

CAPÍTULO 14

Arroz más nutritivo contra la desnutrición en América Latina

*César P. Martínez
Jaime Borrero
Myriam Cristina Duque
Silvio J. Carabali
James Silva
Joe Tohme*

Contenido

	Página
Resumen	241
Abstract	242
Introducción	242
Cultivares y análisis	245
Resultados	245
Contenidos de Fe y de Zn	245
Materiales disponibles	247
Discusión	248
Actividades de mejoramiento	248
Oportunidades futuras	251
Conclusiones y recomendaciones	252
Referencias bibliográficas	252

Resumen

Se tratan brevemente tres temas: 1) la información disponible sobre el contenido de hierro (Fe) y zinc (Zn) del grano en 11 cultivares de arroz; 2) los factores que afectan ese contenido; y 3) una estrategia de fitomejoramiento que se propone para incrementar el valor nutricional del arroz en América Latina. Los datos obtenidos, que son sustentados por los resultados del Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI), indican diferencias significativas entre los cultivares respecto al contenido de Fe y de Zn del grano, tanto en el arroz integral como en el arroz pulido. Se observó además un contenido aceptable de Fe y de Zn en algunas variedades comerciales; éstas, sin embargo, nunca fueron seleccionadas para mejorar este aspecto de su calidad nutricional. Datos científicos recientes indican que el fitomejoramiento es una herramienta eficaz, confiable y de costo razonable para desarrollar germoplasma mejorado, cuyo valor nutricional sea mayor que el de las variedades corrientes. Las investigaciones realizadas por el IRRI, en el marco del proyecto HarvestPlus, y por el CIAT, a través del proyecto AgroSalud, indican que hay variabilidad genética en el arroz

respecto al contenido de Fe y de Zn de su grano. En conclusión, se considera que es factible mejorar la calidad nutricional del arroz en América Latina, tarea en la que se ha logrado avanzar en diversas direcciones.

Abstract

More nutritive rice against malnutrition in Latin America

Three topics are addressed briefly: (1) information available on the Fe and Zn contents of the grain of 11 rice cultivars; (2) factors affecting its contents; and (3) a plant breeding strategy proposed to increase the nutritional value of rice in Latin America. The data obtained are backed up by results obtained by the International Rice Research Institute (IRRI) and reveal significant differences among cultivars regarding rice grain Fe and Zn contents in both rough and polished rice. Acceptable Fe and Zn contents were also observed in several commercial varieties; these, however, were never selected to improve this aspect of nutritional quality. Recent scientific data indicate that plant breeding is an effective and reliable tool of reasonable cost to develop improved germplasm with a better nutritional value than current varieties. Research conducted by IRRI, within the framework of the HarvestPlus project, and by CIAT, through the AgroSalud project, indicates that genetic variability does exist in rice regarding grain Fe and Zn contents. In conclusion, it is considered feasible to improve the nutritional quality of rice in Latin America, and advances have been made in several areas.

Introducción

El arroz es uno de los cereales más importantes en la alimentación humana a nivel mundial y lo es, por tanto, en América Latina y el Caribe (ALC), aunque el área sembrada y el arroz producido en la región son apenas el 4% del total mundial (FAO, 2004). Las nuevas variedades mejoradas y las prácticas de cultivo perfeccionadas (ver **Introducción** de esta obra) incrementaron la producción en ALC, lo que causó un descenso del 50% en los precios al consumidor. El consumo pasó, por tanto, de 10 kg/persona por año (en la década de los 20) a 30 kg/persona por año en los 90. El arroz se ha convertido en la principal fuente de proteína y de calorías de la población más pobre de ALC (Figura 1), es decir, del 40% de la población total de la región (Sanint, 2004; Sanint y Woods, 1998). Ahora bien, se ha observado que, donde la población depende mucho del consumo de arroz, se presentan *problemas nutricionales*

relacionados con la deficiencia de minerales y de vitaminas, causa principal de la anemia, la ceguera, el retraso en el crecimiento y otros tipos de discapacidad. Se calcula que hasta 5 millones de niños menores de 5 años mueren anualmente en el mundo por desnutrición; muchos de ellos han tenido acceso sólo a una pequeña ración de arroz o de maíz (El Tiempo, 2009).

