

Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos

C. Quintero*, M.A. Zamero, G. van Derdonckt, G. Boschetti, M.R. Befani, E. Arévalo, y N. Spinelli

Introducción

Entre Ríos produce arroz con rendimientos medios superiores a los 7000 kg ha⁻¹, siendo el potencial de producción el doble de este valor (Quintero, 2009). Superar este escalón productivo requiere de un ajuste en las prácticas de manejo dentro de las cuales se encuentra la fertilización.

Algunos elementos como el nitrógeno (N) son ampliamente utilizados y la respuesta a su aplicación es generalizada (Quintero y Figueroa, 2008). El fósforo (P) es otro de los elementos frecuentemente utilizados en Entre Ríos, dadas la deficiencia generalizada y la respuesta en otros cultivos, aunque su respuesta en arroz es dudosa (De Battista y Arias, 2005).

En los últimos años, a partir de experiencias y ensayos promisorios (Quintero, et al., 2006), la fertilización con zinc (Zn) se ha adoptado como una práctica frecuente entre los productores, superando el 60% del área cultivada. Más recientemente, en algunas circunstancias y menos frecuentemente, se ha incorporado al potasio (K) en las mezclas de fertilizantes de nuestra provincia.

Sustentados en la necesidad de realizar nuevas experiencias de fertilización, en base a los elementos que se han detectado como deficientes o restrictivos para el

arroz en Entre Ríos; se realizaron ensayos con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización con N, P, K y Zn, sobre el rendimiento del cultivo de arroz.

Materiales y métodos

En las campañas 2007/08 a 2010/11, se realizaron 17 ensayos de fertilización, sobre suelos vertisoles, en campos de productores en localidades representativas de las distintas zonas productivas de arroz de la provincia de Entre Ríos. Las principales características de los sitios evaluados se pueden ver en la **Tabla 1**. Los sitios seleccionados muestran variación en el estado de fertilidad de los suelos propios de las distintas zonas y representan las variedades más sembradas. El manejo del riego, y de las plagas, malezas y enfermedades, en todos los sitios fue adecuado, característico de productores de media a alta tecnología.

Los tratamientos evaluados se detallan en la **Tabla 2**. Estos tratamientos permiten conocer el aporte natural de los suelos de los distintos elementos y la respuesta a cada nutriente por omisión del mismo, asegurando la provisión de los demás. El aporte de cada elemento como fertilizante fue el siguiente: N: 64 kg ha⁻¹, P: 16 kg ha⁻¹, K: 30 kg ha⁻¹; Zn: 300 g ha⁻¹.

En cada localidad se establecieron franjas dentro del gran cultivo, con una superficie de 0.25 a 1 ha por

Tabla 1. Características principales de los sitios de ensayos de nutrición en el cultivo de arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

