

## Hierro y Zinc en el suelo y su expresión en el grano de arroz

Juliana Nova<sup>1</sup>, Ángel Pimentel<sup>1</sup>, Ángel Adames<sup>1</sup>, Freddy Contreras<sup>1</sup>, Alejandro Pujols<sup>1</sup>, Francisco Jiménez<sup>1</sup> y José Mella<sup>2</sup>

A nivel mundial, la desnutrición causa la muerte de 10.8 millones niños/año menores de cinco años de edad. Estudios indican que el mayor riesgo de deficiencia nutricional está relacionado con el Fe y Zn, seguido por vitamina A. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de hierro y zinc en el suelo y su expresión en el grano de arroz producido en las localidades de Juma, El Pozo y Esperanza en la República Dominicana en la primera época de siembra del 2008. Se utilizaron diez genotipos, en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Se evaluó el contenido de hierro y zinc en el suelo, en el grano integral y pulido, en la hoja bandera y el rendimiento de grano. Se realizaron análisis de varianza, multivariados, relación genotipos/ambiente y separación de medias con Duncan al 5% de probabilidad de error. Los resultados muestran diferencias ( $p=0.0001$ ) del hierro y zinc en el suelo, según la localidad. El suelo de Juma presentó el mayor contenido de Fe ( $362 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), seguido por Nagua ( $104 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y Esperanza ( $50.3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). El contenido de hierro y zinc en el grano de arroz integral y pulido fue diferente ( $p=0.1000$ ) entre las localidades. Esperanza, con  $12.2 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Fe en el grano integral y  $3.0 \text{ mg.kg}^{-1}$  en el grano pulido, superó a Juma ( $10.2$  y  $2.9$ ) y Nagua ( $10.0$  y  $2.3$ ), respectivamente. En cuanto al Zn, Esperanza, con  $24.6 \text{ mg.kg}^{-1}$  fue superior a Juma ( $22.6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y Nagua ( $21.5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Mientras que los genotipos no mostraron diferencia al ( $p=0.0001$ ) con relación al Fe y Zn analizado en el suelo. El rendimiento presentó diferencias estadísticas significativas ( $p=0.0001$ ) entre localidades y genotipos. Esperanza con  $5,572 \text{ kg.ha}^{-1}$  superó a Juma ( $3,357 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y Nagua ( $3,602 \text{ mg.kg}^{-1}$ ); sin embargo, Nagua y Juma no mostraron diferencias estadísticas.

**Palabras clave:** integral, pulido, genotipos, contenido, localidades.

### INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la desnutrición causa la muerte de 10.8 millones niños/año por debajo de los 5 años de edad. Los estudios realizados indican que el mayor riesgo de deficiencia existe para el hierro (Fe) y zinc (Zn), seguido por vitamina A. Se estima que la deficiencia de Fe es la más acentuada a nivel mundial, afectando más de 3.5 billones de personas (Hass *et al.* 2005). América Latina y el Caribe, tienen 94 millones de personas con deficiencia de Fe (Sanint 2004).

Un informe de la FAO (2001), señala que la prevalencia de la subnutrición en la población total en la República Dominicana es de 29%. El arroz constituye la principal fuente de alimentación de la población más pobre de América Latina y el Caribe, que es aproximadamente el 40% del total mundial.

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, después del silicio (Si), oxígeno (O) y aluminio (Al), representa el 5.1% de su peso total, su contenido en suelo se estima en 3.8 % (Lindsay 1979). A partir de la meteorización de los minerales primarios se libera Fe soluble a la disolución, que puede ser utilizado por los organismos. Este microelemento es uno de los nutrientes vegetales que más problemas presenta en la nutrición de los cultivos, esto se debe a que

en sistemas aireados al rango de los pH fisiológicos, la concentración de los iones  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  es inferior, insuficiente para cubrir las necesidades del vegetal. Por regla general, el vegetal toma el Fe (II) con preferencia al Fe (III), mientras que en el transporte a lo largo del xilema, predominan los complejos de Fe (III), (Murad y Fischer 1988; Lindsay 1979).

El Zn es un elemento traza en suelos, plantas y animales, su concentración es baja (inferior a 0.1%). Sin embargo, en pequeñas pero críticas concentraciones, es esencial para el normal desarrollo de las plantas (Sommer y Lipman 1926). El Zn actúa de forma funcional, estructural o como co-factor regulador de un gran número de enzimas, por lo que un exceso de concentración produce perturbaciones en el desarrollo y crecimiento vegetal, que se considera como toxicidad. En el suelo, el contenido de Zn soluble en agua, disminuye con el incremento del pH. Así, un elevado pH del suelo, está correlacionado con la disminución del contenido de metal en el tejido vegetal (Harter 1991). El rango más común de Zn total en los suelos se sitúa entre 10 y 300 mg/kg con una media de 50 mg/kg (Goldschmidt 1954; Krauskopf 1972; Wedepohl 1972; Kiekens 1995), aunque algunos autores proponen un rango más amplio de 1 a 900 mg/kg con una media de 90 mg/kg.

<sup>1</sup> Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD)

En la producción arroceras dominicana se utiliza intensivamente los factores de producción; sin embargo, esta intensidad implica alteración y cambios en la relación suelo-planta-agua. La composición química de los suelos arroceros es muy variable. Matsuya *et al.* (2002), en un diagnóstico de suelo realizado en las zonas agrícolas norcentral, nordeste y noreste, reporta valores de 3 a 7% de MO, 0.08 a 0.2% N, 0.5 a 2% K intercambiable, 20 a 80 ppm de P total, 3.5 a 30 me/100g Ca intercambiable, 1.5 a 10 me/100g Mg intercambiable, >0.2% Fe total, 3 a 15 ppm Cu y Zn total, > 0.75 MS/cm de conductividad eléctrica y 7 a 40 meq/100g cationes intercambiables >0.2% Fe total, 3 a 15 ppm Cu y Zn total, > 0.75 MS/cm de conductividad eléctrica y 7 a 40 meq/100g cationes intercambiables.