La información confiable sobre la extensión y la gravedad de estos problemas nutricionales es incompleta y escasa, pero se sabe ya que los niños, los ancianos y las mujeres embarazadas son los sectores de la población más vulnerables y los que han sido más afectados (Figura 2), no sólo en ALC sino también en Asia y en África. Un informe reciente emitido por el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) reveló que la tercera parte, al menos, de la población mundial no realiza su potencial físico o intelectual por la carencia severa de vitaminas y de

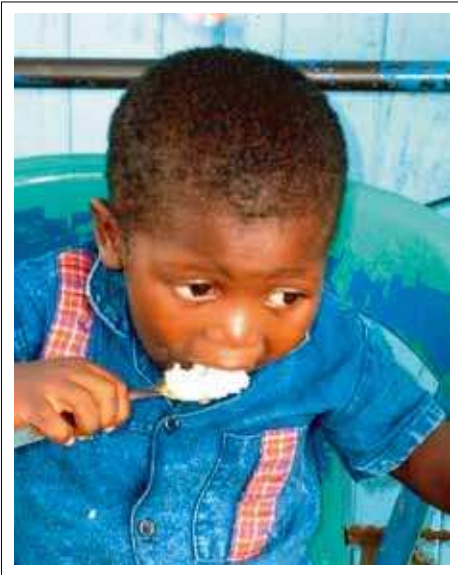


Figura 1. El arroz es la fuente principal de proteína y de calorías de la población más pobre (40% del total) de América Latina.



Figura 2. Las mujeres y los niños son los sectores de la población más vulnerables a los problemas nutricionales, y los que resultan más afectados por ellos.

minerales que padece en su alimentación diaria. Estudios como éste sugieren que la desnutrición trasciende las fronteras geográficas y las clases sociales y que

consiste no tanto en comer poco, sino más bien en comer mal. Hay por ello individuos o grupos de individuos que, aun teniendo acceso a una alimentación abundante, pueden estar *mal nutridos*. Este problema es de tal magnitud, que tres de los objetivos de desarrollo fijados por las Naciones Unidas para este milenio (Objetivos del Milenio) se enfocan a combatir la malnutrición, es decir, a erradicar la hambruna (hambre extrema), a reducir la mortalidad infantil y materna, y a mejorar la salud materna (Pinstrup-Andersen, 2000; Underwood, 2000).

En los países consumidores de arroz se han aplicado varias estrategias para combatir la malnutrición; las principales han sido la suplementación con píldoras y cápsulas de vitaminas y minerales (que se distribuyen gratuitamente), y la fortificación del arroz con las vitaminas y los minerales requeridos por la nutrición (los cuales se agregan físicamente a los granos de arroz durante el proceso de molinería). Aunque los resultados han sido un poco desalentadores, la biofortificación se considera una herramienta adecuada para combatir la desnutrición.

La *biofortificación* es una estrategia cuyo fin es incrementar la calidad nutricional de los cultivos de alto consumo, como el arroz, sin involucrar ningún proceso de transformación genética o transgénico. La biofortificación se vale solamente de cruzamientos dirigidos, en los que se controla la polinización para aprovechar la variabilidad genética de las especies existentes respecto a su contenido de nutrientes. La biofortificación ha demostrado que es eficaz y eficiente (Haas et al., 2005) en el trabajo de aumentar la disponibilidad y la calidad de los nutrientes de los alimentos sin modificar los hábitos alimentarios de una población. La biofortificación

proporciona además los siguientes beneficios:

- Al cultivo de arroz, mayor rendimiento de grano, mayor tolerancia de plagas y enfermedades, y buena calidad industrial.
- Al sector agropecuario de un país, una contribución valiosa a la salud de los grupos de población vulnerable entre los cultivadores de subsistencia.

Los datos científicos recientes indican que el *fitomejoramiento* es una herramienta eficaz, confiable y de costo razonable para desarrollar germoplasma de arroz cuyo valor nutricional sea mayor que el actual (Bouis et al., 2000; Pinstrup-Andersen, 2000). Las investigaciones hechas en el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI) en el marco del proyecto HarvestPlus indican que hay *variabilidad genética* en el arroz para el contenido de Fe y de Zn del grano (Cuadro 1). Los datos preliminares obtenidos en el CIAT sustentan esos resultados. Aunque existe la variabilidad genética, los niveles encontrados son muy bajos si los comparamos con los de otros cultivos,

como el frijol; estos niveles son aún más bajos en los granos de arroz blanco pulido, principal forma de consumo del arroz en ALC.

En el arroz integral, el contenido de Fe (de 12 a 21 mg/kg) y el de Zn (de 18 a 36 mg/kg) (Cuadro 1) se acercan mucho a los valores del requerimiento diario de estos micronutrientes para el organismo humano. Los granos de arroz blanco sufren una pérdida grande de estos nutrientes durante el proceso de molinería al que son sometidos. Es mucho más saludable y nutritivo el arroz integral que el arroz pulido; sin embargo, varias sustancias (fitatos y antocianinas, entre otras) en la cutícula del grano de arroz integral disminuyen la biodisponibilidad del Fe y del Zn.

En este estudio se presentan datos del contenido de dos micronutrientes en muestras de grano de diversos cultivares de arroz, su disponibilidad nutricional en el grano y los factores que afectan esa disponibilidad; se propone además una estrategia de fitomejoramiento para incrementar el valor nutricional del arroz que se consume en ALC.