| Localidad | pH | MO % | P Bray-1 ppm | CIC cmol kg ⁻¹ | Sat. K % | Sat. Ca % | Sat. Mg % | Sat. Na % | Salinidad dS m ⁻¹ | Zn ppm | Variedad | Fecha Emergencia |
|----------------|------|------|--------------|---------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|--------|------------|------------------|
| San Salvador | 6.80 | 3.32 | 15.4 | 24.5 | 2.1 | 52.3 | 15.1 | 3.8 | 0.673 | 0.87 | Cambá | 17/10/2007 |
| La Paz | 5.40 | 2.74 | 6.4 | 17.0 | 2.8 | 33.4 | 14.7 | 2.4 | 0.408 | 1.20 | Supremo 13 | 01/11/2007 |
| Conquistadores | 6.50 | 3.77 | 9.9 | 28.0 | 2.5 | 60.7 | 16.4 | 2.2 | 0.729 | 0.66 | Cambá | 18/11/2007 |
| Villa Elisa | 7.00 | 3.83 | 6.0 | 22.3 | 3.1 | 74.5 | 13.5 | 6.3 | 0.857 | 0.80 | Irga 417 | 20/11/2007 |
| San Salvador | 6.40 | 3.43 | 6.4 | 21.0 | 2.3 | 66.6 | 9.5 | 3.0 | 1.561 | 0.73 | Cambá | 14/10/2008 |
| Lucas Norte | 7.50 | 3.26 | 8.4 | 41.4 | 1.9 | 62.2 | 9.2 | 3.9 | 1.198 | 1.10 | Yerúa | 28/11/2008 |
| Sajaroff | 7.10 | 3.45 | 4.9 | 26.3 | 2.8 | 80.3 | 18.6 | 2.2 | 0.746 | 0.35 | RP2 | 10/12/2008 |
| San Salvador | 6.84 | 3.19 | 9.4 | 28.9 | 1.9 | 49.1 | 14.9 | 2.3 | 0.688 | 0.65 | Cambá | 26/10/2009 |
| Sajaroff | 6.99 | 4.98 | 18.0 | 37.6 | 2.1 | 76.3 | 11.4 | 1.1 | 0.696 | 0.58 | Cambá | 21/10/2009 |
| Villaguay | 7.37 | 3.66 | 34.4 | 26.4 | 2.2 | 67.5 | 24.6 | 3.8 | 1.235 | 0.62 | Puitá | 05/11/2009 |
| Lucas Norte | 7.52 | 6.46 | 21.0 | 45.3 | 2.9 | 92.3 | 4.6 | 1.1 | 1.916 | 1.18 | RP2 | 01/11/2009 |
| Cnia. La Mora | 7.14 | 3.35 | 5.1 | 27.4 | 2.1 | 63.6 | 13.5 | 4.3 | 0.816 | 0.47 | Puitá | 05/11/2009 |
| La Paz | 5.86 | 3.65 | 6.6 | 21.2 | 4.0 | 42.5 | 10.8 | 2.2 | 1.280 | 0.71 | Cambá | 05/11/2010 |
| Santa Juana | 6.72 | 1.87 | 10.2 | 17.6 | 0.9 | 51.2 | 15.9 | 4.6 | 0.670 | 0.48 | RP2 | 20/11/2010 |
| San Salvador | 6.48 | 2.82 | 11.0 | 33.4 | 1.6 | 44.9 | 10.5 | 2.0 | 0.993 | 0.62 | Puitá | 06/11/2010 |
| Villa Clara | 7.20 | 3.07 | 7.8 | 36.9 | 2.6 | 71.8 | 12.2 | 1.7 | 1.150 | 0.56 | Cambá | 27/10/2010 |
| San Jorge | 6.68 | 3.54 | 4.9 | 39.7 | 2.3 | 58.7 | 17.1 | 1.5 | 0.938 | 0.72 | Cambá | 30/10/2010 |

* Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER, Fundación PROARROZ. CC 24 Paraná Entre Ríos, Argentina. Correo electrónico: cquinter@fca.uner.edu.ar

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fertilización evaluados en arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

| Tratamiento | Nombre | Nutrientes kg ha ⁻¹ | Descripción |
|-------------|----------|-----------------------------------|--|
| T1 | Completo | N+P+K+Zn 64-16-30-0.3 | Fertilización a la siembra con 180 kg ha ⁻¹ de mezcla N-P-K con 45% SFT + 33% KCl + 22% de Urea. Tratamiento de semilla con Zn [300 g óxido de zinc (70% Zn) cada 100 kg]. Más Urea en pre riego, 100 kg ha ⁻¹ . |
| T2 | -Zn | N+P+K 64-16-30 | Fertilización a la siembra con 180 kg ha ⁻¹ de mezcla N-P-K con 45% SFT + 33% KCl + 22% de Urea. Sin tratamiento de semilla con Zn. Más Urea en pre riego, 100 kg ha ⁻¹ . |
| T3 | -K | N+P+Zn 64-16-0.3 | Fertilización a la siembra con 120 kg ha ⁻¹ de mezcla 66% SFT + 33% Urea. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). Mas Urea en pre riego, 100 kg ha ⁻¹ . |
| T4 | -P | N+K+Zn 64-30-0.3 | Fertilización a la siembra con 100 kg ha ⁻¹ de mezcla es 60% KCl + 40% Urea. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). Mas Urea en pre riego, 100 kg ha ⁻¹ . |
| T5 | -N | P+K+Zn 16-30-0.3 | Fertilización a la siembra con 140 kg ha ⁻¹ de mezcla 57% SFT + 43% KCl. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). |