En el año 2005, se inició el proyecto internacional AgroSalud enfocado en el mejoramiento nutricional de varios cultivos en América Latina y el Caribe. En el caso del arroz, el objetivo fue obtener variedades con mayor contenido de Fe y Zn. La biofortificación del arroz con estos dos elementos, podría mejorar los niveles nutricionales de más de 90 millones de personas que dependen, exclusivamente de este cultivo para su alimentación diaria, (Haas *et al.* 2005).

El arroz manifiesta una fuerte interacción genotipo ambiente, principalmente en la expresión del rendimiento y sus componentes. García (2004), encontró que la variable rendimiento mostró una fuerte interacción con el ambiente, no así con los componentes del rendimiento. En la República Dominicana, se encontró en la Herradura, Santiago un rendimiento promedio de 7,000 y 9,800 kg.ha<sup>-1</sup> y en los ambientes de Esperanza, Valverde de 300 kg.ha<sup>-1</sup>, Flores *et al.* (2008), Los cuales fueron significativamente superiores al encontrado por Fabián y Pichardo (2008), en la localidad de El Pozo, María Trinidad Sánchez, que fueron 3,900 y 5,300 kg.ha<sup>-1</sup>.

Investigaciones realizadas con cultivos biofortificados, han mostrado impactos positivos. El consumo de arroz biofortificado con hierro y zinc aumentó en 20% el hierro almacenado (ferritina) en mujeres en edad fértil en Filipinas (Haas *et al.* 2005).

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar si el hierro y el zinc en el suelo, influyen en el contenido de los minerales en el grano de arroz, tanto pulido como integral, a través de varios ambientes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se instalaron en la primera época de siembra del 2008 en las localidades de Juma, provincia Monseñor Nouel, localizada en los 18°54 latitud N y 70°23 longitud O y altitud de 178 msnm. La temperatura media anual es de 23.6°C y la pluviometría media anual es de 2,100mm. Suelo franco arcilloso, con 2.5% de ma-

teria orgánica y pH 5.7. Esperanza, provincia Valverde, ubicada a los 19°33' latitud N y 71°14' longitud O y 78 msnm. Pluviometría media anual 750 mm y temperatura promedio anual de 27.3 OC. El suelo es de textura franco limosa con pH > 7.5. El Pozo, provincia María Trinidad Sánchez, se ubica a 19°22' latitud N y 69°50' longitud O y altitud de 3 msnm. Pluviometría medio anual 2,211 mm con temperatura promedio anual 25.6°C. El suelo es de textura franco arcilloso con pH de 6.0 y 4.7% de materia orgánica.

Se utilizaron evaluaron siete genotipos de arroz introducidos y tres variedades locales, como testigos. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, diez tratamientos y tres repeticiones. El marco de plantación fue de 0.25 m. x 0.25 m. Se realizaron análisis de varianza, genotipos-ambiente, multivariados y prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de probabilidad de error.

Para la determinación del hierro y el zinc en el suelo, se realizaron muestreos en cada área experimental, las submuestras fueron mezcladas y homogenizadas. Posteriormente, se procedió al triturado y cernido en tamices de 0.05 y 0.002 mm y luego llevadas al laboratorio. Para el análisis foliar, se seleccionaron 20 hojas banderas por cada unidad experimental, colocándose al horno a una temperatura de 65°C, por 72 horas. Posteriormente, fueron llevadas al laboratorio de la compañía Fertilizantes Químicos Dominicanos, S.A. (Ferquido), para la determinación de los microelementos hierro y zinc. El análisis de Fe y Zn en el grano, se determinó mediante el método de Isaac y Kerber. Se tomaron tres muestras de cada tratamiento, se secaron, ventearon y se colocaron en sobres de 20g y se enviaron al laboratorio del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Cali, Colombia.

Las localidades en estudios fueron: Juma, Bonao, El Pozo, Nagua y Esperanza, Mao.

Los tratamientos son presentados en la siguiente tabla.

Trat.	Genotipos / variedades	Procedencia
1	FL03001-MP-2-1P-3P-M	Introducida
2	'CIWIN'	Introducida
3	AZUCENA, BCF, 11, ACC15	Introducida
4	TOX 1859-102-4M-4	Introducida
5	FL03724-3P-51P-3P-M	Introducida
6	'C 3849'	Introducida
7	'C3851'	Introducida
8	'Impale 112'	Local
9	'Juma 67'	Local
10	'Cristal 100'	Local

Las variables evaluadas fueron hierro y zinc en el suelo, en hojas banderas y el grano de arroz integral y pulido, interacción genotipo/ambiente y el rendimiento en kg.ha<sup>-1</sup>. El experimento se desarrolló bajo riego por inundación, el semillero se estableció en bandejas. El trasplante se realizó manualmente con plántulas de 25 días de edad. La fertilización fue de 130 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK en Juma, 100 en Nagua y 140 en Esperanza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de Fe y Zn en el suelo

Estos resultados son basados en un análisis previo a la instalación de los experimentos en las tres localidades estudiadas. Los datos indican que en Juma, Bonao se presentó el mayor contenido de Fe con 362 mg.kg<sup>-1</sup>, superior a Nagua (104 mg.kg<sup>-1</sup>) y Esperanza (50.3 mg.kg<sup>-1</sup>). Los valores de zinc fueron superiores en Juma con 1.9 mg.kg<sup>-1</sup>, las localidades de Esperanza y Nagua mostraron valores de 0.5 y 0.6 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Según el método Mehlich 3, el hierro con rango de 10 a 100 mg.kg<sup>-1</sup> y 3 a 15 mg.kg<sup>-1</sup> de zinc, indica que el contenido hierro encontrado en las localidades se encuentran dentro de los niveles deseados en el suelo (Figura 1).

