

EFFECTOS TÓXICOS DEL COBRE SOBRE PLANTAS DE ARROZ. BARÚ, PANAMÁ. 1999.¹

Leonardo A. Marcelino ²; Jaime Espinosa ³

RESUMEN

El estudio se inició en abril de 1999, en la localidad de La Esperanza, Barú, Chiriquí, República de Panamá, con el objetivo de determinar la relación concentración de cobre y su efecto tóxico en plantas de arroz. El mismo se ubicó a 30 msnm, en una zona de la vertiente del Pacífico afectada por la contaminación con Caldo Bordelés, a los 08° 24' 20.6" latitud Norte y 83° 43' 27.6" longitud Oeste. Se estableció un vivero, con envases plásticos de 50 cm de altura, con un volumen de 16 lt; éstos tenían perforaciones en su base y fueron colocados a campo abierto, sin cobertura vegetal; el suelo fue obtenido en la localidad de Progreso, distrito de Barú, en un área no contaminada con cobre. Los tratamientos (microparcels) fueron dispuestos en un diseño Completamente al Azar; en concentraciones de cobre como $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($\leq 10, 250, 500, 750$ y $1,000$ mg de cobre/kg de suelo seco). La siembra de plantas de arroz (variedad IDIAP-863) se realizó a una densidad equivalente a 113.62 kg/ha y se cosechó a los 120 días. El análisis de cobre en las estructuras de las plantas determinó, en las muestras de raíces, concentraciones de cobre de $1,847.6$ mg/kg; las muestras compuestas de tallos y hojas presentaron niveles máximos de 4.8 mg/kg, registrándose en las muestras de panículas los valores más bajos (1.9 mg/kg). Se concluyó que la planta de arroz acumula altas cantidades de cobre en sus raíces; ello se explica por un mecanismo genético de defensa que reduce la traslocación del cobre a las partes aéreas de la planta. Las variables como altura de planta, total de granos por planta, granos llenos por planta, granos vanos por planta, panículas por planta y granos por panículas fueron afectadas negativamente en las concentraciones superiores a 500 mg de cobre/kg de suelo. Síntomas de la toxicidad del cobre como clorosis y pobre vigor de la planta de arroz se incrementaron a medida que aumentaban las concentraciones de cobre en el suelo.

PALABRAS CLAVES: *Oryza sativa*; arroz; suelo contaminado; sulfato de cobre; microparcels; crecimiento; Panamá.

¹ Marcelino, L.A. 2002. Estudio de los Posibles Efectos Toxicológicos del Sulfato de Cobre sobre Microorganismos del Suelo y Plantas de Arroz en el Distrito de Barú. Panamá. Tesis Mag. Sci. David, Panamá. USMA. 96 p.

² Ing. Agr. Gerente del PID-Plátano, IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOC). e-mail: lmarcelino@idiap.gob.pa

³ Ph.D. Toxicología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Oriental (CIAOr). e-mail: jespino@idiap.gob.pa

TOXIC EFFECTS OF COPPER IN RICE PLANTS. BARÚ, PANAMÁ. 1999.

This study began on april 15, 1999, in the locality of La Esperanza, Barú District, Province of Chiriquí, Republic of Panama, with the objective of determining concentrations of copper and the toxic effect in rice plants. The experiment was located at 30 masl, within a zone of the Pacific Ocean Slope, 08° 24' 20.6" North Latitude and 83° 43' 27.6" West Longitude, affected by Bordeles Broth contamination. A rice nursery was established in 0.5 m height plastic drums with capacity of 16 lt; holes were made at the bottom of all drums and they were placed in the open field without any covering. All drums were filled with soil from an area of Progreso, District of Barú, free of copper contamination. Treatments (microplots) were distributed following a Completely Randomized Design and consisted in adding copper from $\text{Cu}_4\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ to soil in the drums, at $\leq 10, 250, 500, 750$ and 1000 mg of copper/kg of soil. Rice plants of IDIAP 863 variety were sowed in each drum at a density equivalent to 113.62 kg/ha. Rice plants were harvested after 120 days from microplots establishment. The analysis of copper in plant tissues showed copper concentrations of 1847.6 mg/kg in roots, a maximum of 4.8 mg/kg in stem and leaves combined samples, with the lowest values found in panicles (1.9 mg/kg). Experimental variables as plant height, total amount of kernels per plant, total amount of filled kernels per plant, total amount of empty kernels per plant, the amount of panicles per plant, and the amount of kernels per panicle were negatively affected by copper concentrations above 500 mg/kg of soil. Symptoms like yellowing and poor plant vigor were observed as copper concentrations in soil were increased.

KEY WORDS: *Oryza sativa*; rice; contaminated soil; copper sulphates; microplots; Panama.

INTRODUCCIÓN

El recurso suelo presenta la dicotomía de constituir el pilar básico en que se sustenta el equilibrio biótico natural y, al mismo tiempo, ser uno de los factores de producción más importantes de las actividades humanas, las cuales poseen un alto potencial modificador de los recursos y sistemas ambientales, como son la agricultura, la ganadería y la silvicultura, generando uno de los conflictos ambientales más importantes (Heckadon, 1999).

