y la asimilabilidad del hierro pueden ser muy variables espacial y temporalmente.

### Relaciones entre características de los suelos.

En la Tabla 6 se puede apreciar que por los dos métodos de fósforo asimilable empleados, el rendimiento en peso verde y seco de la planta aumenta cuando el contenido de fósforo asimilable incrementa. Ambos métodos se relacionan positivamente con las fracciones de fósforo y negativamente con la retención y fijación de fósforo del suelo. Al aumentar el contenido de fósforo asimilable del suelo disminuye la retención y fijación de fósforo, lo que podría explicarse por saturarse con el fertilizante fosfórico los lugares de las arcillas donde este proceso ocurre. Por otra parte, debe invertirse determinada cantidad de fertilizante fosfórico para lograr que quede en el suelo suficiente fósforo asimilable para el cultivo.

La aplicación de fertilizante fosfórico disminuye la sorción y fijación de fósforo, lo que está en correspondencia con saturarse las posiciones de fijación y quedar más fósforo disponible en la solución del suelo. Esto significa que en suelos con gran capacidad de fijación de fósforo, una parte apreciable del fertilizante fosfórico aplicado no es aprovechado por el cultivo, pero se requiere para aumentar el contenido de fósforo asimilable del suelo o como en el caso que se estudia para reducir el exceso de hierro.

Las fracciones de fósforo (excepto el fósforo soluble en agua, P-A) se han relacionado fuerte y positivamente con el peso verde y seco de las plantas, lo que evidencia que estas podrían servir para el diagnóstico de la necesidad de fertilizante fosfórico, aunque el procedimiento analítico en estos casos, es más complejo y costoso que para el fósforo asimilable (Tabla 6).

Tabla 6. Relaciones entre algunas características del suelo problema y la biomasa formada por la planta de arroz (correlación lineal de Pearson) (Estudio1).

Valor	Olsen	Ret. de fósforo P-sorción	Fijación de P	Al-P	Fe-P	Ca-P	A-P	Peso verde de plantas	Peso seco de plantas
Bray y Kutrz	0,96***	-0,74**	-0,80***	0,96***	0,89***	0,74**	0,76**	0,63**	0,54**
Olsen		-0,72**	-0,86***	0,97***	0,93***	0,71**	0,72**	0,58**	0,50*
P-sorción			0,64**	-0,70**	-0,62**	-0,41	-0,37	-0,51*	-0,48*
P-fijación				-0,80***	-0,82***	-0,75**	-0,55**	-0,74**	-0,69**
Al-P					0,93***	0,71**	0,7***	-0,71**	-0,69**
Fe-P						0,78***	0,75**	0,68**	0,64**
Ca-P							0,69**	0,69**	0,63**
A-P								0,36	0,25
Peso verde de plantas									0,97***

Las estrechas relaciones encontradas entre la biomasa formada, el contenido de fósforo asimilable por los dos métodos utilizados y las fracciones de fósforo, sugieren que cualquiera de los métodos estudiados podría ser útil con propósitos de diagnosticar la necesidad de fertilizante fosfórico en estas condiciones.

b. Contenido de formas de hierro en el suelo.

Una indicación directa de que un contenido de hierro tóxico en el “suelo problema” sea la causa de la muerte de las plantas, no se evidencia en los análisis realizados, lo que se corresponde con las amplias variaciones que de la forma asimilable  $Fe^{2+}$  ocurren por diferentes causas en el suelo. La relación  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  es menor en el suelo problema, que en un suelo Vertisol aledaño, lo que sugiere un proceso de reducción más intenso en el suelo problema, que facilita una mayor disponibilidad de hierro ferroso (que es el asimilable para la planta) y está en correspondencia con un exceso de este elemento en ese suelo (Figura 1).