Cuadro 1. Variabilidad genética de materiales escogidos de arroz integral respecto a su contenido de Fe y de Zn.

Materiales analizados	Entradas (no.)	Fe (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
		Rango	Media	Rango	Media
Variedades comerciales Krosnodarshi (ant. URSS)	40	8.8 – 16.3	11.3	19 – 36	23
			16.3		–
Progenitores del programa de mejoramiento N22 (Nepal)	28	9.2 – 15.8	12.9	17 – 40	25
			15.8		34
Variedades tradicionales Padi abang gogo (Indonesia) Payawa (Malasia) IARC13168 (India) O19 (Nepal) Cavitenia (Filipinas)	42	9.0 – 21.0	12.9	14 – 36	27
			21.0		35
			17.5		32
			17.1		34
			16.5		36
			16.3		18

FUENTE: Gregorio et al., 2000.

Cultivares y análisis

Se escogieron 11 cultivares de arroz, entre los que había variedades comerciales, líneas avanzadas y especies silvestres (*Oryza barthii*, *O. glaberrima* y *O. rufipogon*) y se determinó en ellos los contenidos de Fe y de Zn.

Se tomaron muestras de arroz blanco y de arroz integral de cada cultivar, en parcelas cultivadas en la estación CIAT-Palmira. Se enviaron luego submuestras de 5 g al laboratorio de servicios analíticos del CIAT, donde fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica. De cada submuestra se analizaron tres repeticiones.

Resultados

Contenidos de Fe y de Zn

Se hallaron diferencias significativas entre cultivares respecto al contenido de Fe y de Zn, tanto en el grano integral

como en el grano pulido (Cuadro 2). Asimismo, el efecto de la molinería en el contenido de esos minerales en el grano varió según el cultivar. Como se esperaba, el arroz integral presenta mayor contenido de Fe y de Zn que el arroz pulido, un resultado que ya había sido reportado por el IRRI. Estos datos indican, por tanto, que el valor nutricional del arroz integral es mayor que el del arroz blanco pulido.

Los valores obtenidos en el arroz integral son los siguientes:

- **Contenido de Fe.** Los más altos son, en ese orden, el de *O. glaberrima* (30 mg/kg), el de Fedearroz 50 (14 mg/kg) y el de Oryzica 1 (13.5 mg/kg).
- **Contenido de Zn.** Los más altos son, en ese orden, el de *O. barthii* (27.9 mg/kg), el de Fedearroz 50 (25.6 mg/kg), y el de las tres entradas de *O. glaberrima*: MG12 (25 mg/kg), CG-14 (24.8 mg/kg) e IG-10 (24.8 mg/kg).

Cuadro 2. Efecto del ‘molinado’ en el contenido de Fe y de Zn del grano en varios cultivares y especies silvestres de arroz seleccionados.

Material	Fe (mg/kg) en grano			Zn (mg/kg) en grano		
	Integral (prom.)	Pulido (prom.)	Reducción por molinería (%)	Integral (prom.)	Pulido (prom.)	Reducción por molinería (%)
Bg90-2	7.2	5.1	29.1	17.3	13.9	19.5
<i>O. barthii</i>	10.4	4.2	60.1	27.9	22.0	21.1
CG-14	10.8	6.3	41.3	24.8	19.7	20.4
CT13956-29-M-3-M	10.8	3.0	72.1	18.4	11.9	35.3
Fedearroz 50	14.0	4.8	65.9	25.6	16.7	35.0
IG-10	12.3	3.7	70.1	24.8	18.1	27.0
<i>O. glaberrima</i> (MG12)	30.4	3.6	88.0	25.0	19.2	23.3
Oryzica 1	13.5	6.1	61.8	16.5	11.0	24.2
Oryzica Llanos 4	13.0	4.9	54.4	20.8	15.7	33.3
P1274-6-8-M-1-M	12.3	3.2	74.2	13.7	10.5	23.3
<i>O. rufipogon</i>	10.5	6.2	41.3	20.5	15.7	23.6
Promedio	13.2	4.6	59.3	21.4	15.9	26.0

El proceso de molinería que se hace al arroz integral para obtener arroz blanco redujo el contenido de Fe y de Zn en 59% y 26%, respectivamente. *Oryza glaberrima* perdió el 88% del Fe en ese proceso, seguida por las líneas CT13956-29-M-3-M (72%) y P1274-6-8-M-1-M (74%). La explicación de las pérdidas por pulido del grano de arroz es la siguiente: en su mayor parte, el Fe y el Zn están localizados en las capas externas del grano de arroz (Figura 3) y éstas son removidas cuando se pulen los granos de arroz en la molinería.