### Contenido de Fe en el grano de arroz

El contenido de hierro en el grano integral, presentó diferencias significativas entre las localidades. La localidad de Esperanza con valor de 12.28 mg.kg<sup>-1</sup>, superó a Juma con 10.2 mg.kg<sup>-1</sup> y Nagua con 10.0 mg.kg<sup>-1</sup>,

siendo estas dos últimas estadísticamente iguales (Figura 2). En relación al Fe en el grano pulido, Esperanza con 3.0 mg.kg<sup>-1</sup> y Juma con 2.83, superaron significativamente a la localidad de Nagua que tuvo un valor de 2.34 mg.kg<sup>-1</sup>.

Estos resultados corroboran lo encontrado por Martínez *et al.* (2007), quienes determinaron que la línea base de hierro para arroz integral fue de 8 a 10 mg.kg<sup>-1</sup> y de 2 a 3 para arroz pulido en cinco países de América Latina y el Caribe. Por otro lado, esta investigación coincide con estudios realizados en el CIAT (2006), sobre la interacción del contenido hierro en el grano, en suelos con aspectos diferentes de arcilla, arena y limo incluyendo el área blanca en la ciudad de la estación Bama, Colombia, con el material 'IR68144' durante el verano CIAT(2006). El contenido hierro no fue significativamente diferente entre suelo limoso y arcilloso, pero hubo diferencias altamente significativas entre ellos y los suelos arenosos.

### Contenido de zinc en el grano de arroz

Los resultados del zinc en el grano integral presentaron diferencias significativas entre las localidades estudiadas. El valor encontrado en Juma de 24.65 mg.kg<sup>-1</sup> fue superior a Esperanza con 22.67 y Nagua con 21.51. Estos son superiores a la línea base encontrado por Martínez *et al.* (2007), en América Latina y el Caribe, que fue de 12 a 18 mg.kg<sup>-1</sup> en arroz integral. Con relación al grano pulido, no hubo diferencias significativas entre las localidades estudiadas (Figura 3).

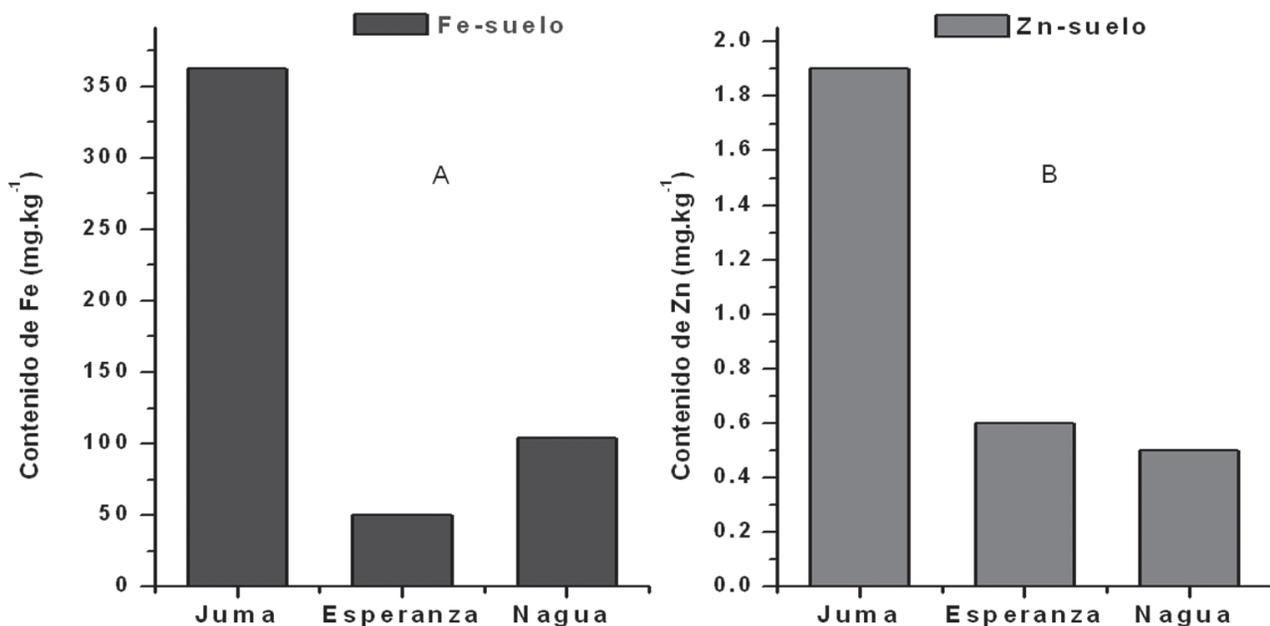


Figura 1. Hierro (A) y zinc (B) en el suelo en tres localidades de la República Dominicana, durante la primera etapa del cultivo de arroz en el 2008.