En la solución del suelo se encuentra muy poco cobre disponible en forma disuelta, estimándose que la solución de los suelos comúnmente contiene 0.01 mg/kg de cobre y que la cantidad real en el agua no debe sobrepasar 1% del suelo (Gar-

cidueñas, 1996). El cobre es absorbido por la planta sólo en bajas cantidades; el requerimiento de la mayoría de los cultivos es menor de 50 g/ha. A pesar de ello, hay suelos deficientes en cobre, lo cual puede limitar los rendimientos. Esto se interpreta debido a la baja movilidad del cobre divalente en el suelo (Belalcázar, 1991).

En el distrito de Barú, provincia de Chiriquí y principalmente en los corregimientos de Puerto Armuelles y Progreso, actualmente existen 2,500 ha de arroz que presentan niveles superiores a los 400 mg/kg de cobre, debido a las aplicaciones sistemáticas anteriores de Caldo Bordelés ($\text{SO}_4\text{Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{CaOH}$) durante el período de 1932 a 1937, para el control de la enfermedad conocida

como Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum*) (Mahlberg, 1990).

En Barú, actualmente se siembran 4,000 ha de arroz que representan el 14.3% del total del área dedicada al cultivo de arroz en la provincia de Chiriquí, por lo cual este Distrito se constituye en parte fundamental para satisfacer las necesidades alimenticias de la población panameña. Informes del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA, 1999) señalan mermas de hasta un 22%, cuando se comparan los rendimientos obtenidos en parcelas con altos niveles de cobre (300 - 2,500 mg/kg) y los obtenidos en parcelas con niveles normales de este elemento (trazas \leq 10 mg/kg).

El cobre, en solución acuosa y en concentraciones superiores a los 40 mg/kg, posee propiedades anti-biostáticas, lo cual es indicativo potencial de un efecto contraproducente sobre cultivos y segmentos de la biota del suelo en aquellas áreas en las cuales se realizaron aplicaciones de Cu en altas concentraciones y prolongado tiempo. Niveles de cobre en el suelo dentro del rango de 0 a 2 mg/kg, aportan los niveles necesarios para el desarrollo óptimo de la planta de arroz. En Panamá no se ha determinado en qué medida las altas concentraciones de cobre en el suelo ejercen un efecto sobre el desarrollo y productividad de las plantas en general y, en el cultivo de arroz en particular, por lo cual se

planteó el presente estudio, para determinar la relación concentración de cobre y su efecto tóxico en plantas de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se inició el 15 de abril de 1999, en la localidad de La Esperanza, distrito de Barú, provincia de Chiriquí, ubicada a 30 msnm, 08° 24' 20.6" latitud Norte y 83° 43' 27.6" longitud Oeste; con precipitación anual de 2,625 mm y temperatura promedio mensual de 28.3°C.

La investigación se realizó mediante un ensayo de campo establecido en un vivero a cielo abierto. Se utilizaron envases plásticos de 50 cm de altura, con un volumen de 16 lt, perforados en su base. En el fondo de cada uno de los recipientes, se colocó una capa de 7 cm de arena y el equivalente a 11 kg de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm que, en el análisis químico sólo mostró trazas de cobre (\leq 10 mg/kg), de la familia Typic Hapludolls, textura franco-arenosa, isohypertérmico; pH 6.1; niveles altos de potasio (295.6 Cmol/kg), calcio (11.4 Cmol/kg) y materia orgánica (9.11%); niveles bajos de fósforo (6.1 mg/kg), aluminio (trazas), manganeso (7.5 mg/kg), hierro (10.8 mg/kg) y cobre (1.5 ug/ml). Por estar el sitio del estudio localizado en un área plana se presentan vientos superiores a 30 km/h durante la estación seca y un nivel

friático alto durante la época de lluvias; por lo cual se siguieron las recomendaciones de la Comunidad Económica Europea para este tipo de estudios (CEE, 1984).

Las micro-parcelas se distribuyeron en un Diseño Completo al Azar (DCA), con cuatro repeticiones y cinco tratamientos (≤ 10 , 250, 500, 750 y 1,000 mg de cobre/kg de suelo), utilizando sulfato de cobre pentahidratado como fuente de cobre, el cual se diluyó, según el tratamiento correspondiente, en cuatro litros de agua destilada. Esta solución fue agregada al suelo y mezclada mecánicamente hasta lograr homogeneidad, lo cual fue confirmado mediante análisis químico del Cu.

A las 24 horas de haber preparado las distintas concentraciones de cobre, en cada micro-parcela se marcaron tres surcos a 12 cm de distancia; y en cada una se sembraron cuatro semillas certificadas de arroz (*Oryza sativa*), variedad IDIAP-863, a una distancia de 8 cm entre plantas.

