

3. El desgrane se considera normal.

4. Al analizar estadísticamente los factores de producción (número de panojas por área y largo de las mismas), no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

5. El peso de materia seca (paja), sí mostró diferencias estadísticas y con el arreglo de Duncan aparecen los siguientes grupos de mayor a menos producción:

I. SML Tapuripa, II. CP 231 × HO 12, III. RD

Sadri × Lac, IV. BB/B2 × GR y BB 50 × HO 10, y V. Nilo 48.

6. El rendimiento en cuanto a grano, también arrojó diferencias significativas, apareciendo las variedades agrupadas según Duncan:

I. SML Tapuripa, II. CP 231 × HO 12, III. RD Sadri × Lac, IV. BB × B2 × GR, V. BB 50 × HO 10, y VI. Nilo 48.

7. En esta prueba la variedad SML Tapuripa superó al resto de selecciones.

ESTUDIO SOBRE TOXICIDAD DEL COBRE ACUMULADO EN LOS SUELOS DEL LITORAL PACIFICO SUR DE COSTA RICA

JOHN MANNIX F. y ROSA MA. RODRIGUEZ *

Introducción

Las llanuras costaneras del Pacífico Sur de Costa Rica han sido cultivadas por muchos años con plantaciones bananeras en las que, para el control de enfermedades del follaje, se ha hecho uso sistemático de atomizaciones con caldo bordalés.

La continuidad de esta práctica, ha constituido un fuerte aporte del elemento cobre al suelo en el que, de acuerdo con la literatura existente y los resultados obtenidos en este estudio, es fuertemente retenido en capas superficiales, pudiendo acumularse en cantidades fitotóxicas.

Por varias razones, muchas de esas plantaciones bananeras fueron abandonadas, siendo posteriormente dedicados los terrenos a otros cultivos, incluyendo el arroz, cultivo en el cual se ha manifestado la fitotoxicidad del cobre como una clorosis blanquecina y achaparramiento de las plantas, con la consiguiente disminución en la producción de grano.

El presente estudio ha tenido como objetivos: a) Determinar la presencia, concentración y distribución en el perfil, del cobre en esos suelos; b) Establecer la interrelación entre los síntomas de fitotoxicidad observados en las plantaciones de arroz y la presencia de altas concentraciones de cobre intercambiable (o soluble) en el suelo, y c) Establecer las posibles prácticas o medidas que permitan atenuar o corregir la fitotoxicidad inducida por exceso de cobre en el suelo.

Investigaciones y Ensayos

Para poder llenar los objetivos se ha realizado una serie de investigaciones y ensayos, iniciados con un reconocimiento del área afectada y recolección de muestras de suelo para su análisis químico.

Sospechándose de antemano (5), que la causa de los daños observados en las plantaciones de arroz, era el exceso de cobre en el suelo, se incluyó entre los análisis químicos realizados en las muestras de suelo, el de cobre, determinaciones que se efectuaron mediante una modificación del método rápido de W. F. Spencer (2, 3).

En el Cuadro 1 se presentan los datos obtenidos en el fraccionamiento de la capa superficial; se observó que en los suelos que han tenido plantaciones bananeras sometidas a las atomizaciones con caldo bordalés, el cobre se ha acumulado en las capas superficiales, en los primeros 7.5 cm para los suelos no alterados y distribución irregular en la capa arable en los suelos sometidos a laboreo. El perfil No. 3, presenta las condiciones típicas del área en los suelos que no han sido expuestos a las atomizaciones del compuesto de cobre.

Se logró determinar también en este reconocimiento, que los terrenos vecinos a las plantaciones bananeras recibieron un ligero aporte de cobre, posiblemente por transporte por viento del caldo bordalés, alcanzando niveles de 10 a 18 p.p.m. Cu** extractable en la capa superficial, nivel que aparentemente no ha llegado a afectar los arrozales en ellos plantados. **Determinación del nivel tóxico de cobre para las plantas de arroz**

Para determinar el nivel de cobre soluble, tóxico para las plantas de arroz, se plantaron dos ensayos de invernadero, utilizando para ello un suelo franco-arcilloso proveniente del área de Sierpe y acusando un contenido inicial bajo de cobre; 2.9% de materia orgánica y una acidez de pH 5.9. Este suelo, una vez seco, pulverizado y tamizado, se colocó en potes de cartón parafinado agregándoles posteriormente el respectivo tratamiento de cantidades crecientes de cobre como sulfato y en uno de los ensayos con una repetición usando como fuente el quelato de CU.