Tabla 3. Rendimiento en grano de arroz y sus componentes para los tratamientos evaluados en los 17 sitios. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

| Tratamiento | Rendimiento kg ha ⁻¹ | Panojas Número m ⁻² | Granos por panoja | Granos Vanos % | Peso 1000 g |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| Completo | 8432 a | 414 a | 102 ab | 10.7 | 26.3 ab |
| - P | 8490 a | 411 a | 104 ab | 10.8 | 26.4 b |
| - K | 8085 b | 418 a | 101 a | 10.6 | 25.9 a |
| - Zn | 7996 b | 412 a | 109 b | 11.0 | 26.1 ab |
| - N | 7188 c | 374 b | 98 a | 10.4 | 26.1 ab |

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0.05).

tratamiento, con 5 evaluaciones dentro de cada franja. El análisis estadístico se realizó considerando un diseño en bloques completos aleatorizados en el cual cada localidad constituyó un bloque.

Evaluaciones

- Absorción de nutrientes en planta en cinco etapas:
 1. Inicio de macollaje (pre inundación, fertilización con N).
 2. Pleno macollaje 15 a 20 días después de la aplicación de N.
 3. Diferenciación de panoja.
 4. Floración.
 5. Madurez (grano y rastrojo). Para esto se evaluó la biomasa en cada estadio y se analizó el contenido de N, P, K y Zn en el tejido vegetal.
- Rendimiento en grano. Se determinó el rendimiento en grano al 14% de humedad y los componentes del rendimiento.

Resultados

Los rendimientos observados mostraron las condiciones habituales de producción que se presentan en Entre Ríos,

en función de las variedades y calidad de los sitios donde se siembra el arroz. En la **Figura 1** se pueden apreciar los rendimientos para cada tratamiento de los 17 sitios.

El análisis estadístico indicó que el tratamiento que no incluyó N, Zn o K mostró rendimientos significativamente menores respecto al tratamiento completo (**Figura 2**). La carencia de N provocó un menor número de panojas por unidad de superficie y menos granos por panoja, sin efecto sobre el vaneo (**Tabla 3**).

La respuesta al N fue significativa y generalizada en todos los sitios. La respuesta media a 60 kg ha⁻¹ de N, fue de 1450 kg ha⁻¹, variando de 600 a 2400 kg ha⁻¹. Las repuestas a Zn tanto como a K, fueron similares y en torno a los 350 kg ha⁻¹. Solamente en 3 casos se observaron respuestas a P superiores a 500 kg ha⁻¹, pero en 7 sitios la adición de P disminuyó el rendimiento en una magnitud similar. La respuesta media a P fue nula.

Los mayores valores de respuesta a Zn, K y los pocos casos con respuesta a P, se observaron en los suelos con pH superior a 7 (**Tabla 4**). Trabajos anteriores señalan diversos efectos que deprimen el rendimiento del arroz cuando el suelo tiene una reacción neutra a alcalina. En estas condiciones se reduce la disponibilidad de P, K y Zn para las plantas debido al exceso de Ca activo en el suelo,