Para realizar los análisis de la concentración de cobre en las distintas partes de la planta de arroz, después de cuatro meses se procedió a la colecta al azar de muestras compuestas de raíces, tallos-hojas y panoja. Para el análisis de las mismas se utilizó la digestión ácida y la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, en

el Laboratorio de Diagnóstico de Bromatología del IDIAP, ubicado en Gualaca, provincia de Chiriquí.

Para el análisis de la información se utilizaron diferentes métodos estadísticos, según las características de los datos, incluyendo la transformación logarítmica (\log_{10}). Esto permitió obtener ecuaciones confiables empleando las curvas de respuesta al cobre resultantes mediante los siguientes modelos:

* **Muestras de raíces:** Regresión cuadrática con transformaciones logarítmicas.

* **Muestras de hoja-tallo y panículas:** Regresión cúbica con transformaciones logarítmicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de cobre en raíces

El modelo cuadrático de los datos reflejó un menor coeficiente de variación y un mayor coeficiente de determinación que el modelo lineal (Cuadro 1). Las concentraciones de cobre en las raíces fueron altamente significativas y aumentaron a medida que incrementó el cobre presente en el suelo (Figura 1); esta relación está representada por la ecuación de regresión:

$$\hat{y} = -0.440X + 2.288 \times 10^{-3}X^2$$

CUADRO 1. CUADRADO MEDIO PARA LA CONCENTRACIÓN DE COBRE EN RAÍCES DE PLANTAS DE ARROZ (mg/kg).

F de V	gl	CM	CV	r ²
Lineal	1	64473947 **	58.47	0.85
Cuadrático	1	6759801 **	35.89	0.95
Residual	78			
Total	80			

** Diferencia altamente significativa (P<0.01)

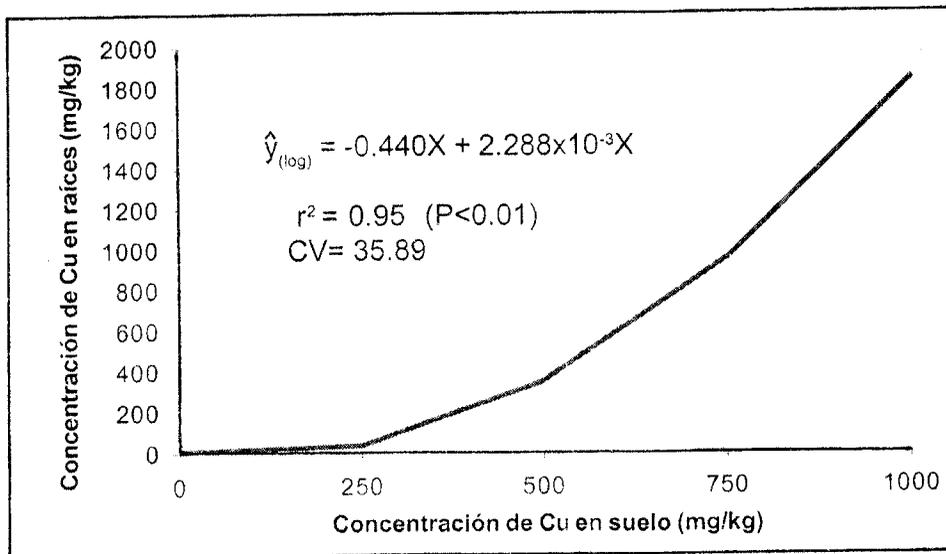


FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES DE COBRE EN SUELO Y RAÍCES DE ARROZ.

Posteriormente, se registró un incremento del contenido de Cu en la raíz, a medida que el contenido de Cu en el suelo aumentaba de 250 - 750 mg/kg. La mayor acumulación de Cu en las raíces se observó cuando se aplicaron 750 - 1,000 mg de Cu/kg de suelo. Al respecto, Malavolta (1976) indicó que la capacidad reductora en la zona radicular o en la planta es un factor que controla la utilización diferencial de minerales en la planta, indicando que esta tolerancia a altos niveles de Cu es controlada genéticamente. Efectos similares han sido presentados por Haag y col. (1973) y Andrade (1973), citados por Malavolta (1976).

Contenido de cobre en tallo-hoja

Los resultados de los contenidos de cobre en el tallo - hoja, están dados por la ecuación:

$$\hat{y}_{(\log)} = 0.013754X - 2.2573 \times 10^{-5}X^2 + 1.1821112 \times 10^{-8}X^3$$

y plasmados en la Figura 2, en la cual el primer incremento exponencial se presenta en suelos con rango de 0 - 10 mg/kg de Cu. A partir de este nivel, la concentración de Cu en las muestras de hoja-tallo (Cuadro 2) se mantiene estable, hasta cuando los niveles de Cu en el suelo alcanzan los 500 mg/kg, para luego incrementarse

hasta cuando los niveles de Cu en el suelo alcanzan los 750 mg/kg. Desde este nivel hasta 1,000 mg/kg, se observa una marcada alteración en la acumulación de Cu en las muestras de tallo-hoja, hasta alcanzar la máxima concentración registrada (11.9 mg/kg).