* Departamento de Suelos, Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.

CUADRO 1. ACIDEZ Y CONTENIDO DE COBRE EN LA CAPA SUPERFICIAL DEL SUELO DE TRES SITIOS REPRESENTATIVOS.

Profundidad cm	Arroz afectado *					
	Perfil No. 1 Suelo arado		Perfil No. 2 Suelo no arado		Perfil No. 3 Suelo no arado	
	pH	ppm Cu	pH	ppm Cu	pH	ppm Cu
0 a 2.5	6.6	100	5.0	150	6.5	5
2.5 a 5.0	6.3	150	5.5	500	6.6	5
5.0 a 7.5	6.3	125	5.7	100	6.6	5
7.5 a 10.0	6.4	150	5.8	30	6.2	5
10.0 a 12.5	6.4	200	5.8	15	6.1	5
12.5 a 15.0	6.4	200	5.8	5	6.1	5
+ 15.0	6.9	10	—	—	—	—

* Plantaciones con síntomas de fitotoxicidad.

Los resultados obtenidos indican que: a) Los síntomas de fitotoxicidad aparecen inicialmente en las raíces de las plantas de arroz en concentraciones relativamente bajas de cobre soluble en el suelo (20 a 40 ppm). b) Los síntomas de clorosis foliar aparecen en forma incipiente con concentraciones mayores (aproximadamente 100 ppm), agravándose con concentraciones mayores, hasta llegar a ser una clorosis blanquesina definida con un nivel de 240 ppm CU** soluble en el suelo. c) Con concentraciones muy altas (1000 ppm), se suprime totalmente el crecimiento vegetativo aéreo y la formación de raíces, formándose una plántula clorótica que muere poco después de la germinación. Los datos de el segundo de estos ensayos se apuntan en el Cuadro 2,

Aunque el ensayo no se planeó con dicho fin, se estableció la correlación entre el peso seco de las plantas y la cantidad de cobre extractable por el método usado, obteniéndose un coeficiente de correlación de $r = -0.73$, lo cual muestra la existencia de una correlación negativa definida entre ambos factores.

Ensayos para corregir o atenuar los efectos fitotóxicos del exceso de cobre en el suelo.

Los ensayos realizados al respecto se han encaminado hacia el uso de prácticas corrientes en agricultura como lo son: a) Aplicaciones de calcio y fósforo al suelo; b) Uso de herbicidas y otros agentes formadores de quelatos, y c) Aplicación al suelo de micronutrientes.

CUADRO 2. COBRE EXTRACTABLE Y RESPUESTA DE LAS PLANTAS DE ARROZ SEMBRADAS EN UN SUELO DE SIERPE CON DIVERSAS CANTIDADES DE SULFATO DE COBRE.

COBRE ppm		Observaciones sobre las plantas			
Agregado	Extraído ⁽²⁾	Crecimiento ⁽²⁾	Clorosis	Cantidad de pelos radi- culares	Características de las raíces
0	18	B	no	normal	suaves
25	40	B	no	disminuido	lig. coreáceas
50	52	B	no	disminuido	coreáceas
75	60	B	no	poco	"
100	82	B	no	poco	"
125	95	R	incip.	poco	"
150	115	R	incip.	poco	"
175	136	R	leve	poco	"
200	153	R	leve	muy poco	"
225	167	M	leve	muy poco	"
250	208	M	leve	muy poco	poca y coreácea
300	208	M	leve	muy poco	poca y muy coreácea
350	240	M.M.	definida	no	" " " "
400	280	M.M.	definida	no	" " " "
500	345	M.M.	definida	no	muy poca y muy coreácea
1000	640	Ext.M.	definida	no	no hay

⁽¹⁾ B = Bueno; R = Regular; M = Malo; M.M. = Muy malo; Ext.M. = Extraordinariamente malo.

⁽²⁾ Extracción con solución de HCl 0.05 N, y H₂SO₄ 0.025 N.

CUADRO 3. PRODUCCION DE MATERIA SECA (MG), TRATAMIENTOS Y NIVELES DE CALCIO Y FOSFORO EN UN SUELO CON 500 PPM DE COBRE.