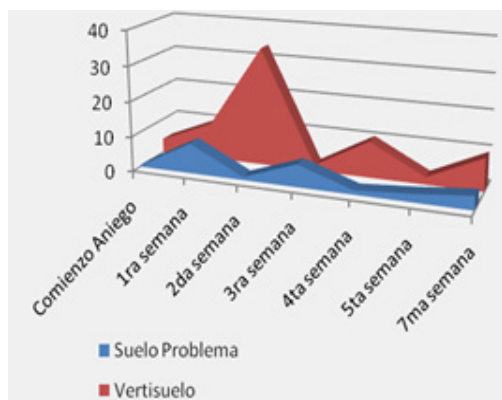


Figura 1. Variación de la relación  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  en los dos suelos estudiados (eje Y) al transcurrir las semanas de aniego desde 1-8 (eje X) (Estudio 3).

Como este suelo no presenta reacción ácida, ello no explicaría la toxicidad por hierro que parece asociarse principalmente con fuertes condiciones de reducción y carencia de elementos que se reducen primero que el hierro (oxígeno, nitratos, manganeso) y antagonismo con el fósforo ya que el contenido de este último es bajo y podría incrementar su insuficiencia en caso de exceso de hierro.

c. Estudio sobre la relación Fe/P en la planta.

En este estudio se hizo evidente el antagonismo entre el hierro y el fósforo, a mayor contenido de fósforo en la planta cosechada, menor fue el de hierro (Figura 2) lo que deja abierta la posibilidad de que la relación Fe/P podría ser de gran utilidad para el diagnóstico de este desorden nutricional.

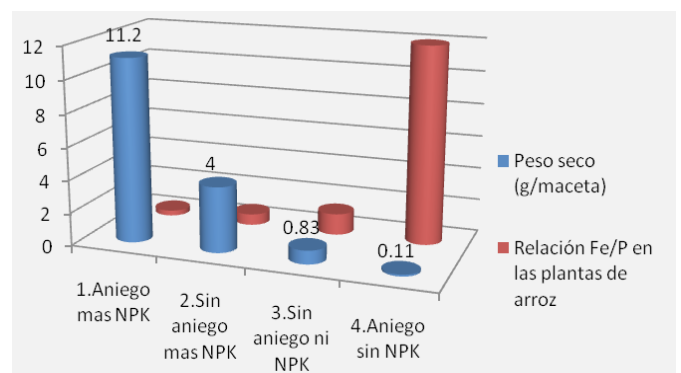


Figura 2. Biomasa formada por maceta relación Fe/P de la parte de la planta sobre el suelo

En la Fig. 2 se evidencia que en la medida en que los tratamientos poseen mayor peso seco es menor la relación Fe/P de la parte aérea de las plantas.

El exceso de Hierro se ha observado principalmente en arroz de aniego (inundación), debido a que bajo las condiciones fuertemente reductoras, la capacidad oxidante de las raíces no basta para oxidar el exceso de  $Fe^{2+}$  que aparece cuando el suelo es muy rico en óxidos de hierro libres de fácil reducción. Esta capacidad de las raíces para excluir de la absorción un exceso de  $Fe^{2+}$  disminuye cuando hay insuficiencia de potasio o de otros nutrimentos (P, Mn, Ca, Mg) (Tanaka y Tadano, 1972). La solubilidad del Hierro en el suelo depende del pH, potencial redox, grado de cristalización de los óxidos de hierro, contenido de materia orgánica y solubilidad del hierro en la rizósfera, lo que hace poco confiable la determinación del contenido de hierro del suelo respecto a la nutrición de la planta (Chapman, 1966); además, aun cuando se determine la cantidad exacta de hierro ferroso ( $Fe^{2+}$ ) del suelo (que es la forma asimilable para la planta), su efecto dependerá de: la concentración de otras sustancias (del manganeso, silicio, fósforo), variedad de arroz y el tiempo de la cosecha (Ponnaperuma, 1964).

Los valores límites de toxicidad por hierro en suelo en el cultivo del arroz varían ampliamente con las condiciones del medio: 100 ppm (Ishuzuka y Tanaka, 1961), 50 ppm (Tanaka y Navasero, 1966), 100 ppm en medio ácido, 500 ppm a pH mayor (Tanaka y Tadano, 1970), 5 ppm si existe insuficiencia de Manganeseo (Ponnamperuma e Ikeashi, 1979). Estos últimos autores resumen que el valor límite de toxicidad por hierro puede variar entre 50 y 1 700 ppm .