Los valores obtenidos en el arroz pulido son los siguientes:

- **Contenido de Fe.** Los más altos son, en ese orden, el de CG-14, el de *O. rufipogon* y el de *Oryzica 1*.
- **Contenido de Zn.** Los más altos son, en ese orden, los de las especies silvestres *O. barthii* y *O. glaberrima* (MG.12, CG-14 e IG-10).

Los datos sugieren que algunos de los materiales evaluados se pueden emplear como fuente, en un programa de mejoramiento, para mejorar la calidad nutricional del arroz; entre ellos, las especies silvestres CG14 (*O. glaberrima*) y *O. barthii*. Ahora bien, el método convencional de retrocruzamiento es uno de los más indicados para transferir los genes asociados con un mayor contenido de Fe y de Zn en el grano de los materiales exóticos a algunas líneas élite o a ciertas variedades mejoradas. Se desarrollarían así nuevas variedades que tendrán —además de su buen potencial de rendimiento, su tolerancia de las principales plagas y enfermedades, su grano de buena calidad y buena cocción, y su buena capacidad de adaptación— un valor nutricional mucho mayor que el de las variedades corrientes, y servirían además como progenitores en los cruces dirigidos a incrementar el contenido de Fe y de Zn en el arroz pulido.

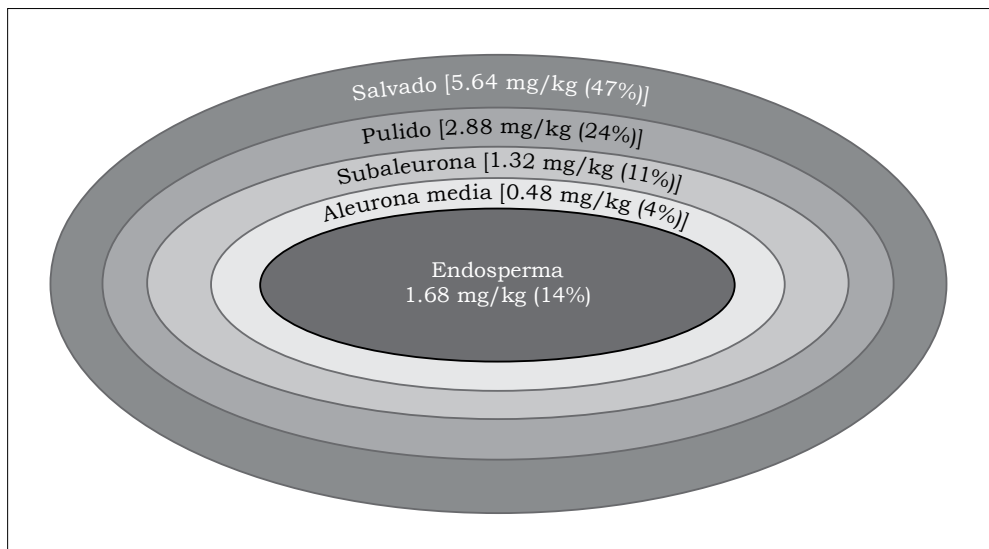


Figura 3. Distribución del contenido total de Fe del grano de arroz (12 mg/kg) en las capas (cutícula o ‘salvado’, pulimento de molinería o ‘pulido’, subaleurona y aleurona media) y en el endosperma del grano.

FUENTES: Resurrección et al., 1978; Tanaka et al., 1978.

Materiales disponibles

Los resultados preliminares indican la importancia de las *especies silvestres* en el mejoramiento de la calidad nutricional del arroz. No obstante, las variedades Fedearroz 50 y Oryzica 1 —liberadas en Colombia por Fedearroz y por el convenio ICA-CIAT-Fedearroz, respectivamente— tienen un contenido aceptable de Fe y de Zn y provienen de programas de mejoramiento en que no se hizo esfuerzo alguno para mejorar su calidad nutricional. Por consiguiente, si se hace presión de selección, respecto a esta característica, en las poblaciones segregantes resultantes de cruzamientos entre progenitores que posean las características de interés, habría muchas posibilidades de mejorar la calidad nutricional del arroz en América Latina.

Se hizo un muestreo en el arroz ofrecido en *supermercados y tiendas* populares de varias ciudades de Colombia, Nicaragua, Bolivia y República Dominicana. Los datos del análisis (que no se presentan aquí) indican un contenido promedio de 2 a 3 mg/kg y un contenido de Zn de 17 a 18 mg/kg en el arroz blanco. Éstos serían los *valores básicos* de Fe y de Zn, y a partir de ellos se debe incrementar el contenido de ambos minerales en el grano de arroz para que se refleje en el arroz pulido, cumpliendo así el objetivo de que el consumo de arroz mejorado cause un efecto positivo en la nutrición humana. Los datos de Haas et al. (2005) indican que un pequeño incremento en el contenido de Fe del arroz tuvo un efecto significativo positivo en la reducción de la anemia del segmento de la población filipina estudiada que estaba más afectada por esta enfermedad.