Bandas ppm de fósforo	Parcelas (Kg/Ha de la fuente de calcio)								
	Suelo más 500 ppm de Cu							Suelo sin cobre	
	0 Calcio	Sulfato		Hidróxido		Carbonato		0	Promedio
	500	1000	2000	4000	2000	4000			
0	175	212	218	308	259	300	373	427	284
50	238	241	157	260	329	350	368	333	284
100	242	195	267	240	294	318	293	277	266
X	218	216	217	269	294	322	344	345	278

1) Ensayo a base de calcio y fósforo.

Para este ensayo se utilizó un suelo franco-arcilloso al cual se le agregó 500 ppm de Cu** usando como fuente el sulfato. Después de mantenerlo por 72 horas en incubación en húmedo, se colocó en potes de cartón parafinado, agregando a cada pote los respectivos tratamientos de calcio, como polvo fino uniformemente mezclado con el suelo, y fósforo como solución de H₃PO₄. Los tratamientos de calcio y fósforo, niveles y datos de producción de materia seca de las plantas de arroz sembradas en cada pote se apuntan en el Cuadro 3.

El análisis estadístico de estos datos muestra una diferencia significativa al 5% entre las parcelas, agrupándose como producción significativamente superior los promedios decrecientes de las parcelas correspondientes a: 1-Suelo sin Cobre; 2-Suelo con 500 ppm de Cobre más la aplicación de 4000 Kg/Ha de CaCO₃ y 3-Suelo con 500 ppm de Cobre más la aplicación de 2000 Kg/Ha de CaCO₃. La aplicación de sulfato de calcio no indujo corrección alguna en los síntomas de fitotoxicidad observados, en tanto que la aplicación de los niveles de hidróxido los corrigió parcialmente, notándose siempre una ligera clorosis.

La fijación del fósforo aplicado fue afectada por la presencia de altas cantidades de Cobre y Cobre más Calcio, como puede observarse en el Cuadro 4, indicando la posibilidad de que se formen fosfatos de cobre en el suelo, los cuales pueden estar influidos en su solubilidad por la acidez, como lo indica Jamison (1).

CUADRO 4. EFECTO DE COBRE Y COBRE MAS CALCIO EN LA FIJACION DEL FOSFORO.

Fósforo agregado ppm	Fósforo		
	Porcentaje de Fósforo Fijado		
	Suelo	Suelo más Cobre	Suelo más Cobre y Calcio
50	84.4%	27.2%	13.4%
100	42.7%	35.5%	27.4%

2) Ensayo a base de agentes formadores de quelatos y calcio

Con el propósito de disminuir la cantidad de cobre intercambiable contenido en los suelos, se hizo un ensayo exploratorio con aplicación de calcio y agentes formadores de quelatos, tales como herbicidas, leche y EDTA. El calcio se aplicó a razón de 100 ppm de elemento puro; los herbicidas se aplicaron en concentración de 1.5 ppm y el EDTA y leche a 3 ppm.

Se aplicaron los siguientes tratamientos:

1. Calcio-Treflan-2 4 D;
2. Treflan 2, 4 D;
3. Calcio-Gesagard-2, 4 D;
4. Gesagard-2, 4 D;
5. Calcio-Stam F 34-2, 4 D;
6. Stam F 34-2, 4 D;
7. EDTA, y 8: Leche.

Los resultados obtenidos en este ensayo muestran que los mejores tratamientos en cuanto a apariencia, color, desarrollo y producción de materia seca lo constituyeron los tratamientos a base de EDTA y leche, así como aquellos en que se incluyó el calcio.

3) Ensayos a base de elementos menores y enmiendas de sustancias formadoras de quelatos.

Se plantaron dos ensayos en diseño de Parcelas en Banda cruzada, usándose las siguientes enmiendas como bandas cruzadas:

Banda	Enmienda	Concentración
A	CaCO ₃	1000 ppm
B	2, 4 D-Gesagard	0.5 ppm
C	Leche	5 ppm
D	EDTA	10 ppm
E	Phytar 560	0.37 ppm

En el primero de los ensayos se aplicaron como parcelas los siguientes elementos ordenados en un arreglo factorial, utilizando compuestos químicamente puros: óxido de magnesio, 160 Kg/Ha; quelato de hierro, 30 Kg/Ha; molibdato de sodio, 1 Kg/Ha, y óxido de manganeso 20 Kg/Ha.