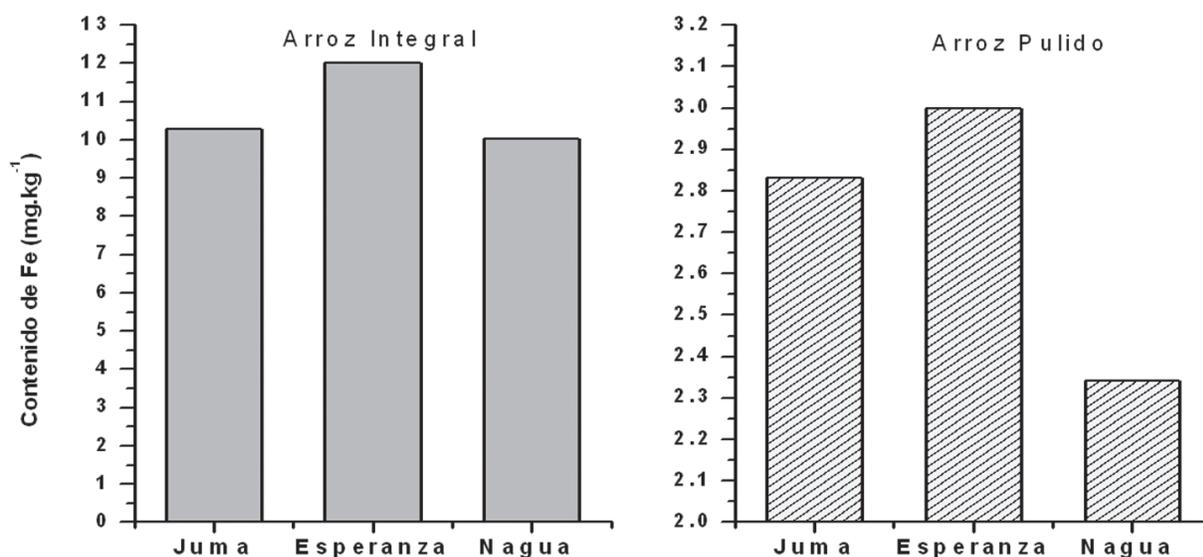


Figura 2. Contenido de hierro ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) en el grano de arroz integral y pulido en tres localidades de la República Dominicana, en la primera etapa del cultivo de arroz en el 2008.

### Contenido de Fe y Zn en el grano

Los genotipos estudiados no presentaron diferencias significativas con relación al contenido de Fe y Zn en el grano integral y pulido. Los resultados de esta investigación son similares a la línea base para hierro y zinc encontrada por Martínez *et al.* (2007), en diferentes países de América Latina y el Caribe, que fue de 2 a 3  $\text{mg.kg}^{-1}$  de Fe y 14 a 16  $\text{mg.kg}^{-1}$  de Zn.

### Contenido de Fe y Zn en las hojas bandera

Se encontró diferencias significativas entre las localidades. Esperanza con 145.74  $\text{mg.kg}^{-1}$  superó a Nagua con 77.1  $\text{mg.kg}^{-1}$  y Juma con 90  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Esto sugiere una relación entre el contenido del Fe en la hoja con el del grano, ya que Esperanza con 145.74  $\text{mg.kg}^{-1}$  en hoja, fue superior a las demás localidades en el contenido de Fe en el grano integral de arroz. Por otro lado, estos resultados corroboran los resultados encontrados por Fageria (1990), quien observó que los niveles más altos y la acumulación de hierro se presentaron en la paja, en relación con el grano.

El contenido de zinc en las hojas, no presentó diferencias estadísticas entre las localidades estudiadas. Esto puede ser atribuido, según Carreras (2004), a que las cantidades totales o disponibles de zinc, medidas químicamente, no tienen relación con la incidencia de las deficiencias en zinc o el contenido de zinc en la planta (Figura 4).

### Relación del contenido de Fe y Zn en el suelo, hoja y grano

La Tabla 1, muestra los valores promedios del contenido de hierro y zinc evaluados en las localidades de Juma, Esperanza y Nagua, mostrando los valores de hierro superiores en los análisis en la hoja de la planta y en el suelo. Se observa una ligera tendencia de aumentar el contenido de Fe en el grano integral y pulido, a medida que aumenta este elemento en la hoja bandera; mientras que no se observa relación entre el contenido del Fe en el suelo y su expresión en el grano. De igual forma sucede con el Zn en el suelo, hoja y grano de arroz (Tabla1).

### Análisis multivariado

En la Figura 5, se resume los resultados del análisis multivariado en hierro y zinc en arroz pulido e integral. El zinc en arroz integral tuvo mayor expresión en las localidades Juma y Nagua con los genotipos 2- Ciwini, 4-Tox1859, 3-FLO3724, 5- C3849 y 6- C3851, en variable zinc pulido. Mientras que los genotipos 1- FLO3001, Azucena, y C3859 con el hierro pulido.

### Rendimiento

Los resultados obtenidos presentan diferencias significativas entre los genotipos y las localidades, con relación al rendimiento de arroz paddy. En la localidad de Juma, los genotipos C3849 y 'Cristal' 100 con 4,486 y 4,062  $\text{kg.ha}^{-1}$ , fueron superiores a Juma '67' (Figura 6).