Los proyectos AgroSalud (financiado por la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional, CIDA) y HarvestPlus (financiado por varios donantes, entre

ellos la Fundación Bill y Melinda Gates) trabajan en el mejoramiento de la calidad nutricional de varios cultivos básicos (fríjol, maíz, yuca, batata), además del arroz. Su estrategia principal es mejorar la nutrición humana que depende, no de un solo cultivo, sino de una canasta de productos alimenticios, cada uno de los cuales contribuirá, según las preferencias alimenticias de la región o del país, a la nutrición de un sector específico de la población.

La Figura 4 presenta el aumento progresivo del contenido de Fe (mg/kg) en el grano de arroz pulido, que se obtuvo en el proyecto AgroSalud durante los años 2007, 2008 y 2009. Los valores correspondientes a las variedades Fedearroz 50 e IR64 son un promedio de los 3 años de evaluación y provienen de los testigos usados como punto de referencia. Hay un aumento gradual del valor promedio, que pasa de 3.20 a 3.92 y a 5.69 mg/kg en el 2007, el 2008 y el 2009, respectivamente. De modo correlativo, la curva se desplaza hacia la derecha por el efecto de selección; en el 2009, la cantidad de líneas cuyo contenido de Fe era más alto fue proporcionalmente mayor que en los 2 años anteriores.

Los Cuadros 3 y 4 resumen las principales características agronómicas y nutricionales de algunas líneas avanzadas que el CIAT desarrolló y evaluó en colaboración con los siguientes programas nacionales de mejoramiento: Fedearroz de Colombia, INTA de Nicaragua, IIA de Cuba, IDIAF de República Dominicana, CIAT-Santa Cruz y ASPAR de Bolivia, y Embrapa/CNPAF de Brasil. Los programas de Bolivia y de Cuba lanzaron, en el 2009, las primeras variedades derivadas del proyecto AgroSalud; lo mismo harán, en el 2010, los de Brasil, Nicaragua y Panamá.

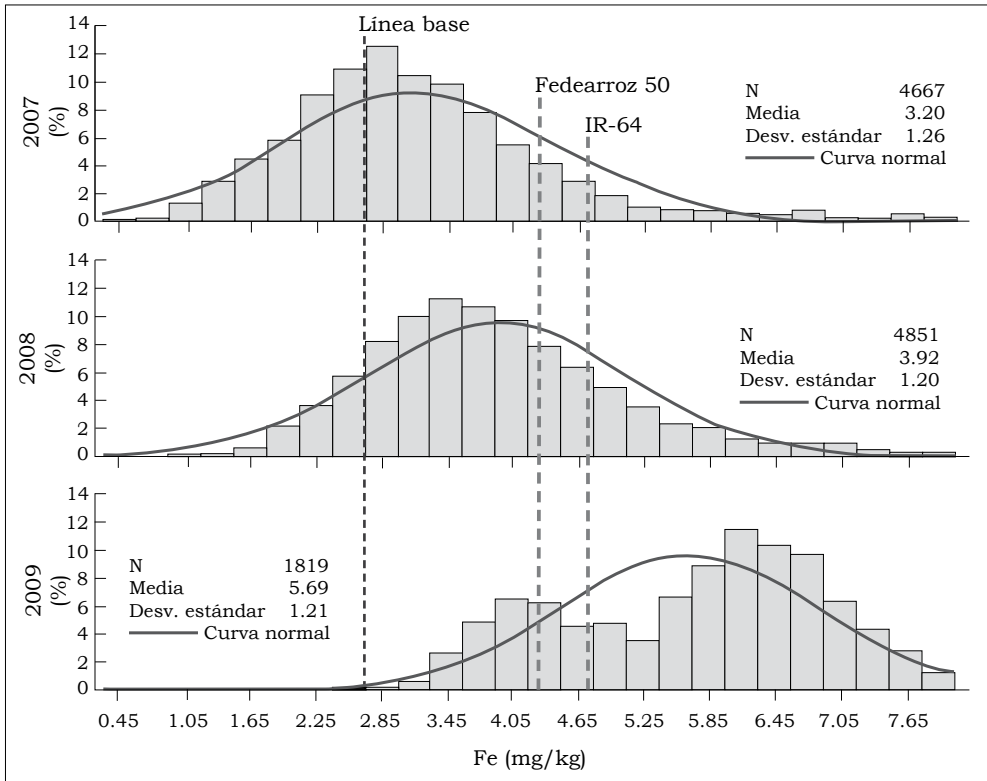


Figura 4. Aumento progresivo del contenido de Fe (mg/kg) en el grano de arroz en el proyecto de mejoramiento AgroSalud (ver explicación en el texto).