A pesar de esas dificultades, Arzola (1982) encontró una mejor predictibilidad de la toxicidad por hierro en arroz, a partir de la relación  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  del suelo (extracción con acetato de amonio a pH 3 y 7, según Jackson, 1962), alcanzando el suelo donde se presentó toxicidad una relación de 3,4 y en la planta un contenido de 770 ppm de Fe. Las dificultades encontradas para diagnosticar el estado nutricional de un cultivo en lo referente a metales pesados, explica la existencia de gran cantidad de métodos de extracción de los mismos (Cottenie et al., 1982).

Al incrementar la dosis de fósforo aplicada, aumenta en general el contenido de fósforo de la planta, mientras que el contenido de hierro así como la relación Fe/P disminuye. Esto origina un mayor rendimiento. Altas aplicaciones de fertilizante fosfórico podrían por lo tanto, servir para eliminar la insuficiencia de fósforo y la toxicidad por hierro en ese suelo. Ese efecto de la fertilización fosfórica sobre la toxicidad por hierro puede explicarse por la formación de fosfatos de hierro en el suelo y en la planta y, por una mayor capacidad de oxidación del sistema radical de las plantas. De las investigaciones realizadas pueden derivarse los

siguientes grupos de valores para la relación Fe/P de la parte de la planta de arroz sobre el suelo (Tabla 7).

Tabla 7. El rendimiento del arroz en función de la relación Fe/P (ambos en ppm) de la planta de arroz sobre el suelo.

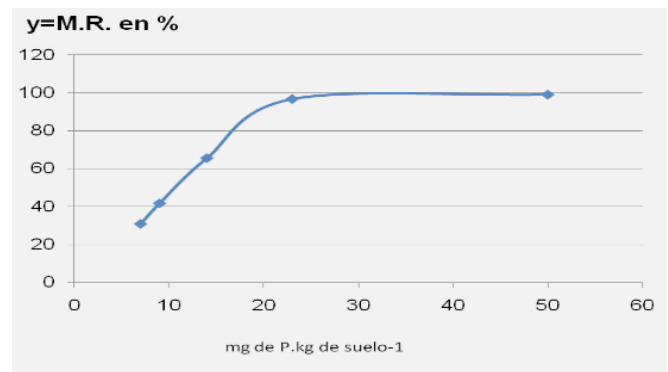
Relación Fe/P de la planta	Rendimiento de la planta de arroz
< 0,32	Formación de granos
0,32 – 2,00	Sólo se forma biomasa
> 2,00	Muerte de las plantas

#### d. Diagnóstico y solución de la muerte de la plantación

Se realizaron estudios, principalmente dirigidos a seleccionar métodos para el análisis de fósforo asimilable del suelo y para establecer la dosis de fertilizante a emplear. Las relaciones entre el fósforo asimilable del suelo y la biomasa formada (peso seco) se presentan en la Figura 3.

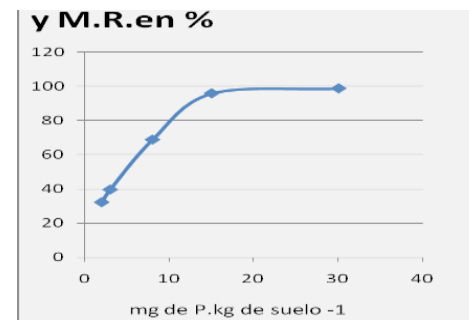
Olsen

$$Y = 17,54 + 7,72x - 0,1667x^2 \quad R^2 = 0,92$$



Bray y Kurtz (30 min agit)

$$Y = -12,80 + 6,92x - 0,0936x^2 \quad R^2 = 0,92$$



M.R. = Máximo rendimiento en porcentaje

Figura 3. Relación entre el contenido de fósforo del suelo y el rendimiento (en porcentaje del máximo) por dos métodos de fósforo asimilable (Arzola, 1980)



De desearse alcanzar el 100% del rendimiento, lo que representaría una elevada una elevada aplicación de fertilizante fosfórico, quedan como precisiones dinámicas evaluar periódicamente los precios de los insumos y productos, para establecer lo más beneficioso en cada momento (dosis óptima).

