

Fertilización para altos rendimientos de arroz en la región templada argentina

César Quintero*

- *Un plan de fertilización para altos rendimientos supone que los factores que definen el rendimiento y los que lo limitan están debidamente controlados. Esto implica que las expectativas de respuesta a las prácticas de fertilización son altas.*
- *Con las variedades y las prácticas utilizadas actualmente, una meta de rendimiento promedio de 8000 kg ha⁻¹ es alcanzable razonablemente.*
- *Los nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y zinc (Zn) son frecuentemente deficitarios en Argentina. Así, este artículo propone una serie de recomendaciones de manejo de los mismos en esquemas de altos rendimientos del cultivo de arroz.*

Introducción

En la actualidad la productividad media de arroz en Argentina está estancada en menos de 50% de su potencial productivo. No hay un único factor limitante, sino un conjunto de factores acumulados que reducen el rendimiento. Todos los factores de la producción deben ser considerados para aspirar a altos rendimientos y, dentro de ellos, la fertilización es clave para incrementar los rindes. Con un ajuste minucioso de las prácticas de manejo es posible llegar a producciones del 80% del potencial (11 000 kg ha⁻¹). Algunos productores, en superficies importantes, cosechan hoy al menos 9000 a 10 000 kg ha⁻¹.

En ensayos de parcelas se ha llegado a recolectar 13 000 a 15 000 kg ha⁻¹. Esto quiere decir que una meta de rendimiento promedio de 8000 kg ha⁻¹ es alcanzable razonablemente, con las variedades y las prácticas utilizadas actualmente. Se dispone de tecnología y conocimientos suficientes, pero se requiere de un seguimiento y control minucioso de todos los puntos y aspectos que hacen al rendimiento.

Factores que determinan o definen el rendimiento potencial alcanzable

Existen factores determinantes del rendimiento que son definitorios (**Figura 1**). Por un lado, está la calidad del ambiente, integrado por las características propias del sitio: el suelo, la rotación y la calidad del agua de riego. Por otro lado, está el cultivo definido por su ciclo, la fecha de emergencia, y el número de plantas logradas por unidad de superficie.

En lo que refiere al suelo, existen zonas con suelos alcalinos (pH > 7), con exceso de calcio (Ca) [$> 80\%$ de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)] y/o sodio (Na) ($> 8\%$ de la CIC) o algo salinos a salinos (CE > 1.5 dS m⁻¹), donde se ve limitado el rendimiento. En otras situaciones existen algunos suelos muy lavados, ácidos (pH < 5.5), muy insaturados y otros lugares de cultivo con suelos "esqueléticos" de muy baja CIC y materia

orgánica (MO), donde el rendimiento alcanzable es menor.

La fecha de emergencia y el ciclo de la variedad determinan el potencial para aprovechar la oferta de radiación solar y el escape a condiciones adversas como el frío o las altas temperaturas. Las variedades tradicionales tienen buena capacidad de macollaje y unas 200 plantas por m², bien distribuidas en el espacio, resultan suficientes para lograr altos rendimientos. Un número de plantas que no limite el rendimiento es crucial; por lo cual se recomienda utilizar semillas de alta calidad y sembrar a una profundidad y densidad uniforme.

Factores que limitan el rendimiento potencial

Una vez establecido el cultivo en fecha y densidad apropiada, en un ambiente propicio; el rendimiento puede ser limitado por la disponibilidad de nutrientes y de agua. Demás está decir que el riego en arroz es muy importante y que los trabajos previos de emparejado del terreno y correcta nivelación son fundamentales para manejar adecuadamente el agua teniendo también beneficios indirectos sobre el control de malezas y uso eficiente del nitrógeno (N).

Los nutrientes N, P, K y Zn son frecuentemente deficitarios en Argentina. El N es el elemento más limitante y su aplicación es ineludible para alcanzar altos rendimientos. El K y el Zn se presentan deficientes en algunas situaciones, sobre todo en suelos de pH ligeramente alcalino con exceso de Ca. Es menos frecuente la deficiencia de P dado que los suelos tienen gran capacidad de liberarlo cuando se inunda. Sin embargo, en suelos de baja MO y pH > 6.5 , o cultivo de arroz continuo; la disponibilidad de P es baja y limita el rendimiento.