Discusión

Actividades de mejoramiento

El proyecto AgroSalud del CIAT pretende aumentar el contenido de Fe y de Zn del grano de algunas variedades de arroz empleando métodos de *mejoramiento convencional*, como la selección masal, la de pedigrí, el retrocruzamiento, el mejoramiento poblacional y la mutagénesis. Trabaja también en la identificación de *marcadores moleculares* asociados con los genes responsables del contenido de Fe y de Zn del grano del arroz; esos marcadores se usarían en un programa de selección asistida por marcadores. Una opción sería aumentar el contenido de esos elementos en las variedades más populares entre los

agricultores y mejor aceptadas por ellos (Figura 5). Estas variedades tendrían, en cuanto sea posible, una diferencia visible, como el color del grano, que las distinga de las que no han sido biofortificadas.

Para lograr esos objetivos hay que dar los pasos siguientes:

- Identificar buenos *progenitores* mediante un programa de evaluación del contenido de Fe y de Zn del germoplasma de arroz latinoamericano, que se encuentra en el banco de germoplasma del CIAT y en los bancos de los programas de arroz de los países que participan en el proyecto (Bolivia, Brasil, Colombia, Cuba, Nicaragua, Panamá y República Dominicana).

Cuadro 3. Líneas promisorias de arroz de buenas características agronómicas y de buen contenido nutricional, evaluadas en dos ambientes en Colombia, en el 2007.^a

Pedigri	Piedrapintada-Aipe-Huila							CIAT-Palmira, Valle del Cauca								
	Vg	Fl (días)	Ht (cm)	Exs (cm)	A.A.		Rend. (kg/ha)	Fl (días)	Clk (%)	Len	Amy (%)	Hb	Exs (%)	A.A.		Rend. (kg/ha)
					Fe	Zn								Fe	Zn	
CT17237-1-5-7-2-2-1-M	2	86	95	2.3	5.8	14.6	7737	95	1.0	L	27.7	9	46.9	6.7	14.6	4813
CT17237-1-5-7-2-2-2-M	2	83	99	4.0	6.1	12.5	7326	95	1.6	L	27.0	5	44.7	6.1	15.1	3505
CT17237-1-5-7-2-2-3-M	3	85	103	3.7	8.3	14.2	7173	98	3.4	L	26.4	7	43.5	7.5	13.1	4581
CT17238-1-1-1-2-1-3-M	2	85	107	2.7	6.0	11.6	6609	95	0.8	EL	27.2	5	39.0	4.6	13.3	3918
CT17238-1-1-1-2-3-1-M	2	83	108	2.7	5.5	16.2	6067	103	0.4	EL	26.8	5	55.6	3.6	12.0	3563
CT17238-1-1-1-2-3-4-M	2	84	113	2.7	3.7	14.1	5871	100	0.6	EL	26.6	5	51.4	4.1	11.6	3797
Fedearroz 473	2	92	93	3.0	5.7	14.4	8903	-	-	-	-	-	-	4.7	12.3	-
Fedearroz 50	1	96	104	2.3	3.8	17.7	8539	111	0.2	L	29.5	7	59.9	4.1	15.8	3549

a. Vg = vigor (donde 1 indica planta muy vigorosa y 9 planta muy débil), Fl = floración, Ht = altura de planta, Exs = 'exercción' o proyección de la panícula, A.A. = absorción atómica (mide mg/kg de Fe o de Zn en la muestra), Rend. = rendimiento, Clk = centro blanco ('chalkiness of endosperm', donde 0.2 indica cerca de 0% de opacidad del endospermo y 9 indica más de 20% de opacidad), Len = longitud ('length') del grano (donde L es largo y EL es extralargo), Amy = contenido de amiloso, Hb = hoja blanca (donde 9 indica más susceptible al virus y 0 ninguna incidencia del virus).

Cuadro 4. Líneas avanzadas de buen comportamiento ensayadas en Colombia (Santa Rosa) y en Nicaragua, que tienen buen contenido de Fe y de Zn en el grano.^a