Contenido de cobre en la panícula

Con las transformaciones logarítmicas de los datos (\log_{10}), se observó que el mejor ajuste se obtuvo con el modelo cúbico (Cuadro 3), que presenta un mejor coeficiente de variación (CV = 43.22%) y un mayor coeficiente de determinación ($r^2 = 0.82$). Lo anterior permite que este pueda ser utilizado como modelo predictivo para la variable de respuesta *contenido de cobre en la panícula*, con base en la ecuación resultante:

$$\hat{y}_{(\log)} = 1.435 \times 10^{-2}X - 2.469 \times 10^{-5}X^2 + 1.277 \times 10^{-8}X^3$$

Los niveles de Cu en la panícula de las plantas de arroz, se mantienen bajos hasta el nivel de 250 mg/kg de Cu en el suelo (Figura 3). Posteriormente, hay una acumulación creciente y consistente hasta llegar al nivel de 750 mg/kg de Cu en el suelo y a partir de ese nivel hasta llegar a 1,000 mg/kg, ocurre un incremento acelerado en la acumulación de Cu en la panícula, llegando a alcanzar la máxima concentración registrada (1.9 mg/kg).

CUADRO 2. CUADRADOS MEDIOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE COBRE DE TALLO-HOJA DE PLANTA DE ARROZ (mg/kg).

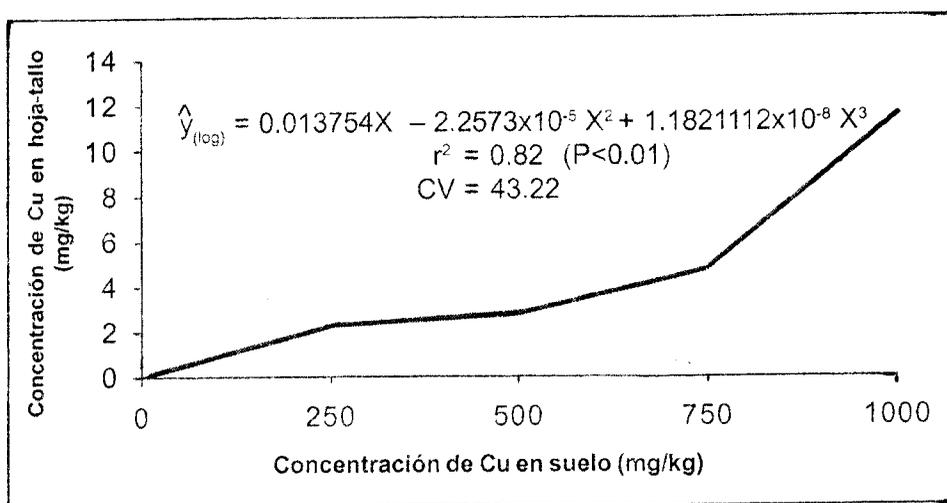
F de V	gl	CM	CV	r ²
Lineal	1	358.370062 **	89.02	0.73
Cuadrática	1	39.023887 **	57.17	0.79
Cúbica	1	7.460172 **	43.22	0.82
Residual	72			
Total	75			

** Diferencia altamente significativa (P<0.01)

CUADRO 3. CUADRADO MEDIO PARA LA CONCENTRACIÓN DE COBRE EN PANÍCULAS DE PLANTAS DE ARROZ (mg/kg).

F de V	gl	CM	CV	r ²
Lineal	1	305.594745 **	56.26	0.63
Cúbica	1	48.936336 **	45.37	0.80
Cuadrática	1	10.208570 **	43.22	0.82
Residual	77			
Total	80			

** Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES DE COBRE EN SUELO Y TALLO-HOJA DE ARROZ.**

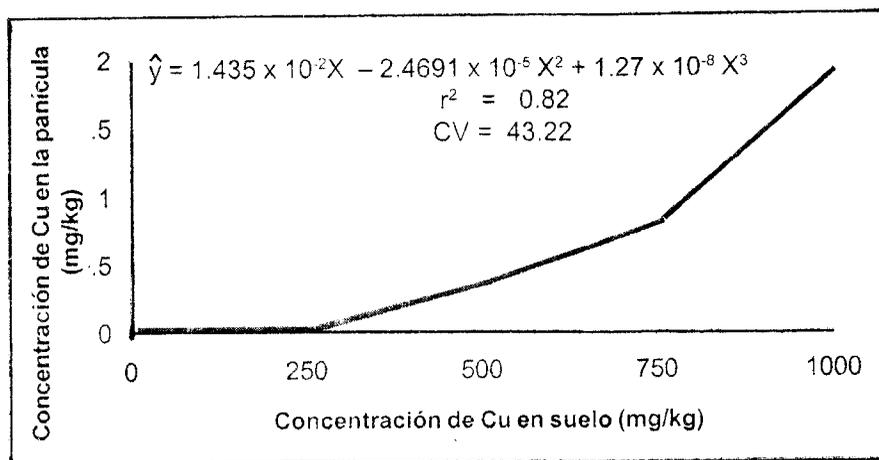


FIGURA 3. RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES DE COBRE EN EL SUELO Y LAS PANÍCULA DE ARROZ.

b) EFECTOS DE LAS CONCENTRACIONES DE COBRE SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA A LA COSECHA

Los resultados de los análisis realizados a los datos registrados al momento de la cosecha de las plantas de arroz y con base en los análisis de varianza de los modelos de regresión cuadrática (con el mejor ajuste de los datos), se indican en el Cuadro 4.