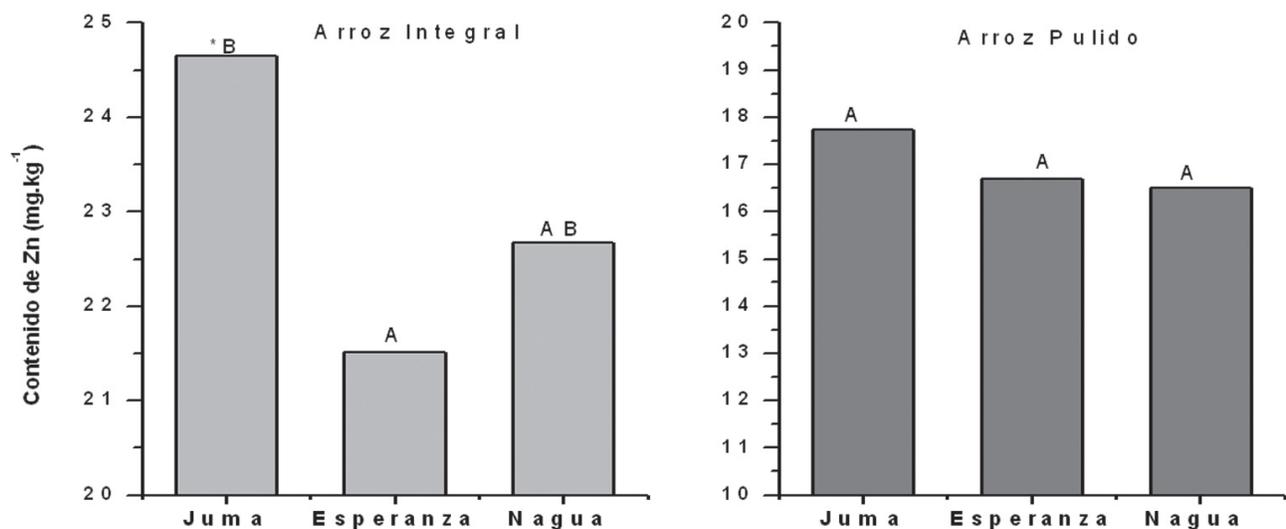


Figura 3. Contenido zinc en el grano de arroz integral y pulido, en tres localidades en la primera época de siembra del cultivo de arroz en el 2008. \* Letras distintas indican diferencias significativas, de acuerdo a Duncan al 5%.

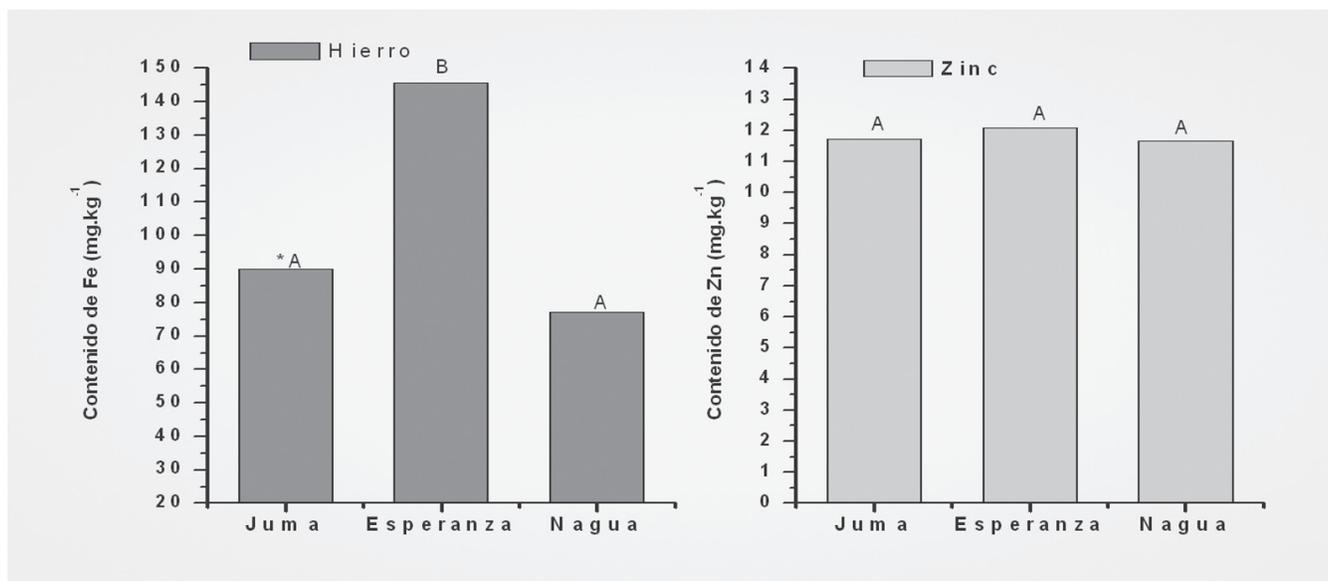


Figura 4. Contenido de hierro y zinc (mg.kg<sup>-1</sup>) en las hojas de las plantas en tres localidades del país, en la primera época de siembra del cultivo de arroz en el año 2008. \* Letras distintas indican diferencias significativas, de acuerdo a Duncan al 5%.

Tabla 1. Promedio de hierro y zinc (mg.kg<sup>-1</sup>) en evaluaciones realizadas en tres localidades del país, durante la primera época de siembra de arroz del año 2008.

Contenido	Esperanza		Nagua		Juma	
	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn
Arroz integral	12.30	21.80	10.00	22.70	10.00	24.60
Arroz pulido	3.00	17.00	2.40	16.50	10.30	17.70
Hoja bandera	145.70	11.70	78.40	12.10	87.60	11.80
Suelo	50.30	0.60	104.00	0.50	362.00	1.90