Pedigrí	Santa Rosa 2005								Santa Rosa 2008								CIAT 2008						
	Vg	Bl 1	Bl 2	Fl	LSc	Bs	NBl	GD	Vg	Bl 1	Bl 2	Fl	LSc	Bs	NBl	GD	Vg	Fl	Hb	kg/ha	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
CT16658-5-2-2SR-2-3-6	3	3	3	84	1	1	1	1	1	3	4	86	1	1	3	3	3	109	3	4906.4	5.27	13.02	
CT16658-5-2-3SR-2-1-M	3	2	3	85	1	1	1	1	1	3	3	85	1	1	3	3	3	109	3	6092.6	5.22	12.95	
CT16658-5-2-3SR-3-1-3	3	3	4	83	3	1	3	1	1	2	3	85	1	1	3	3	3	113	3	5891.5	5.14	12.79	
CT15691-4-3-4-2-1-2-M	5	1	2	110	3	3	3	5	3	2	3	88	1	1	3	1	1	113	1	4632.5	5.95	12.64	
CT15691-4-3-4-3-2-2-M	5	3	4	94	1	1	3	1	3	2	3	89	1	1	3	3	3	118	1	5307.7	5.90	8.79	
CT15659-4-3-1-2-3SR-1-1	3	2	4	92	1	1	3	1	1	2	4	91	1	1	3	3	3	118	1	4258.4	4.90	11.78	
CT15659-4-3-1-3-4SR-2-1	3	3	4	92	1	1	3	1	1	1	3	91	1	1	3	1	3	118	1	4475.5	5.12	11.18	
CT15696-3-4-1-1-3SR-1-2	3	5	4	96	1	1	3	1	3	2	3	91	1	1	5	3	3	113	1	7296.6	6.45	9.28	
CT15696-3-4-1-1-3SR-2-2	3	5	4	96	1	1	3	1	3	2	4	93	1	1	5	3	3	113	1	6459.5	6.59	8.66	
CT15716-6-1-2-3-2SR-M-4	3	4	5	88	3	5	3	3	3	5	6	87	3	5	5	3	3	113	3	6088.2	4.05	9.87	
CT15717-7-1-1-1-2SR-M-2	3	4	3	90	1	1	3	3	3	5	6	87	3	5	5	3	3	113	3	9153.0	4.66	9.51	
CT14544-1-M-2-3-3-M-M	3	4	3	97	3	3	5	3	3	3	4	85	1	1	3	1	3	116	3	5518.7	5.99	19.42	
CT14544-1-M-2-4-1-M-M	3	4	3	97	3	3	3	3	3	3	3	97	1	1	3	3	3	109	3	4754.5	5.41	20.94	
CT18141-6-4-2-2-4-M	3	3	5	81	1	1	1	1	3	3	3	92	1	1	3	1	3	113	5	5268.5	4.98	9.15	
CT18145-7-1-1-3-1-M	3	2	2	81	3	3	3	1	3	1	2	85	1	1	3	3	3	109	5	6728.7	5.05	10.86	
CT18148-6-9-3-3-2-M	3	3	5	83	5	3	3	3	1	3	3	90	1	1	3	3	5	113	5	7935.2	6.33	9.25	
CT18148-6-9-5-1-2-M	3	3	3	82	3	5	3	3	1	3	3	93	1	1	1	1	5	109	5	9149.4	7.12	9.78	
CT18148-6-9-5-1-3-4-M	3	3	3	81	3	5	5	3	1	2	3	93	1	1	3	3	5	109	5	7752.2	6.38	10.19	
CT18148-10-3-2-2-3-M	1	3	4	78	1	3	3	1	1	3	4	89	1	1	3	5	3	109	5	6738.2	5.01	10.18	
CT18148-10-3-2-4-1-M	3	4	5	81	3	3	3	3	3	3	4	88	3	1	3	5	3	109	5	7643.4	5.28	10.24	
CT18148-10-3-6-1-6-M	3	3	4	81	3	3	3	3	1	3	3	91	1	1	3	3	3	109	3	8441.3	4.24	10.18	
CT18148-10-3-6-4-6-M	1	5	5	79	1	3	3	3	3	3	5	90	1	1	3	3	3	109	3	7828.0	4.56	9.91	
Fedearroz 50										3	5	5	87	1	1	5	3	5	105	3	3159.6	5.29	17.29

a. Vg = vigor, Bl = piricularia ('blast') de la hoja (donde Bl 1 es primera evaluación a 30 días de siembra y Bl 2 es segunda evaluación a 45 días de siembra: 1 es poca incidencia y 5 es alta incidencia), Fl = floración (días), LSc = escaldado de la hoja (rincosporiosis, donde 0 indica ninguna lesión y 9 muchas lesiones en la hoja: 51% a 100% del área), Bs = helmintosporiosis (*Bipolaris oryzae*, donde 0 indica ninguna lesión y 9 muchas lesiones en la hoja: 51% a 100% del área), NBl = piricularia del cuello ('neck blast', donde 0 indica sin infección y 9 fuerte infección: 51% a 100% del área), GD = manchado de grano ('grain discoloration', donde 0 indica sin decoloración y 9 fuerte decoloración: de 51% a 100% de diferencia), Hb = hoja blanca, kg/ha = rendimiento en kilogramos por hectárea, Fe = contenido de hierro en mg/kg, Zn = contenido de zinc en mg/kg.

Nota: Las demás variables (vigor, etc.) se explican en la nota al pie del Cuadro 3.



Figura 5. Producción artesanal y cosecha manual del arroz en Bolivia. CIAT-Bolivia, 2006.