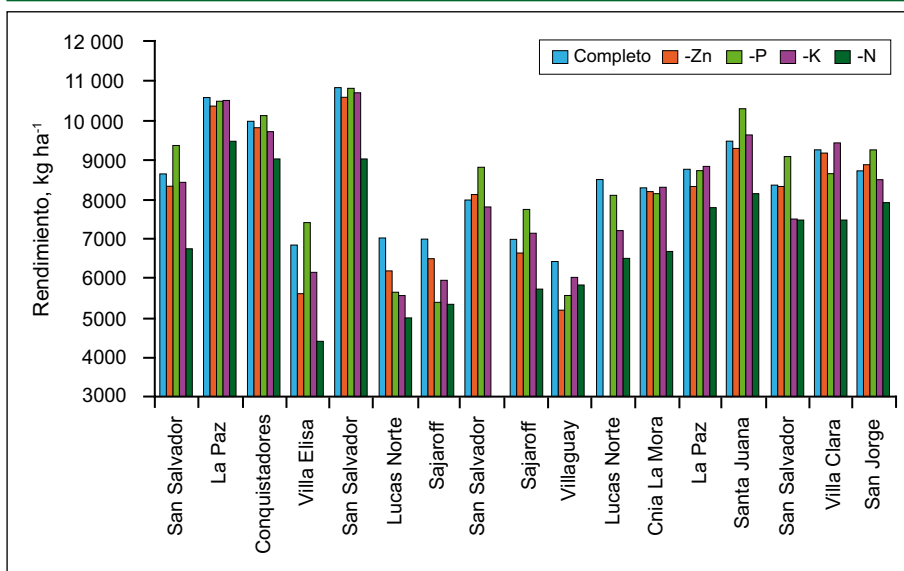


Figura 1. Rendimiento en grano de arroz observado en los distintos sitios. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

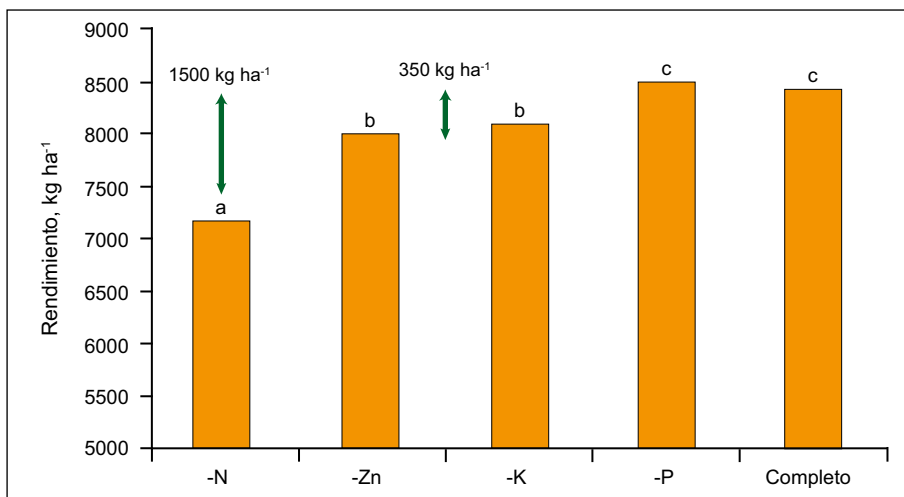


Figura 2. Rendimientos promedio de los distintos tratamientos evaluados. Ensayo de nutrición en el cultivo de arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

Tabla 4. Respuesta a los tratamientos en suelos con distinto pH.

| Suelo | Respuesta a N Respuesta a P Respuesta a K Respuesta a Zn | | | |
|-------------------|--|--------|-----|-------|
| | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | |
| pH < 7 (9 sitios) | 1213 | -410 a | 176 | 134 a |
| pH > 7 (8 sitios) | 1677 | 466 b | 558 | 613 b |

Tabla 5. Absorción total de nutrientes por el cultivo de arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

| Tratamiento | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | |
|-------------|---------------------------------|---------|-------|-------|
| | N | P | K | Zn |
| Completo | 111 a | 23.4 a | 114 a | 333 a |
| - P | 113 a | 23.9 a | 118 a | 315 a |
| - K | 108 a | 22.3 ab | 114 a | 313 a |
| - Zn | 105 a | 23.4 a | 121 a | 298 a |
| - N | 89 b | 20.5 b | 96 b | 257 b |

Letras distintas para cada columna, indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

lo cual podría explicar las respuesta a estos elementos en condiciones alcalinas (Quintero, et al., 2006).

La absorción total de los elementos analizados fue afectada significativamente por el manejo de la fertilización nitrogenada (Tabla 5). Sin embargo, los efectos sobre el consumo de nutrientes por tonelada de grano no fueron de relevancia, y confirman los valores encontrados por Quintero (2009, Tabla 6). Los consumos de nutrientes registrados en Entre Ríos son similares y encuadran bien con los informados en Asia por Witt et al. (1999) en base a un número muy importante de observaciones. La proporción de los nutrientes que se exporta en los granos (índice de cosecha), tampoco fue afectada por los tratamientos (datos no mostrados) y tuvo una media de 73% para N, 81% para P, 17% para K y 54% para el Zn.