En el segundo de estos ensayos se usaron los siguientes micro-elementos como sulfatos, también ordenados en un arreglo factorial: sulfato de zinc, 30

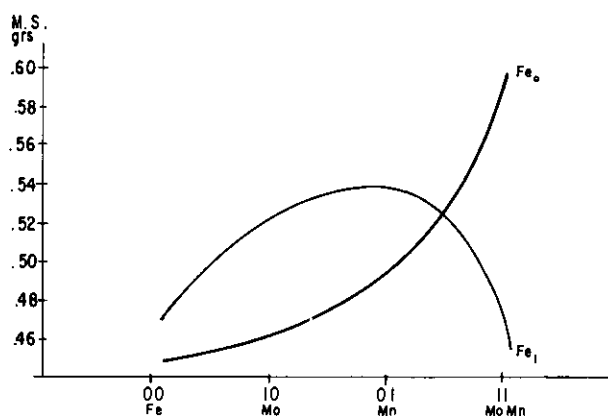


Figura 1.- Efecto del hierro en la interacción Fe x Mo x Mn (I ensayo)

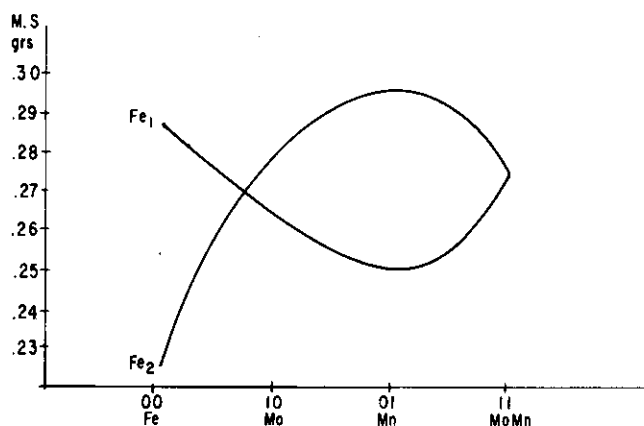


Figura 2.- Efecto del hierro en la interacción Fe x Mo x Mn (II ensayo)

Kg/Ha; sulfato de hierro, 30 Kg/Ha; sulfato de molibdeno, 1 Kg/Ha; y sulfato de manganeso 20 Kg/Ha.

Para estos ensayos se utilizó un suelo con 250 ppm de cobre soluble, colocando en potes de cartón parafinado 250 g. de suelo y el respectivo tratamiento. En cada pote se plantaron 25 semillas de arroz variedad 'Nilo No. 1', dejándose crecer por 30 días bajo condiciones de invernadero.

En el primero de los ensayos, las enmiendas (bandas) correspondientes a los tratamientos 1000 ppm CaCO_3 ; 5 ppm de leche en polvo y el de 10 ppm EDTA, produjeron una cantidad significativamente superior de materia seca.

Entre las parcelas (microelementos), la interacción Fe x Mo x Mn dio significación al 5% en el primer ensayo, y junto con la interacción Zn x Mo dio significación al 1% en el segundo ensayo.

El tratamiento Fe x Mo x Mn fue analizado por separado en ambos ensayos para determinar la tendencia, habiéndose obtenido una tendencia detrimente para el hierro en su nivel Fe₁ y una tendencia beneficiosa para el nivel Fe₀ indicando por la parábola ascendente positiva. (Ver Figuras 1 y 2).

Conclusiones Preliminares

Habiéndose obtenido de los ensayos realizados que, la aplicación al suelo de dosis altas de carbonato de

calcio y fósforo, así como el uso de sustancias formadoras de quelatos y fertilización con algunos micronutrientes, tienen efectos benéficos en atenuar o corregir la fitotoxicidad inducida por exceso de cobre en el suelo, se ha juzgado necesario el iniciar las experiencias de campo con el uso de esos correctivos.

Hasta el presente se ha realizado un ensayo de campo preliminar, con el uso de dosis crecientes de carbonato de calcio en combinación con mezclas de micronutrientes, indicando los datos preliminares obtenidos una respuesta satisfactoria para la interacción de ZnMo y ZnMn, así como una tendencia a aumentar la producción de grano con el aumento de los niveles de Carbonato de calcio aplicados.

Literatura Citada

1. Jamison, Vernor C. The effect of particle size of copper and zinc sources and of excessive phosphates upon the solubility of copper and zinc, in a Norfolk fine sand. Soil Science Society of America, Proceedings, Vol. 8, 1944.
2. Spencer, W. F. A rapid test for possible excesses of copper in sandy soils. Florida Agricultural Experiment Station, Bulletin J44. 1954.
3. ——. Effect of copper on yield and uptake of phosphorous and iron by citrus seedlings grown at various phosphorus levels. Soil Science, November 1966.