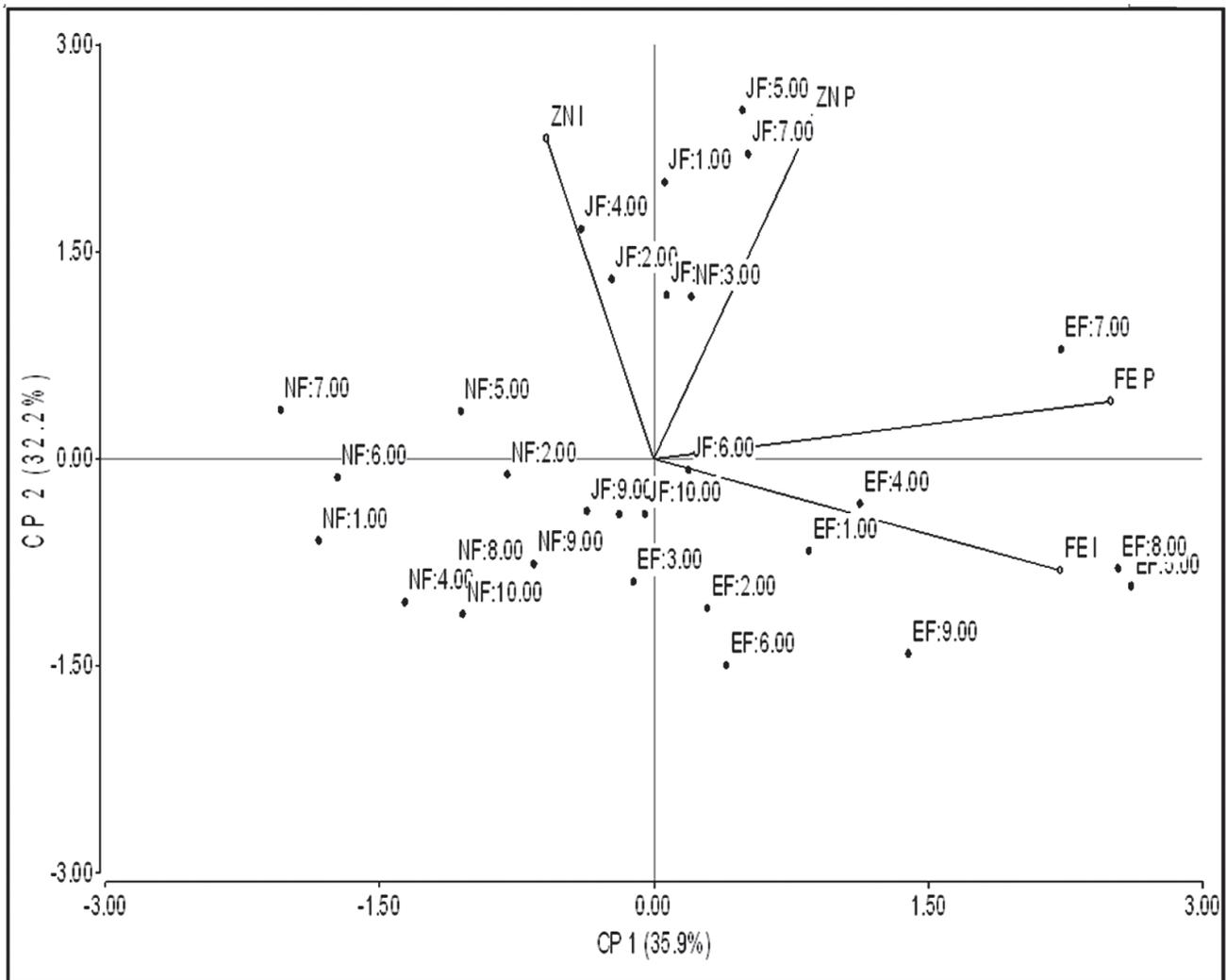


Figura 5. Contenido de hierro y zinc en el grano de arroz en las localidades de Juma, Esperanza y Nagua, durante la primera época de siembra de arroz del año 2008.

Leyenda: NF (hierro en Nagua), ZNI (zinc en Nagua), JF (hierro en Juma), ZNP (zinc en arroz pulido Nagua), EF (hierro en Nagua), FEI (Hierro en arroz Integral en Esperanza) y FEP (hierro pulido en Esperanza).

En Esperanza, los genotipos C3851 y C3849 mostraron rendimientos de 7,991 y 7,885 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos, pero fueron superiores a los demás. Sin embargo Impale 112, Cristal 100 alcanzaron rendimiento de 5,824 y 6,284 kg.ha<sup>-1</sup>, diferentes entre ellos estadísticamente. En Nagua, los genotipos C3851, C3849 presentaron rendimientos de 6,122 y 4,774 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, estadísticamente diferentes, mientras que los demás no mostraron diferencias significativas, a excepción del genotipo Azucena, que mostró el menor rendimiento con 2,233 kg.ha<sup>-1</sup>.

#### Evaluación del rendimiento por localidad

Las localidades evaluadas fueron estadísticamente diferentes, con relación al rendimiento. Esperanza en Mao alcanzó el mayor rendimiento de arroz paddy con 5,562

kg.ha<sup>-1</sup>, el cual fue superior significativamente a las localidades de Juma, Bonao y El Pozo, Nagua, Figura 7. Estos resultados corroboran los resultados encontrados por Flores (2008) y Trinidad y Rosario (2008).

#### CONCLUSIONES

- No se encontró relación entre el hierro y el zinc en el suelo y su contenido en el grano de arroz.
- Las localidades estudiadas presentaron diferencias con el hierro y el zinc en el suelo.
- No se encontró relación entre el contenido de zinc en las hojas y su contenido en el grano de arroz.
- Se encontró interacción entre el contenido de hierro en las hojas y los ambientes estudiados.

- Los genotipos estudiados no presentaron interacción en el contenido de hierro y zinc en el grano integral y pulido a través de las localidades.
- Hubo interacción entre los genotipos y el ambiente en el hierro y zinc en las hojas.
- Los genotipos FIO3001, TOX1859, FIO3724, Azucena, Impale 112 y Cristal 100, presentaron los valores más altos de hierro y zinc en las localidades estudiadas.

## RECOMENDACIONES

La investigación en su primera fase sugiere que es necesario realizar otros estudios relacionados, con aplicaciones adicionales de hierro y zinc a los suelos y a las plantas para el cultivo de arroz.

Se recomienda realizar otras investigaciones con las hibridaciones en mejoramiento genético, para obtener genotipos con alta capacidad de absorción de hierro y zinc.