Altura de la planta

Los resultados del efecto de los contenidos de cobre en el suelo sobre la altura de la planta de arroz, están representados en la Figura 4, cuyos valores están dados por la ecuación:

$$\hat{y}_{(\log)} = 7729.62 - 4.66X + 2.11 \times 10^{-3} X^2$$

En el punto inicial de esta curva, las plantas registraron una altura de 74.6 cm, lo cual está dentro del rango normal de altura de la variedad de arroz utilizada (IDIAP-863). A medida que aumentó la concentración de cobre en el suelo disminuyó la altura de la planta; este comportamiento se observa en la curva como una deflexión continua desde el nivel de ≤ 10 hasta 1,000 mg/kg de cobre en el suelo.

Paniculas por planta

Los resultados del efecto de los contenidos de cobre en el suelo sobre el número de panículas por planta de arroz, están representados en la Figura 5 en donde se observa una reducción consistente de panículas por planta a medida que se incrementa el contenido de cobre en el suelo hasta 750 mg/kg de cobre;

CUADRO 4. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS MODELOS DE REGRESIÓN CUADRÁTICA PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA A LA COSECHA DE LAS PLANTAS DE ARROZ.

F de V	gl			CM	CV %	r ²
	Modelo	Error	Total			
Altura de planta	2	197	199	86404150.76200	22.85	0.92
Granos por planta	2	197	199	60119483.61200	18.09	0.89
Paniculas por planta	2	197	199	1070.85714	11.31	0.85
Granos por planta	2	197	199	74813.17500	8.68	0.87
Granos vanos/panoja	2	197	199	53966.76214	32.42	0.82
Granos llenos por planta	2	197	199	246043.97714	16.64	0.93
Total granos vanos por planta	2	197	199	53966.76214	32.42	0.82

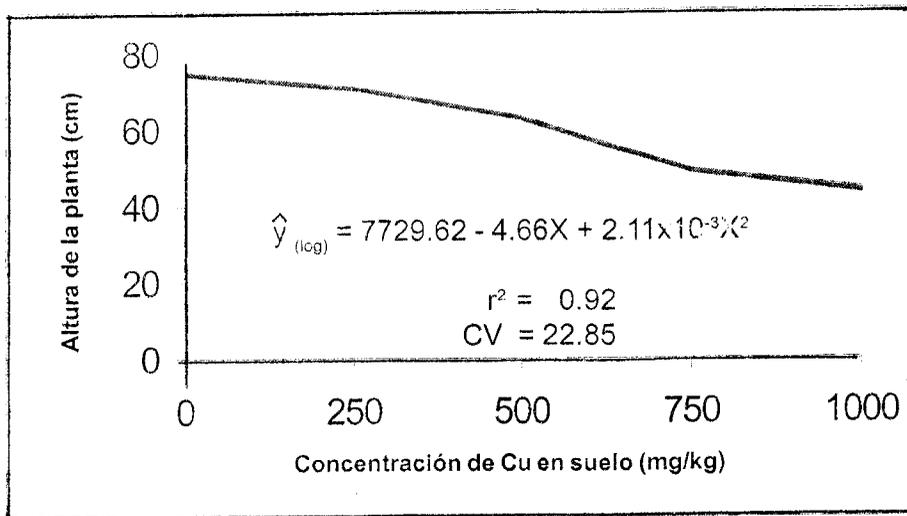


FIGURA 4. ALTURA DE PLANTA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE COBRE EN EL SUELO.

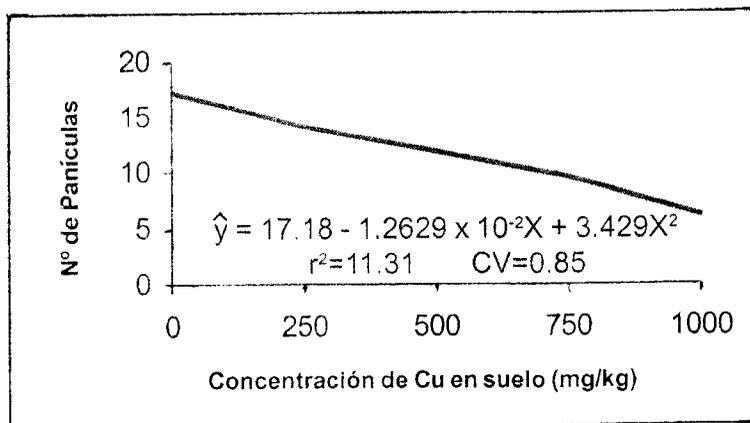


FIGURA 5. PANÍCULAS POR PLANTA DE ARROZA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE COBRE EN EL SUELO.

posteriormente, se forma una deflexión más pronunciada en el intervalo de 750-1,000 mg/kg de cobre en el suelo.