Discusión

En base a estos cuatro años de ensayos es permisible concluir que el N es deficitario y presenta una respuesta generalizada en los distintos ambientes de producción de Entre Ríos. Los suelos evaluados proveerían aproximadamente 90 (+/-25) kg ha⁻¹ de N, según la cantidad de N absorbida por el cultivo en el tratamiento -N (Tabla 5). Esta cantidad es insuficiente para alcanzar una productividad económicamente rentable y limita severamente el rendimiento del arroz. Teniendo en cuenta los consumos determinados en Entre Ríos (Tabla 6), el N disponible del suelo alcanzaría para producir rendimientos medios de 6350 kg ha⁻¹. Debido a ello, al aplicar N, es posible obtener una respuesta de 10 a 40 kg de arroz por kg de N aplicado, con una media de 23 kg arroz kg⁻¹ N. La proporción de N del fertilizante aplicado previo al riego, que es absorbida por el arroz, puede variar del 10 al 100%, pero es muy probable que esté en torno al 40% (datos no publicados). La variación en la respuesta a N, así como en la eficiencia de uso, no se relacionó con el contenido de materia orgánica del suelo (MO).

La adición de P mostró resultados aleatorios, con casos donde se deprimió el rendimiento de manera significativa. La respuesta no estuvo

Tabla 6. Consumo total de nutrientes por tonelada de grano producida. Datos de estos ensayos mas reportes anteriores (Quintero, 2009) y datos propios no publicados. Datos de Asia tomados de Dobermann y Fairhust, (2000) y de EE.UU. del IPNI.

| Fuente | N | P | K | Zn |
|------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|---------------------------|
| | ----- kg t ⁻¹ ----- | | | --- g t ⁻¹ --- |
| Promedio Entre Ríos | 14 | 3 | 13 | 43 |
| Desvío Estándar Entre Ríos | 2.8 | 0.7 | 4.5 | 20 |
| Número de Observaciones Entre Ríos | 279 | 231 | 231 | 231 |
| Promedio Asia | 18 | 3 | 17 | 50 |
| Promedio EE.UU. | 22 | 3 | 26 | 40 |

relacionada con índices de disponibilidad de P en el suelo. Esto es coincidente con los trabajos de De Battista y Arias (2005) en ensayos similares. La cantidad de P disponible para el arroz que pueden liberar los suelos (24+/-6 kg ha⁻¹), sería suficiente para rendimientos cercanos a 9000 kg ha⁻¹ (Tabla 5). Sin embargo, en suelos de pH superior a 7 la respuesta a P fue significativa (Tabla 4). En estas condiciones, la liberación de P que se produce por la condición de anaerobiosis, al haber muy poco hierro activo (Fe⁺²) para reducir, es escasa (Quintero, et al., 2007). Coincidentemente, en Arkansas (EE.UU.), reconocen que los análisis de P extractable no son efectivos para el arroz; sostienen que el pH del suelo es un mejor estimador de la respuesta y recomiendan mayores dosis de P cuando el pH del suelo es superior a 6.5 (Wilson et al., 2000). También se debe considerar que los suelos que presentan tenores de MO superiores a 3.6%, tienen una capacidad de liberación de P muy elevada (Quintero et al., 2007). En estas condiciones de alta disponibilidad natural de P, sumada a la fertilización con P, es posible que se de mayor deficiencia de Zn y/o toxicidad por arsénico (As), que deprimen el rendimiento.