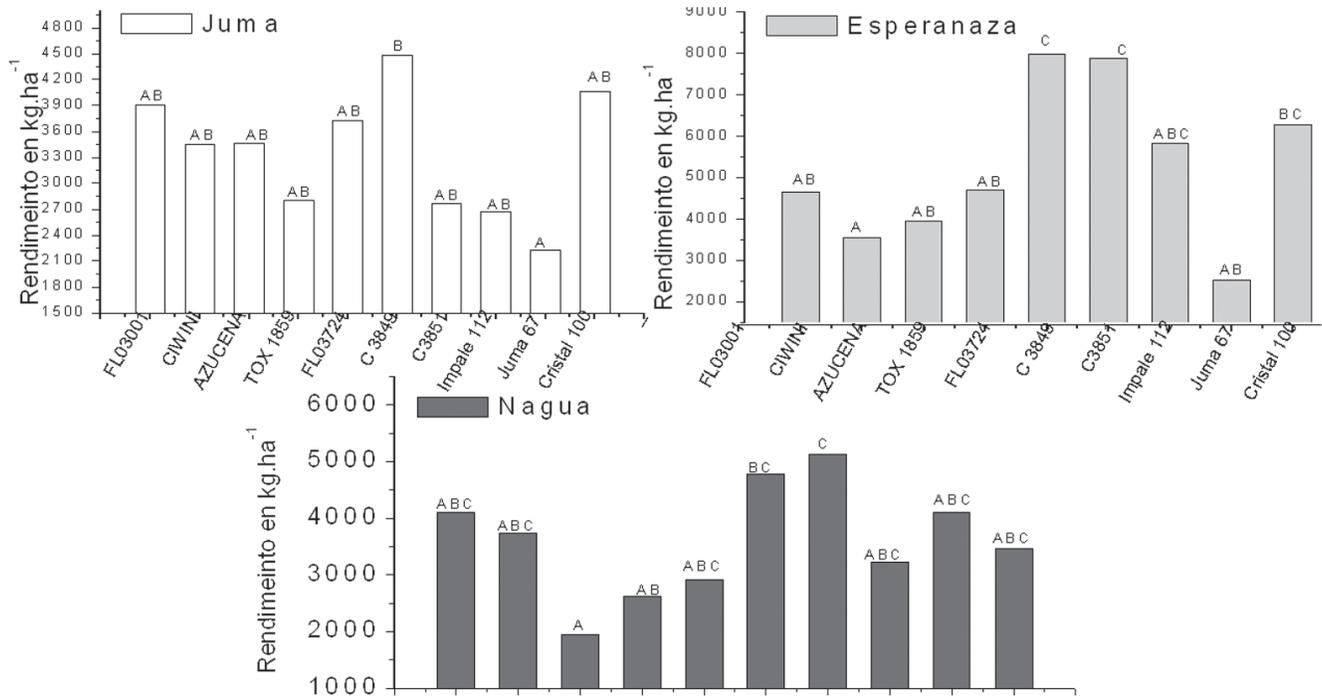


Figura 6. Rendimiento en kg.ha<sup>-1</sup> en tres localidades del país, durante la primera etapa del cultivo de arroz.

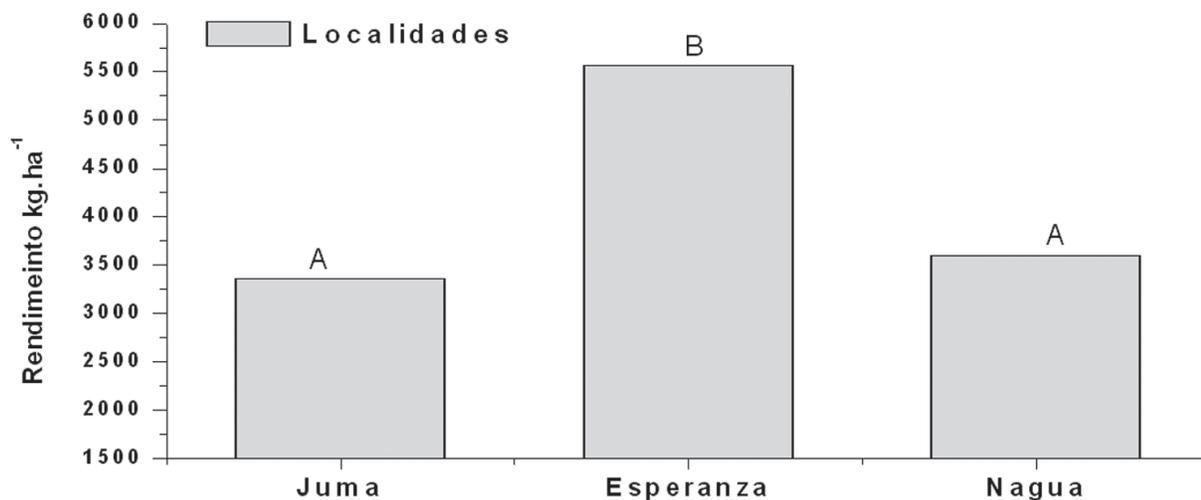


Figura 7. Rendimiento en kg.ha<sup>-1</sup> en tres localidades del país, en la primera época de siembra del cultivo de arroz en el año 2008.