Esta curva muestra que bajo condiciones de ≤ 10 mg/kg de Cu en el suelo, se puede esperar un rendimiento de 17.5 panículas por planta, lo cual le confiere a la densidad de la panícula una calificación de 9 y una categoría de compacta, según la escala de clasificación para variedades de arroz (IDIAP, 1998) y corresponde a la respuesta que pudiera esperarse de la variedad IDIAP-863, cultivada bajo condiciones favorables. El valor mínimo encontrado se registró a una concentración de 1,000 mg/kg de Cu en el suelo y fue de 6.4 panículas por planta, ubicando esta condición en una calificación de 4 y en una categoría de

muy abierta, según la escala de vigor del Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT) (IDIAP, 1998). Estos últimos resultados no corresponden a la expresión genotípica de la variedad IDIAP-863, cuando es cultivada bajo condiciones favorables y ello confirma el efecto tóxico del cobre sobre el arroz.

Granos por planta

El efecto de los niveles de Cu sobre el número de granos por planta, está representado en la Figura 6, donde se observa una tendencia a reducir el número de granos por planta a medida que se incrementan las concentraciones de Cu en el suelo. Esta reducción se presenta en forma exponencial y constante entre los niveles ≤ 10 y 750 mg/kg de Cu en el suelo, después de lo

cual decrece ligeramente hasta llegar a los 1,000 mg/kg de Cu en el suelo. El valor máximo alcanzado para la variable número de granos fue de 2,825 granos por planta y el más bajo, de 746 granos por planta en 1,000 mg/kg de Cu en el suelo.

Este resultado muestra claramente el efecto del Cu sobre la productividad de la planta.

Granos llenos por planta

La ecuación de un modelo de regresión cuadrático para la variable

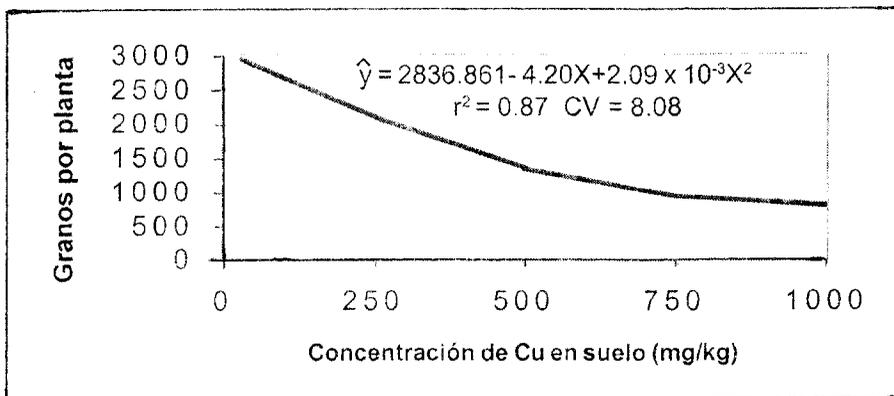


FIGURA 6. GRANOS POR PLANTA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE COBRE EN EL SUELO.

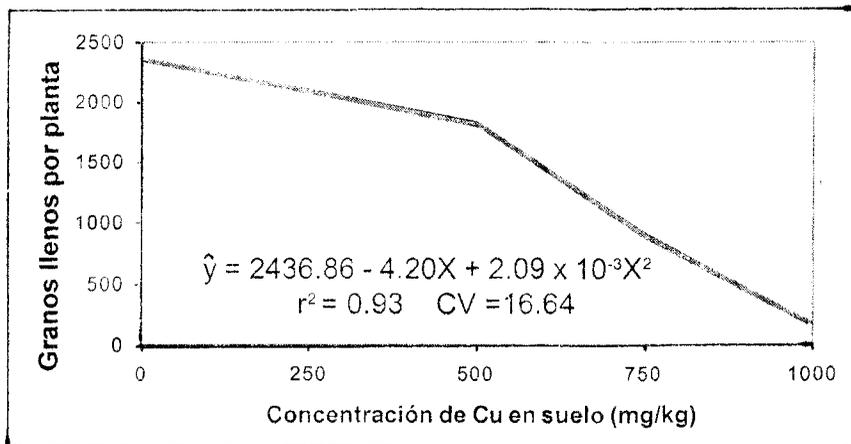


FIGURA 7. GRANOS LLENOS POR PLANTA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE COBRE EN EL SUELO.

granos llenos por planta presenta una curva con un punto de deflexión bien definido en el nivel de 500 mg/kg de Cu en el suelo, que parte desde 2,428 granos llenos por planta (≤ 10 mg/kg de Cu) y decrece hasta un valor de 1,723 granos por planta (500 mg/kg de Cu en el suelo). En este punto, la curva presenta una pronunciada deflexión que continúa decreciendo hasta 923 granos llenos por planta (750 mg/kg de Cu en el suelo) y continúa decreciendo hasta caer a 243 granos llenos por planta (1,000 mg/kg de Cu) tal como se aprecia en la Figura 7.