Es sumamente importante asegurar una oferta de nutrientes adecuada desde la germinación del cultivo para lograr una elevada tasa de crecimiento y absorción de N en los estadios tempranos. Esto permite aprovechar la radiación incidente, generar tallos y

* Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Entre Ríos, Argentina
Autor de contacto. Correo electrónico: cquintero@fca.uner.edu.ar

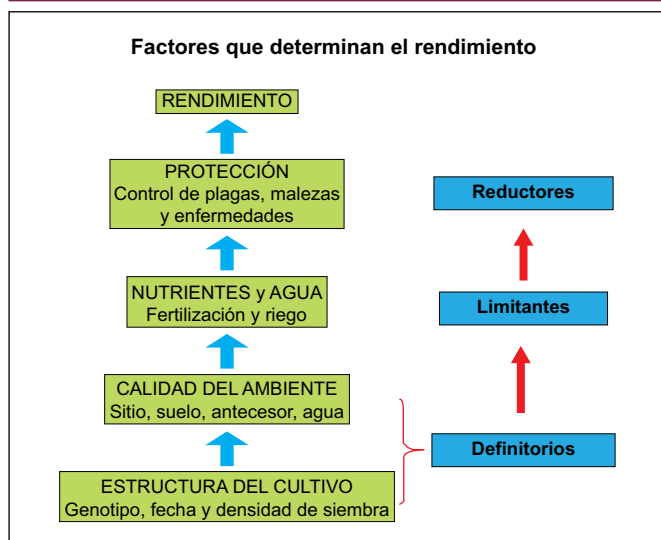


Figura 1. Esquema conceptual de los factores que afectan el rendimiento del cultivo de arroz.

macollos, y acumular biomasa que luego se translocará a los granos. La confluencia de días largos de mucho sol y buena dotación de N en el suelo, cuando se inicia el periodo reproductivo y durante la floración, asegura la formación de un número elevado de panojas y de granos llenos.

Factores que reducen el rendimiento

Aun cuando los factores definitorios y limitantes del rendimiento se encuentren en niveles óptimos, existen otros factores que pueden reducir el rendimiento tales como los insectos, las enfermedades y las malezas. Para estos hay que tomar medidas de protección y control. En arroz, el factor sanitario más importante que reduce los rendimientos son las malezas gramíneas.

Las enfermedades y los insectos que atacan a las plántulas también deben ser tratados con suma importancia, dado que afectan un factor definitorio del rendimiento como es el número de plantas logradas. Para esto son fundamentales los tratamientos preventivos con fungicidas e insecticidas en semillas. Por otro lado, se debe monitorear la presencia de insectos y enfermedades que reducen el área foliar fotosintéticamente activa para así captar toda la energía solar posible.

Finalmente, se deben controlar los insectos y las enfermedades que atacan a los granos en formación o impiden la translocación de los fotoasimilados, dado que afectan el rendimiento y también la calidad del grano.

¿Cómo hacer un plan de fertilización de arroz para altos rendimientos?

Un plan de fertilización para altos rendimientos supone que los factores que definen el rendimiento y los que lo limitan están debidamente controlados. Esto implica que las expectativas de respuesta a las prácticas de fertilización son altas. Esta situación se da cuando se siembran variedades de alto potencial de rendimiento, en una época y densidad adecuada, con ajustado manejo del riego, malezas, insectos y enfermedades.

Lo primero que se debe observar para evaluar las expectativas de respuesta a un plan de fertilización es el rendimiento actual. Si los rendimientos de los últimos años son inferiores a 5000 kg ha^{-1} , seguramente existen limitaciones importantes que solucionar antes de iniciar un plan de fertilización de altos rendimientos, y las expectativas de respuesta son bajas. En esta situación, factores definitorios como la fecha de siembra o la densidad tienen un gran peso, y posiblemente otros factores reductores también contribuyan a una menor productividad (**Tabla 1**).

Para reducir algunas limitaciones de sitio, primeramente se debe indagar sobre la condición físico-química del suelo. Un indicador sencillo para evaluar esto es el pH: con $\text{pH del suelo} > 6.5-7.0$ posiblemente existan limitaciones por exceso de Ca o Na.

Si los suelos son dispersivos por exceso de Na, es recomendable la aplicación de yeso (sulfato de calcio) como enmienda, para mejorar la condición física del suelo, ayudando a la implantación del cultivo. En contraste, si el suelo es ácido ($\text{pH} < 5.5$) y la saturación de bases es inferior al 50-60%, se debe aplicar cal dolomítica (carbonato de Ca/Mg) para reducir la toxicidad de aluminio (Al). Las cantidades de enmienda a aplicar (yeso o cal) varían según el tipo de suelo, generalmente entre 2 y 4 t ha^{-1} ; y para ello se deben tener en cuenta todos los cationes intercambiables y la CIC.