## LITERATURA CITADA

- Bertsch, F. 1987. Bibliografía de suelos de Costa Rica. University de Costa Rica/Conicit. San José, CR. 231 p.
- Bienfait, H. 1985. Regulated redox processes at the plasmalemma of plant root cells and their function iron uptake. *J. Bioenerg. Biomember.* 17:73-83.
- Castilla, L. 2002. Manejo del nitrógeno en arroz de riego. *Revista de Arroz. FEDEARROZ. Federación Nacional de Arroceros.* Bogota. CO. julio-agosto, volumen 50, número 439.
- Carreras, R. 2004. La fertilización del arrozal. *Revista "Agrícola Verge"* N° 267, mayo 2004.
- Chlopecka, A.; Bacon, J.; Wilson, M.; Kay, J. 1996. Forms of cadmium, lead, and zinc in contaminated soils from southwest Poland. *J. Environ. Qual.* 25:69-79.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 2008. Manual para el análisis del hierro y zinc. Cali, CO.
- Fageria, N. 1990. Iron requirement of cereals and legumes in solution culture. Beusichem, M. L. Van (ed.). Pp. 213-217.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT) 2001. Proporción de energía/kcal/p. derivada de arroz. Consultado en junio 2009. Disponible en: [www.fao.org/faostat/foodsecurity/Files/DietFoodItemsEnergyen.xls](http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/Files/DietFoodItemsEnergyen.xls).
- Fabián, A.; Pichardo, E. 2008. Caracterización de siete genotipos de arroz con relación al vaneamiento. Tesis de grado, departamento de agronomía, universidad ISA, La Herradura, Santiago, DO.
- Flores, D. 2008. Evaluación de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en tres localidades de República Dominicana, Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales, (PC-CMCA), 54 reunión anual, 14 al 18, San José, CR.
- García, A. 2004. Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y alguno de sus componentes de 15 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en tres localidades. Consultado junio 2014. Disponible en: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net).
- Gonzales, J. 2009. El subsuelo como recurso natural. (En Línea). Consultado el 15 de octubre del 2013. Disponible en: [www.media-verde.org](http://www.media-verde.org).
- Goldschmidt, V. 1954. *Geochemistry.* Oxford Univ. Press, London, UK.
- Harter, R. 1991. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. *Micronutrients in agriculture.* (eds.). 2nd ed. Book Series N°4, SSSA, Madison, WI. Chap 3. Pp. 59-88.
- Hass, J. 2005. América Latina y el Caribe. Contenido de zinc en el grano de arroz. Contenido de Fe en el grano de arroz. Consultado en noviembre 2009. Disponible en: [www.agr.unne.edu.ar](http://www.agr.unne.edu.ar).
- Haas J.; Beard J.; Murray-Kolb, L.; Gregorio, G. 2005. Iron biofortified rice improves the iron stores of non-anemic Filipino women. *Journal of Nutrition*, 135: 2823-2830. Consultado en noviembre 2009. Disponible en: [www.agrosalud.org](http://www.agrosalud.org).
- InfoStat. 2008. Infostat, software estadístico. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, AR. (En Línea). Consultado el 15 de mayo del 2010. Disponible en: [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar).
- Isaac, R.; Kerber, J. 1971. Atomic Absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues.* Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA. p. 17-37.
- Karlen, L. 1997. Criterios de calidad del suelo, Concepto de la calidad de suelo. Caja O P 50DK-8830 Tjele hora, 14:41. Consultado en septiembre 2008. Disponible en: [www.insuelos.org.ar](http://www.insuelos.org.ar).
- Kiekens, L. 1995. Zinc. Heavy metals in soils. (ed.). 2nd ed. Blackie Academic and Profesional, Glasgow, UK. Pp. 284-305.
- Krauskopf, K. 1972. *Geochemistry of micronutrients.* Micronutrients in agriculture. (eds.). p. 7-40 SSSA, Madison, WI.
- Lindsay, W. 1979. *Chemical equilibria in soils.* Ed. John Wiley and Sons. New York, NY. ISBN: 0- 471-02704-9
- Lindsay, W. 1991. *Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils.* Micronutrients in agriculture. (Morteverdt, J.J. et al., eds.), second edition, p.89-112, SSSA Inc Madison, WI.
- Liang, J.; Stewart, J.; Karamanos, R. 1990. Distribution of zinc fractions in preirre soils. *Can. J. Soil Sci.* 70:335-342.
- Lucena, J. 2000. Effect of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *J. Plant Nutr.* 23(11-12):1591-160.
- Martínez, C.; Helena, P.; Jaime, B. 2007. La biofortificación estratégica basada en alimentos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Informe Progreso Arroz Biofortificado, AgroSalud. Palmira noviembre 19-20.
- Martínez, C.; Borrero, J. 2007. Deficiencia de micronutrientes "Desnutrición Escondida. Segundo Congreso", Arroceros CONARROZ San José, Costa Rica Junio 29-30 del 2006. Consultado en noviembre 2009. Disponible en: [www.fao.org/faostat/foodsecurity/Files/DietFoodItemsEnergyen.xls](http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/Files/DietFoodItemsEnergyen.xls).
- Matsuya, K.; Contreras, F.; Abreu, Q.; Hodai, I.; Nova, J. 2002. Reporte análisis de suelo y encuesta para cultivo de arroz en la República Dominicana. JICA-IDIAF. Juma, Bona, DO. Pp.125.
- Murad, E.; Fischer. 1988. The geobiochemical cycle of iron. In *Iron in soils and clay minerals.* (J. W. Stucki, et al. Eds). D. Reidel Publishing Company: Pp. 1-18.
- Romheld, V. 1987. Existence of two difference strategies for the acquisition of iron in higher plants. Pp. 353-374.
- Sanint. 2004. Nutrientes Prioritarios en los Cultivos. El impacto de la investigación en arroz en Latina América y el Caribe durante las tres últimas décadas, San José, CR. 2008.
- Sommer, A.; Lipman, C. 1926. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher zinc plant. *Plant Physiol.* 1:231-249.
- Schmidt, W.; Bartels, M. 1997. Topography of the NADH-linked ferri-chelate (turbo) reductase in plasma membrane from *Plantago* roots. Abstracts of the IX International Symposium on iron nutrition and interactions in plants. University of Hoheneim. Stuttgart, GE. Pp. 58.
- Wedepohl, K.H. 1972. *Zinc handbook of geochemistry.* Springer-Verlag, NY. Vol. I/3.