Total de granos vanos por planta

La evaluación de la curva de respuesta resultante, para la variable granos vanos por planta, muestra que se presenta un incremento continuo del número de granos vanos a medida que aumenta la concentración de Cu en el suelo. Esta tendencia se incrementa a partir de 750 mg/kg de Cu en el suelo, después de lo cual se nota una aceleración en el total de granos vanos por planta tal como se aprecia en la Figura 8.

El valor numérico reportado de granos vanos por planta fue de 110 en una concentración de ≤ 10 mg/kg de Cu en el suelo y el más alto fue de 548 en la concentración de 1,000 mg/kg de Cu en el suelo.

Para una mejor comprensión de las respuestas obtenidas, deben considerarse en forma integral todos los resultados y tendencias observadas en las variables anteriormente descritas. Adicionalmente, se debe tener presente que los resultados observados son el producto de la interacción existente entre el suelo, la planta y los elementos presentes en el suelo, ya que la absorción de los minerales y nutrimentos obedece a condiciones internas y externas a la planta (Mascarenhas, 1973). Malavolta (1976) señala que la materia orgánica tiene la capacidad de formar quelatos con nutrimentos utilizados por las plantas, regulando de esta manera la entrada de éstos al xilema de las raíces. En este sentido, hay que tomar en cuenta que el suelo empleado en el estudio posee 9.11% de materia orgánica y un pH 6.1 (muy ácido); ambos son factores que afectan la disponibilidad del Cu aplicado en los distintos tratamientos.

Además, el Cu sólo es asimilado por la planta en forma de ión divalente (Cu^{++}) (Haddad, 1994) y la materia orgánica del suelo ejerce un efecto quelatante sobre altos niveles de Cu disponible en el suelo disminuyendo el efecto fitotóxico sobre el cultivo de arroz. Este efecto amortiguador del suelo sobre el cobre, lo lleva a una condición quelatizada, dificultándole la penetración a la raíz de la planta. Además, el pH ácido del suelo puede reducir la accesibilidad del Cu para ser

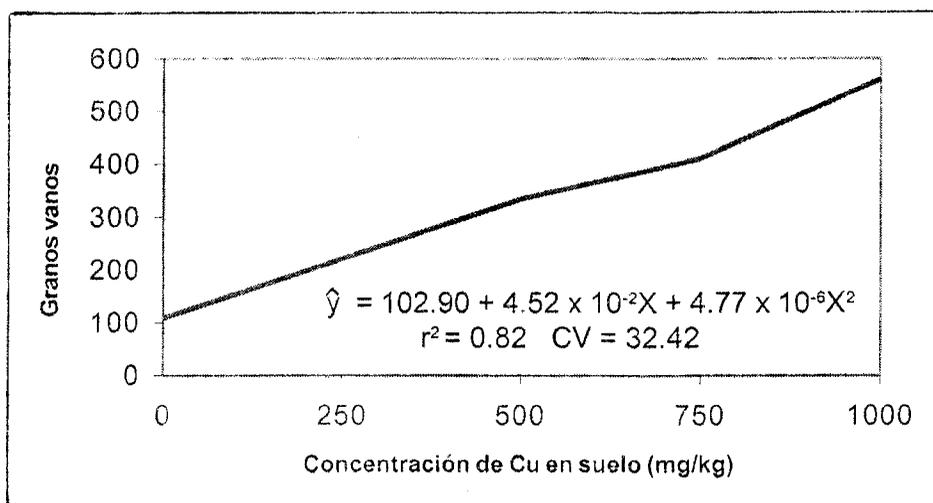


FIGURA 8. GRANOS VANOS POR PLANTA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE Cu EN EL SUELO.

asimilado por la planta. Estas son algunas de las interacciones que explicarían por qué a niveles de 250 mg/kg de Cu no se presentaron diferencias marcadas con el testigo (≤ 10 mg/kg del suelo) en todas las variables de producción estudiadas y del por qué a ese rango de concentración de cobre, no se observó grandes acumulaciones de este metal en la raíz, tallo-hoja ni en la panícula.

A medida que las concentraciones de Cu en el suelo fueron superando los 500 mg/kg y aproximándose a los 750 mg/kg, el efecto amortiguador se fue reduciendo; por lo cual se presentó una mayor penetración de cobre en el xilema induciendo una alta concentración de cobre en otras estructuras de

la planta y también efectos detrimentales sobre las variables de producción de arroz. Por lo anteriormente expuesto, en las curvas de respuesta estudiadas se observa que de 250 - 750 mg/kg de suelo ocurre un cambio en la curva, que de una u otra manera perjudica las respuestas del cultivo.