Otra propiedad del suelo a mirar inicialmente es la conductividad eléctrica (CE) que es un indicador de la salinidad del mismo. $\text{CE} > 1.5-2.0 \text{ dS m}^{-1}$, reduce la germinación y las plantas logradas, incrementa la esterilidad y disminuye el peso de los granos. En este caso no es recomendable aplicar enmiendas, sino utilizar agua de baja salinidad, incrementando la cantidad y la frecuencia de riego. La salinidad es acompañada frecuentemente de deficiencias de Zn, P y K.

Tabla 1. Relación entre el rendimiento actual, los factores limitantes y la expectativa de respuesta a la fertilización.

Rendimiento actual, kg ha^{-1}	Diagnóstico	Expectativa de respuesta
< 5000	Varios factores definitorios y reductores, limitan el rendimiento	Baja
5000-6000	Algunos factores definitorios y reductores, limitan el rendimiento	Media
7000-8000	Algunos factores reductores, limitan el rendimiento	Alta
> 8000	Muy buen ajuste y control de las prácticas de manejo	Muy alta

Tabla 2. Consumo total de nutrientes por tonelada de grano producida. Para Entre Ríos, datos propios y reportes anteriores (Quintero, 2009) y datos no publicados. Datos de Asia tomados de Dobermann y Fairhurst, (2000) y de EE.UU. del IPNI.

	N	P	K	Zn
	kg t ⁻¹			g t ⁻¹
Promedio Entre Ríos	14 (+/- 2.8)	3 (+/- 0.7)	13 (+/- 4.5)	43 (+/- 20)
Promedio Asia	18	3	17	50
Promedio EE.UU.	22	3	26	40

Tabla 3. Interpretación del análisis de suelo y recomendación de fertilización para P en arroz. Dosis de P en kg ha⁻¹.

Características del suelo	P disponible - Bray (ppm)		
	< 5	5-10	> 10
Materia orgánica < 3.5% y/o pH > 6.5	20-30	15-20	10-15
Materia orgánica > 3.5% y/o pH < 6.5	15-20	10-15	10

Tabla 4. Interpretación del análisis de suelo y recomendación de fertilización para K en arroz.

K intercambiable cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	K disponible mg kg ⁻¹	Saturación K %	Calificación	Dosis K kg ha ⁻¹
< 0.15	60	< 1.5	Bajo	55-70
0.15-0.25	60-90	1.5-2	Medio	40-55
0.25-0.45	90-180	2-2.5	Alto	30-40
> 0.45	> 180	> 2.5	Muy alto	< 30

Recomendaciones de fertilización para expectativas de alta a muy alta respuesta

Por el momento, las experiencias locales y regionales han mostrado que los elementos más importantes que pueden limitar el rendimiento de arroz son el N, el P, el K y el Zn. Sus requerimientos locales han sido establecidos (Tabla 2). Un programa de fertilización debe contemplar la disponibilidad y necesidad de estos cuatro nutrientes.

Fósforo (P)

La inundación durante el cultivo de arroz provoca condiciones de anaerobiosis que favorecen una mayor disponibilidad de P. Los suelos bien dotados de materia orgánica, como los de Entre Ríos, pueden desarrollar gran poder reductor y mineralizar cantidades de P suficientes como para cubrir los requerimientos del arroz a expensas de las reservas de P orgánico y no responder a la aplicación de P. Sin embargo, cuando esa fracción se agota o los suelos son genéticamente pobres en materia orgánica, el P liberado es insuficiente.

Por otro lado, en suelos de pH superior a 7.0, la respuesta a P ha sido significativa (Quintero et al., 2015). En estas condiciones, al haber muy poco Fe activo para reducir, la liberación de P que se produce por la anaerobiosis es escasa (Quintero et al., 2007). Coincidentemente en Arkansas (EE.UU.), Norman et al. (2003), reconocen que los análisis de P extractable no son efectivos para el arroz;

sosteniendo 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.

En base a estas experiencias es que se propone en la Tabla 3, una interpretación y recomendación basada en la cantidad de P extractable, la materia orgánica y el pH de los suelos.