De las relaciones encontradas fue posible establecer rangos de abastecimiento nutricional para el contenido de fósforo en el suelo (Tabla 8). Una vez establecidos los rangos de abastecimiento, es necesario precisar qué dosis de fertilizante fosfórico debía emplearse para alcanzar un contenido adecuado de este nutriente en el suelo, es decir proponer un sistema de recomendación de fertilizante fosfórico que permita eliminar la insuficiencia o el exceso. El óptimo contenido de fósforo en el suelo podría lograrse de aplicarse en el rango "muy bajo" mucho más de lo que se pierde con la cosecha. En el rango "bajo" se aplicaría más fósforo de lo perdido por la cosecha pero no tanto como en el caso anterior; en "medio" ligeramente más de lo perdido y en "alto" no aplicar. En el caso del fósforo, las pérdidas se refieren principalmente a lo extraído por la cosecha y las ganancias a lo aportado con el fertilizante fosfórico, por ello el balance es relativamente sencillo, siempre que se considere el nivel de rendimiento del cultivo.

Tabla 8. Calibración de dos métodos de determinación de fósforo asimilable del suelo (Olsen; Bray y Kurtz).

Rendimiento en porcentaje del máximo	Rangos de abastecimiento de fósforo	Fósforo asimilable mg P.kg <sup>-1</sup> )		Dosis de P a emplear en kg.ha <sup>-1</sup>
		Olsen	Bray y Kurtz	
<50	Muy bajo	<13	<6	1.6 x E x R
50-75	Bajo	13-18	6-13	1,4 x E x R
75-95	Medio	18,01-25	13,01-18	1,2xE x R
>95	Alto	>25	>18	0 x E x R

E (granos): 6 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/t de granos (Aguilar, 2006).

R=Rendimiento en t.ha<sup>-1</sup>

Factores para calcular la dosis: Muy bajo (2 x E x R), Bajo (1,5 x E x R), Medio (1,3 x E x R), Alto (0 x E x R)

En este caso se proponen los niveles de extracción de la parte aérea de la planta reportados por IMPOFOS (2010) que son más conservadores que los de Aguilar (2006).

En condiciones de maceta, como es el caso de este estudio, no se consideran muchos factores ajenos a la nutrición fosfórica que puedan limitar

el efecto de los fertilizantes fosfóricos, ni es posible una evaluación económica; por ello, se requiere de los experimentos de campo. Se hacen necesarias evaluaciones de las características del suelo con el propósito de eliminar o minimizar el efecto de diferentes factores edáficos limitantes del rendimiento y del efecto de los fertilizantes minerales (Arzola y Vilma Contreras, 2011; Cristancho et al., 2007). Estas limitaciones pueden afectar la eficiencia de la fertilización y variar en correspondencia con ello la dosis de fertilizantes minerales a emplear.

Los resultados obtenidos en este estudio en condiciones de maceta, han permitido elaborar un sistema de recomendación que podía servir como orientación de la necesidad de fertilizante fosfórico de presentarse un problema similar y no existir una sólida información de experimentos de campo.

Un sistema para el diagnóstico de la necesidad de fertilizantes fosfóricos debe integrar el efecto de la fertilización al variar el abastecimiento del nutriente, la absorción del cultivo y los factores limitantes bióticos y abióticos presentes que puedan afectar la nutrición fosfórica ( Inpofos, 2010; Tohiruddin et al., 2009; Vargas, 2006). La integración de todos esos factores se requiere para perfeccionar la recomendación establecida en función del análisis de suelo (Lazcano-Ferrat , 2007).

Los resultados obtenidos en áreas de producción, muestran que para obtener con seguridad buen rendimiento de las plantas de arroz en la región problema se necesitan muy elevadas dosis de fósforo (alrededor de 275 kg P/ha) lo cual, no está disponible en la práctica, por ello se debe (hasta tanto se terminen otras investigaciones) cultivar otra planta que requiera de menor necesidad de fertilizante fosfórico.