Otro de los mecanismos que explica el comportamiento de las curvas de respuestas, es la capacidad genética de la planta para concentrar en sus raíces altos niveles de metales; en este caso Cu, evitando así la intoxicación de toda la planta (Malavolta, 1976). Este sistema preventivo puede retener altas concentraciones de Cu en las raíces de arroz hasta niveles de 750 mg/kg de Cu en el suelo y lograr que aun a

esas altas concentraciones de cobre se obtuviera algún grado de cosecha.

La capacidad de retención de metales, anteriormente señalada, tiene una elasticidad definida y fue sobrepasada en los rangos superiores a 750 mg/kg, por lo cual en todas las curvas de respuesta para las variables estudiadas se aprecia un punto de inflexión o deflexión en ese nivel de concentración, posterior a lo cual las curvas de respuesta tienden a aumentar, según sea el efecto del Cu sobre la variable.

Amaral (1989), citado por Romero (1995), señala que una alta relación Cu/Fe o Cu/Mo en el suelo causa una menor absorción de Fe y Mo. Generalmente las deficiencias de Fe ocurren por el exceso de elementos como Cu, Ca, Mg, Mn o Zn (Palencia, 1980). Gargantini (1980) indica que el Fe parece estar relacionado con la síntesis de RNA y se encuentra formando parte de una ferroproteína en los ribosomas; en su ausencia, los cloroplastos no ejercen adecuadamente su función en el proceso de fotosíntesis.

CONCLUSIONES

- ❖ Se presentan diferencias en el desarrollo, rendimiento y concentración de cobre en la planta de arroz según la concentración de cobre en el suelo.

- ❖ El desarrollo, rendimiento y calidad del grano de arroz se ve reducido, en el cultivo de arroz, en la medida que aumenta la concentración de cobre en el suelo, siendo crítico niveles sobre los 500 mg/kg.
- ❖ La planta de arroz acumula altas concentraciones de cobre en el sistema radicular como mecanismo genético de tolerancia a la toxicidad de cobre en el suelo.
- ❖ La planta de arroz regula la traslocación del cobre a estructuras aéreas como tallo, hojas, panículas y granos.
- ❖ Los mecanismos genéticos de tolerancia funcionaron hasta una concentración de 500 mg/kg de cobre en el suelo.

RECOMENDACIONES

- ◆ Se deben realizar ensayos de campo, en el cultivo de arroz, para inactivar el efecto fitotóxico del cobre en los suelos que han tenido tradición bananera usando algunas enmiendas.
- ◆ Se requiere realizar otros estudios para determinar en fincas del productores el nivel crítico de toxicidad del cobre sobre plantas de arroz en suelos con altas concentraciones de cobre.

BIBLIOGRAFÍA

- BELÁCÁZAR, S. 1991. El cultivo del Plátano en el Trópico. Manual de asistencia técnica No. 50. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Armenia, Colombia. pp. 223-247.
- COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA (CEE). 1984. Directive 79/831, Annex V, Part C: Methods for the determination of ecotoxicity level 1, earthworms-artificial soil. Comm. Eur. Communities, DG. XI/128/82. París.
- GARCIDUEÑAS, M. 1996. Fisiología Vegetal Aplicada. 3a. ed. McGraw-Hill. México. 354 p.
- GARGANTINI, P. 1980. Fisiología de las Plantas. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 2a ed. México. 187 p.
- HADDAD, O. 1994. Nutrición y predicción en cultivos intensivos de banano en Los Valles de Arauca. Apuntes Técnicos Palmaven. Caracas, Venezuela. 61 p.
- HECKADON, S. 1999. La Cuenca del Canal: Deforestación, Urbanización y Contaminación. PMCCA/ Sumario Ejecutivo. 119 p.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ (IDIAP). 1998. Descripción de la variedad IDIAP-863. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. (Folleto).
- MALAVOLTA, L. 1976. Determinación del efecto de los metales sobre el metabolismo y desarrollo de los cereales. Universidad Autónoma de Tolima. México. pp. 234-276.
- MAHLBERG, G. 1990. Schwermetalle in Boeden, Pflanzen, Fließgewässern und ihren Sedimenten im Bananenanbaugebiet. Barú, Panamá. Ruprecht Karls-Universität, Heidelberg. p.128.
- MASCARENHAS, H. 1973. Acumulación de materia seca, absorción y distribución de elementos durante el ciclo vegetativo de los cultivos. Instituto Agronómico, Campinas. Boletín Técnico No.6. 87 p.
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (MIDA). 1999. Resultados de las actividades productivas del cultivo de arroz mecanizado en la provincia de Chiriquí. Año agrícola 1998-99. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Panamá. Comisión Técnica de Arroz. 10 p.
- PALENCIA, J. 1980. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de

cenizas volcánicas en Centroamérica. Turrialba. Costa Rica. pp. 325-332.

ROMERO, S. 1995. Control de las enfermedades de las plantas. Centro de Fitopatología, Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Chapingo, México. 56 p.