- Estudiar además la *interacción* ‘genotipo x ambiente’, ya que los datos obtenidos en el IRRI indican que las condiciones del clima y del suelo influyen en la expresión del contenido de Fe y de Zn del grano de arroz.
- Una vez identificados los progenitores cuyo grano tenga un alto contenido de Fe y de Zn, hacer *cruzamientos* entre algunos de éstos (los donantes) y otros genotipos de alto potencial de rendimiento, tolerantes de enfermedades y de insectos, y cuyo grano sea de buena calidad.
- Conducir programas de *mejoramiento participativo* junto con los programas nacionales de arroz, que involucren a consumidores y a las cadenas de

productores de arroz y de semilla (los semillistas); estos últimos manejarán la multiplicación y la distribución de la semilla mejorada. A esta red se integrarán también los sectores relacionados con la nutrición y la salud humanas.

Oportunidades futuras

El futuro plantea a los fitomejoradores del arroz y a las organizaciones arroceras los siguientes retos:

- *Combinar* en una variedad superior de arroz, respecto a las variedades convencionales, un alto potencial de rendimiento, un valor nutricional más alto, mayor resistencia a las plagas y a las enfermedades, y buena calidad de molinería.
- Obtener, como logro definitivo de esa variedad, la buena *aceptación* de los agricultores, de los consumidores, de la industria arroceras y del sector de la molinería.
- Demostrar, como resultado primordial, a la comunidad científica y a los consumidores que el incremento en el contenido de Fe y de Zn del arroz (integral y pulido) tiene un impacto positivo en la *calidad de vida* de los sectores de la población latinoamericana más afectados por las deficiencias de esos elementos, y que ese incremento mejora realmente su vida. Los trabajos recientes (Haas et al., 2005) de evaluación, liberación y adopción de la variedad Maligaya Especial (IR61144-2B-2-2-3) indican que este objetivo es posible.
- Lograr, finalmente, que las variedades de arroz más nutritivas estén al alcance de los consumidores más pobres a un *precio adecuado* a sus limitaciones, reconociendo, tal vez, la necesidad de crear *incentivos* para los agricultores y los consumidores.

Conclusiones y recomendaciones

Los datos obtenidos en el CIAT sustentan los resultados reportados por HarvestPlus en el IRRI. Se encontraron diferencias significativas entre cultivares en relación con los contenidos de Fe y de Zn, tanto en el grano de arroz integral como en el grano blanco pulido, y se observó además un contenido aceptable de Fe y de Zn en el grano de algunas variedades comerciales evaluadas.

Estos resultados sugieren que es posible mejorar la calidad nutricional del arroz en la región de ALC. El contenido de Zn del arroz integral es un buen indicador de ese contenido en el arroz pulido; esta relación no se observó respecto al contenido de Fe.

Referencias bibliográficas

- Bouis H.E.; Graham, R.D.; Welch, R.M. 2000. The Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) micronutrients project: Justification and objectives. *Food and Nutrition Bulletin* 21(4):374-381.
- El Tiempo. 2009. Sección Agropecuaria, Domingo 18 de enero.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004. *Cereales: Producción y consumo en 2000-2004*. Roma.
- Gregorio, G.; Senadhira, D.; Htut, H.; Graham, R.D. 2000. Breeding for trace mineral density in rice. *Food and Nutrition Bulletin* 21(1):382-386.
- Haas, J.D.; Beard, J.L.; Murray-Kolb, L.E.; del Mundo, A.M.; Félix, A.; Gregorio, G.B. 2005. Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women. *Journal of Nutrition* 135:2823-2830.
- Pinstrup-Andersen, P. 2000. Improving human nutrition through agricultural research: Overview and objectives. *Food and Nutrition Bulletin* 21(1):352-356.
- Resurrección, A.P.; Juliano, B.O.; Eggun, B.O. 1978. Preparation and properties of destarched milled rice. *Nutrition Reports International* 18:17-25.
- Sanint, L.R. 2004. Sustaining innovation in the Latin America and Caribbean rice sector. In: Pachico, D.; Fujisaka, S. (eds.). *Scaling up and out: Achieving widespread impact through agricultural research*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 93-104.
- Sanint, L.R.; Woods, S. 1998. Impact of rice research in Latin America and the Caribbean during the past three decades. In: Pingali, P.; Hossain, M. (eds.). *Impact of rice research*. *Memorias de la International Conference on the Impact of Rice Research celebrada del 3 al 5 de junio de 1996 en Bangkok, Tailandia*. Development Research Institute (Bangkok, Tailandia) e International Rice Research Institute, IRRI (Manila, Filipinas).
- Tanaka, Y.; Resurrección, A.P.; Juliano, B.O.; Bechtel, D.B. 1978. Properties of whole and undigested fraction of protein bodies of milled rice. *Agricultural and Biological Chemistry* 42:2015-2023.
- Underwood, B.A. 2000. Overcoming micronutrient deficiencies in developing countries: Is there a role for agriculture? *Food and Nutrition Bulletin* 21(1):356-360.