Dado que las fuentes de fertilizantes de P tienen distinta reacción en el suelo, se recomienda la utilización de fosfato mono amónico (MAP) por su reacción ácida, en los suelos de pH > 6.5 y fosfato di amónico (DAP) por su reacción alcalina, en los suelos de pH < 6.5. Tanto DAP (20% P) como MAP (22% P) son aplicados a la siembra en líneas.

Potasio (K)

Los requerimientos de K de un arroz de alto rendimiento son del orden de los 120 a 150 kg ha⁻¹, pero un arroz bien nutrido puede absorber más de 200 kg ha⁻¹. El K juega un rol fundamental en la expansión celular y en el desarrollo de aerénquima funcional, así como en la translocación de los fotoasimilados hacia los granos.

La deficiencia de K se presenta por dos condiciones: 1) Por baja disponibilidad, y 2) Por mala relación con los cationes de cambio como Ca, Mg y/o Na. La disponibilidad se debe analizar tanto en base al valor de K intercambiable como por la proporción de K sobre la CIC. Para evaluar la

disponibilidad y hacer recomendaciones de fertilización potásica se puede utilizar como guía la **Tabla 4**.

Independientemente de la disponibilidad de K, en los suelos donde se observen reacciones alcalinas ($\text{pH} > 7$) por exceso de Na o Ca, o en situaciones de salinidad ($\text{CE} > 1.5 \text{ dS m}^{-1}$), se recomienda la aplicación de un mínimo de 30 kg ha^{-1} de K.

La fuente más utilizada es el cloruro de potasio (50% K) aplicado a la siembra o previo al riego.

Zinc (Zn)

Las condiciones de anaerobiosis del suelo que se establecen en el cultivo de arroz determinan que la disponibilidad de Zn se vea disminuida. Por ello es muy frecuente la respuesta a la aplicación de Zn en arroz a nivel mundial. En los suelos donde se cultiva arroz en Entre Ríos, es frecuente encontrar áreas donde las plantas al emerger, presentan una clorosis que retarda su crecimiento y en algunos casos llega a provocarles la muerte. Estos síntomas están asociados a suelos con $\text{pH} > 6.5$, con visibles y abundantes concreciones de CaCO_3 en superficie y se agravan cuando ocurren bajas temperaturas, lluvias excesivas, o se aplican altas dosis de P. Síntomas similares se pueden observar en zonas de suelos salinos, sódicos y/o alcalinos de Santa Fe y Corrientes. Esta sintomatología

está relacionada a la baja disponibilidad de Zn y a la baja actividad metabólica del Zn en la planta por exceso de Ca, y ha podido ser corregida mediante la aplicación de Zn a las semillas. El tratamiento de las semillas con Zn, ha mostrado una respuesta promedio de 350 kg ha^{-1} en Entre Ríos y el grado de adopción de esta práctica entre los productores es superior al 60%. En suelos deficientes, la complementación con aplicaciones foliares de fertilizantes con Zn, aporta beneficios adicionales, con respuestas medias de 400 a 800 kg ha^{-1} . La dosis de Zn a aplicar es de 200 a 400 g ha^{-1} . Las fuentes disponibles (óxidos, y quelatos) tienen similar respuesta.

Dado la deficiencia y respuesta generalizada, se recomienda el tratamiento de semillas con Zn de manera generalizada también. Las condiciones de mayor respuesta se observan en suelos con Zn (extraído con EDTA) $< 0.8 \text{ mg kg}^{-1}$ y/o $\text{pH} > 6.5$.

Nitrógeno (N)

Habiendo corregido las deficiencias con los aportes necesarios de P, K y Zn, el N es el elemento que permitirá alcanzar los potenciales de producción con las mayores respuestas. La deficiencia de N es generalizada y muy pocos suelos pueden aportar cantidades suficientes para altos rendimientos de arroz. La dosis de N a aplicar depende la capacidad del suelo para aportar N al cultivo

Tabla 5. Interpretación del análisis de suelo y recomendación de fertilización para N en arroz.

Materia orgánica del suelo %	Aporte de N del suelo	Rendimiento sin N kg ha ⁻¹	Dosis N
> 4.5	110-150	8000-10 000	40-60
2.5-4.5	70-110	5000-8000	60-100
< 2.5	< 70	< 5000	> 100

Tabla 6. Efecto de distintos momentos de fertilización con urea en arroz sobre los componentes de rendimiento. Promedio de 12 ensayos.