Las respuestas a Zn en semilla y a K fueron constantes y significativas (Tabla 3). Ambos elementos mostraron respuestas de mayor magnitud en suelos de pH neutro a ligeramente alcalino (Tabla 4). En trabajos anteriores se ha mostrado que el exceso de Ca intercambiable que se da en suelos de pH ligeramente alcalino, deprime la absorción de K y reduce la actividad metabólica del Zn en el arroz (Quintero et al., 2006). En el caso del Zn, dado el bajo costo del tratamiento, su recomendación de uso como fertilizante en la semilla es generalizada, ya que aún en suelos de pH ligeramente ácido, la respuesta cubre los costos. En casos de pH elevado podría complementarse con aplicaciones foliares de Zn, que han mostrado muy buenos resultados (Arévalo et al., 2008). No sucede lo mismo con el K, donde normalmente la respuesta en suelos ligeramente ácidos no cubre el costo de la fertilización. Por otro lado, en suelos de pH neutro a alcalino, a pesar de tener alta disponibilidad de K, la respuesta a K es de magnitud considerable y rentable.

Conclusiones

El cultivo de arroz en Entre Ríos presenta una deficiencia de N generalizada, debido a que los suelos no pueden liberar suficiente cantidad para sostener altos rendimientos, por

lo cual la respuesta a la fertilización nitrogenada es muy significativa y se recomienda su aplicación en todos los casos.

Si bien los suelos de Entre Ríos son genéticamente deficientes en P para los cultivos de secano, frecuentemente la liberación de P en condiciones de anaerobiosis es suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo de arroz. Las respuestas a la fertilización con P se verifican únicamente en suelos con pH neutro a ligeramente alcalino.

La disponibilidad de K en los suelos de Entre Ríos es media a alta. Sin embargo, la respuesta a su aplicación en arroz es significativa. Más aún, cuando la proporción de Ca en el complejo de cambio es elevada y se verifica un pH neutro a alcalino, por lo cual en estas condiciones se aconseja la fertilización potásica.

En el caso del Zn, su disponibilidad en el suelo es baja, la respuesta es frecuente y cobra magnitud importante en suelos de pH 7 o superior. Se recomienda la incorporación de este micronutriente en los programas de fertilización de manera generalizada.

Bibliografía

- Arévalo, E., C. Quintero, N. Spinelli, N.G. Boschetti, M. Befani, y M. Zamero. 2008. Evaluación de Dosis, Fuentes y Momentos de la aplicación de Zinc. En: Resultados experimentales 2007-2008 Fundación Proarroz. Volumen XVII. Publicación editada por INTA E.E. A. C. Del Uruguay y Fundación Proarroz. 93 p.
- De Battista, J.J. y N. Arias. 2005. Capítulo 19: Arroz. En: Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. Echeverría, H.E. y F.O. García. INTA. pp. 399-407.
- Quintero, C. 2009. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. Tesis Doctoral. Ediciones de la Fundación para el Desarrollo Agropecuario. ISBN: 978-987-25076-1-9. 167 p. Versión digital <http://hdl.handle.net/2183/5680>. ISBN: 978-84-692-8861-0.
- Quintero, C.E., y E.A. Figueroa. 2008. Fertilización de Arroz. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas (2^{da} Ed.) Melgar, R. y Díaz-Zorita, M. Emisferio Sur. INTA. pp. 244-260.
- Quintero, C., E. Arévalo, N.G. Boschetti, y N. Spinelli. 2006. Clorosis en suelos con calcáreo. Experiencias en el cultivo de arroz en Entre Ríos. En: Micronutrientes en la agricultura. Editora: Mabel Vázquez. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 1^{ra} Edición. pp. 113-125. ISBN: 987-21419-4-0.
- Quintero, C., F. Gutierrez Boem, M. Befani, y N.G. Boschetti. 2007. Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina. J. Plant Nutr. Soil Science, 170:500-505.
- Wilson, C., N. Slaton, R. Norman, y D. Miller. 2000. Efficient use of fertilizer. En: Rice Production Handbook. Cooperative Extension Service, University of Arkansas. pp. 51-74.
- Witt, C., A. Dobermann, S. Abdulrachman, H.C. Gines, Wang Guanghuo, R. Nagarajan, S. Satawatananot, Tran Thuc Son, Pham Sy Tan, Le Van Tiem, G.C. Simbahan, y D.C. Oik. 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. Field Crops Research, 63:113-138.*