### Conclusiones y recomendaciones

Este desorden nutricional resulta de un exceso de hierro e insuficiencia de fósforo, el que presenta como síntoma un anaranjamiento de las hojas y en caso severo muerte de las plantas.

La relación Fe/P de la biomasa de la planta de arroz sobre el suelo podría ser de gran utilidad para el diagnóstico, pues con su aumento se hacen más severos los síntomas.

La aplicación de elevadas dosis de fertilizante fosfórico puede facilitar la obtención de cosechas normales.

Métodos adecuados para el diagnóstico de la necesidad de fertilizantes fosfóricos resultan el de, Bray y Kurtz y el de Olsen.

Experimentos de campo y evaluaciones periódicas serían necesarias en la región donde mueren las plantas para mejorar el diagnóstico y tratamiento de este desorden nutricional

De no ser económicamente sostenible cultivar arroz en ese suelo, debe seleccionarse otra opción de uso.

#### Referencias bibliográficas

- Angladette, A. (1969): *El arroz*, La Habana, Cuba, Editorial Ciencia y Técnica.
- Arzola, N. y Vilma Contreras (2011). *Evaluación del estado nutricional de las plantaciones cañeras en el Ingenio Eculos*. Informe Técnico del ingenio La Troncal. Ecuador ( Disponible en CD-ROM).
- Arzola, N. y Vilma Contreras (2011). *Elementos secundarios y microelementos en áreas agrícolas de Eculos, Evaluación del estado nutricional de las plantaciones cañeras*. Memorias de trabajos del curso de postgrado "Manejo Agroecológico de Suelos, Fertilizantes y Enmiendas", Ingenio Eculos S.A, La Troncal, Ecuador. (Disponible en CD ROM).
- Arzola,N.(1982). Estudio de las afectaciones del rendimiento del arroz en un área nombrada Majagua. Parte II: Comparación del suelo problema con dos suelos normales. *Revista Centro Agrícola*, v.9, n.3, p.23-35. Editada por la Universidad Central de Las Villas
- Arzola,N. (1980). Untersuchungen uber Wachstumsstorungen von Reis auf einer Boden in Anbauggebiet Majagua, Kuba. *Diss z Promotion A*. Karl-Marx-Universitat, Leipzig, p.109.
- Bingham, F.T. Chemical soil test for available phosphorus. *Soil Sci.* 94 (1962) 87-95.
- Black C.A. (1968). *Soil-Plant Relationships*. Second edition. John Wiley Sons, Inc. New York, London, Sydney. 701p. E.E.U.U.
- Chang, S.; Jackson, M.L. (1957). Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84, p 133-136.
- Chapman,H.D.(1966) *Diagnostic criteria for plants and soils*. University of California. Division of Agricultural Science, California, EEUU.
- Cottenie,A.; Verloo,M.; Velghe,G.; Kiekens,L.(1982). *Biological and analytical aspects of soil pollution*. State Univ. Shent.
- Cristancho,R.J.A. ; Munevar, M.F.; Acosta,G.A.; Santa-cruz, A.L.; Torres,V.M. (2007). Relación de las características edáficas y el desarrollo del sistema de raíces de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*,Jacq). *Revista Palmas*, v.28, n.1, p.24-30, Colombia.
- Cuellar, I.; Villegas, R.; de León, M.; Pérez, H. (2002). *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba*, La Habana, p.127, Editorial Publiinica
- Dabim, B. (1967). Sur une method d analyses de phosphour .Los suelos tropicales .*Le colloquesur la fertilité des sols*,Tansnannari\* Madagascar, 95-115
- E SPSS. (2006). *SPSS para Windows v 15,0,1*. SPSS Inc.
- Fageria, N.H. and Stone L.F. (2008). Micronutrient Deficiency Problems in South America, Chapter 10, In Alloway, B.J. (ed.) *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*, (p. 245-266),EEUU: Dordrecht.
- Hami,O. Allgemeiner, *Characterizirung Phosphat und Kaliumhaushalt verschiedenr Boden M arrokoos*. Leipzig, Karl Marz Universitat.Diss,1994.
- INPOFOS (2010). *Absorción aproximada de nutrientes por las plantas (parte1)*. International plant nutrition institute, Berna, Suiza,
- Ishizuka ,V.;Tanaka,A. (1961). Inorganic nutrition of the rice plants.VI Effect of iron ,manganese and copper levels in culture solution of yields and chemical compositions of the plant .*Journal Sci. Soil Manure*, v.32, p.97-100, Japan.
- Jackson, M.L. (1962). *Soil chemical analyses*. Englewood Cliffs.Wisconsin,EE.UU.
- Lazcano-Ferrat, I. (2007). *Los resultados de los análisis de suelos como un elemento para el manejo integral del suelo*. Argentina. Disponible en:[www.engormix.com/MA-agricultura/soja/foros/articulo-resultados-analisis-suelos-t12298/415-p0.htm](http://www.engormix.com/MA-agricultura/soja/foros/articulo-resultados-analisis-suelos-t12298/415-p0.htm).
- Lerch, G. (1987). *La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas*. Tomo 1. La Habana, p. 227. Editorial Academia.
- Malakouti, M.J. (2007). Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern and Russian. *Journal of Plant Science and Biotechnology*. 1(1), p.1-12, Russian.
- Mengel, K.; Kirby, E.A. (1987). *Principles of Plant Nutrition* p.265. Int. Potash Institute. Berna, Sweeden.
- Pagel,H.(1974): *Bodenkunde der Tropen und Subtropn*. Leherbriief 4. Karl-Marx Universitat Leipzig, Deutschland.
- Ponnamperuma, F.N. (1964). Review of the symposium on the mineral nutrition of the rice plan. In: *The mineral nutrition of the rice plant*. The international Rice Research Institute. Baltimore, p.461- 482, Johns Hopkins Press. Filipines.
- Saiz del Rio,J.F. *Análisis químico de suelos, Métodos de laboratorio para diagnosticar la fertilidad*. Turrialba. Dpto. de energía molecular. IICA, 1962.