Tratamiento	Panojas # m ²	Granos # panoja	Vanos %	P1000 gr	Rendimiento kg ha ⁻¹	IC %
N-0 Testigo	369 a	95 a	9.8 a	26.2 a	6948 a	61 ab
N-70 Pre riego	395 a	105 b	10.6 a	26.8 a	8279 b	59 a
N-70 Diferenciación	427 c	105 b	12.6 b	26.4 a	8484 b	64 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Test: LSD Fisher., IC: Índice de cosecha

Tabla 7. Efecto de distintos momentos de fertilización con urea en arroz sobre la absorción de N. Promedio de 12 ensayos.

Tratamiento	N absorbido kg N ha ⁻¹	Eficiencia agronómica de N kg grano kg ⁻¹ N aplicado	Eficiencia de recuperación de N kg N absorbido kg ⁻¹ N aplicado	N absorbido por toneladas de grano kg grano t ⁻¹ grano
N-0 Testigo	86 a			12.4 a
N-70 Pre riego	108 b	19.0 a	0.31 a	13.0 ab
N-70 Diferenciación	112 b	21.9 a	0.37 a	13.2 b

Para cada columna, letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según test de DMS Fisher

y de la variedad por su susceptibilidad al vuelco o a enfermedades (**Tabla 5**).

La aplicación de N en el momento oportuno es tan importante en el manejo eficiente de este nutriente como la fuente o la dosis aplicada. Existen tres momentos propicios para incorporar el N en el cultivo de arroz: a la siembra, en V_3 - V_4 previo al riego o en R_0 - R_1 diferenciación de la panícula.

La fuente nitrogenada más utilizada en fertilización de arroz es la urea (46-0-0). En numerosos trabajos se muestra la conveniencia de utilizar esta fuente dado que tiene el N en forma amónica y no se vería afectado significativamente por la desnitrificación en un ambiente reductor como el de arroz. La bibliografía internacional indica que lo más conveniente es hacer una única aplicación previa al riego o aplicar un 50 a 65% de la dosis en pre-riego y el resto en diferenciación. Las recomendaciones que surgen a partir de las investigaciones en EE.UU., muestran que la fertilización previa a la inundación es la más efectiva si se realiza sobre suelo seco y se inunda antes de los 5 días de aplicado el N. El arroz debe mantenerse inundado y en anaerobiosis para reducir las pérdidas de N. Cuando el agua no satura la superficie de manera continua, las pérdidas de N pueden ser altas y por lo tanto la efectividad menor (Norman et al., 2003). Sin embargo, experiencias recientes en Argentina indican que la aplicación de N en diferenciación de panícula puede ser tanto o más efectiva que la de pre-riego (**Tablas 6 y 7**).

Las experiencias locales muestran que es conveniente aplicar una pequeña cantidad de N a la siembra (10 - 25 kg ha^{-1}) para lograr un buen crecimiento inicial sobre todo en suelos pobres bajo cultivo continuo de arroz. Es sumamente importante la aplicación del 50 a 65% del N programado en V_3 - V_4 previo al riego. La aplicación de R_0 - R_1 o diferenciación de la panícula, permite ajustar la dosis final de N, en función de las características del año y la respuesta del cultivo.

Comentarios finales

Las condiciones de inundación y las bajas exigencias del arroz determinan que su cultivo sea posible en suelos considerados no aptos para otros cereales. Esto lleva a una alta intensidad de uso del suelo y monocultivo en muchas situaciones, con lo cual los problemas de fertilidad son crecientes. Elementos como N, P, y Zn se agotan rápidamente del sistema si no se reponen adecuadamente.

Un plan de fertilización para altos rendimientos de arroz debe estar basado en condiciones de manejo del cultivo adecuadas para tener una moderada expectativa de respuesta que repercuta en retornos económicos positivos.

Bibliografía

- Dobermann, A., y T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. PPI-PPIC and IRRI. Singapore and Los Baños.
- Norman, R., C. Wilson, y N. Slaton. 2003. Soil fertilization and Mineral nutrition in U.S. Mechanized rice culture. In: Rice: Origin, History, Technology, and Production. Smith, C.W. and Dilday, R. H. Ed. pp. 331-411.
- 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., F.H. Gutiérrez-Boem, M. Befani, y N. Boschetti. 2007. Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina. J. Plant Nutr. Soil Science. 170:500-505. SIN: 0213-4497.
- Quintero, C.E., M.A. Zamero, G. van Derdonckt, G. Boschetti, M.R. Befani, E. Arévalo, y N. Spinelli. 2015. Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos. Revista Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. Versión Cono Sur. IAH-17:20-23.



(Fotografías gentileza de C. Quintero)