- Tanaka, A.; Tadano, T. (1972). *Potassium in relation to iron toxicity for the rice plant*. Potash Review. 9/21 , p.1-12: ( Disponible en CD-ROM).
- Tanaka, A.; Navasero, S.A. (1966). Interaction between iron and manganese in the rice plant. *Soil Sci. and Plant Nutr.* v.12, p.29-33.
- Thun,H.; Hermann,R.; Kniekmann, E. (1955). *Die Untersuchung von Boden.Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs und Untersuchungsmethoden*. Neumann Verlag. Radebeult und Berlin,Deutschland.
- Tohiruddin, H.; Tandiono, J.; Silalahi, A.; Prawobo, N.E.; Foster, H.L. ( 2009). *Effects of N, P and K fertilizers on trace element status of oil palm in Sumatra*. Wosten, H.Proceedings of Agriculture, biothechnoplogy & sustainability Conference. Malasysian Palm Oil Board. PIPOC v.1, p.66-78, Malasysian.
- Unamba-Oparah, I.; Pagel,H.; Ramadanh. A. (1968). *Beitrage zur Kentnis des Nahrstoffhaushalteswichtiger Boden 3.Mitt.P-Sorption und P-Fizierung.Thauer-Anchiv* 12, p. 435-448. Deutschland.
- Vargas, M. (2006). *Fertilización con cuatro niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y curvas de absorción de la variedad Fedearroz 50, en condiciones de secano favorecido*. Segunda Cumbre Internacional de Agricultura Sostenible. Guayaquil, Ecuador. (Disponible en CD Rom).
- Yoshida, S.; Cook, T.H.; Chai, K.; Gomes, A. (1972). *Laboratory manual for physiological study rice*. IRRI, Filipinas.
- Zou, C.; Shi, R.; Gao, X.; Fan, X. Zhang F.S. (2008). Micronutrient deficiencies in Crop production in China. Chapter 5, In Alloway, B.J. (ed.) *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*, (p. 127-148), China: Springer, Dordrecht.