

# Momentos oportunos para fertilización con nitrógeno en arroz en Entre Ríos, Argentina

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

## Introducción

La aplicación del nitrógeno (N) en el momento oportuno es tan importante en el manejo eficiente de este nutriente como la fuente o la dosis aplicada. Sin embargo, el momento más apropiado para la aplicación del N en arroz sigue siendo muy controvertido debido a: i) desconocimiento de las características de absorción de N en las variedades de arroz; ii) desconocimiento de la cantidad y el momento de aporte de N por parte del suelo y iii) manejo del agua.

La fuente nitrogenada más utilizada en la fertilización de arroz en Entre Ríos es la urea (Quintero y Figueroa, 2008). En numerosos trabajos se muestra la conveniencia de utilizar esta fuente dado que tiene el N en forma amídica y no se vería afectado significativamente por la desnitrificación en un ambiente reductor como el del arroz inundado. La bibliografía internacional indica que lo más conveniente es hacer una única aplicación pre-riego o aplicar un 50% a 65% de la dosis en pre-riego y el resto en diferenciación (Reddy y Patrick, 1976; Craswell et al., 1981; Wilson et al., 1998; Walker y Street, 2003). 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 posteriores a la aplicación del 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, en Entre Ríos, el mejor control de malezas que se alcanza actualmente (sobre todo en los materiales resistentes a las imidazolinonas) ha permitido desarrollar sistemas alternativos de riego, reduciendo el consumo de combustible. Así es que en muchos casos el riego es intermitente en los estadios tempranos y la inundación sólo es permanente entre la diferenciación y la madurez. Este manejo del agua puede ser contrapuesto a las recomendaciones de Norman et al. (2003) para un manejo eficiente del N aplicado temprano.

Durante los últimos años, la fundación PROARROZ ha financiado investigaciones tendientes a orientar sobre cuáles son los momentos más oportunos para aplicar la urea en las condiciones locales del cultivo de arroz en Entre Ríos. En este trabajo se resumen los principales resultados.

## Materiales y métodos

Durante las campañas 2008/09, 2009/10 y 2010/11 se realizaron 10 ensayos en campos de producción comercial. El diseño de tratamientos (**Tabla 1**) no fue igual todos los años y difiere entre los primeros 4 ensayos y los siguientes 6, por lo cual se analizaron estadísticamente por separado. Los sitios experimentales y las principales características así como los tratamientos aplicados en cada caso, pueden verse en la **Tabla 2**.

Los ensayos se realizaron en parcelas de 100 m<sup>2</sup> con 3 repeticiones, en bloques completos al azar. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con 140 kg ha<sup>-1</sup> de una mezcla física grado 00-26-26, que contiene 57% Superfosfato Triple de Ca (SPT) y 43% KCl, y las semillas tratadas con Zn (200 g cada 100 kg).

Se tomaron muestras de plantas en los momentos de 4 hojas, macollaje, diferenciación, floración y madurez (paja y grano) para evaluar la producción de biomasa y la concentración de N en los tejidos. Se evaluó el rendimiento de paja y grano, a humedad comercial, a la madurez en 1 m<sup>2</sup> por parcela. Se contaron las panojas en 2 m lineales por parcela y los granos llenos y vanos en 30 panojas por parcela. Se determinó también el peso de 1000 granos.

**Tabla 1. Tratamientos de fertilización nitrogenada en cultivos de arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11.**

Tratamiento	Descripción
T1	N-0 Testigo: Sin fertilización nitrogenada.
T2	N-70 Siembra: 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado al voleo en el momento de la siembra.
T3	N-70 Pre riego: 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego.
T4	N-70 Diferenciación: 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado en diferenciación de primordio.
T5	N-70 Fraccionado: 35 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 35 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado en diferenciación. Total 70 kg ha <sup>-1</sup> de N.
T6	N-140 Fraccionado: 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado en diferenciación. Total 140 kg ha <sup>-1</sup> de N.
T7	N-210 Fraccionado: 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado al voleo en el momento de la siembra + 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 70 kg ha <sup>-1</sup> de N como urea aplicado en diferenciación. Total 210 kg ha <sup>-1</sup> de N.

\* Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER, Fundación PROARROZ. CC 24 Paraná ER (3.100). Correo electrónico: cquinter@fca.uner.edu.ar

Se determinó la eficiencia agronómica del uso del N aplicado (EAN, kg de grano / kg de N fertilizante) y la eficiencia de recuperación del N del fertilizante (ERN, (N absorbido por el tratamiento - N Absorbido testigo)/ dosis de N x 100).

## Resultados y discusión

El efecto de los tratamientos aplicados fue significativo, al igual que el efecto del ensayo (año-variedad-sitio) para todas las variables analizadas. Sin embargo, la interacción de tratamiento por ensayo fue muy baja (**Tabla 3**). Esto estaría indicando que, a pesar de los diferentes manejos, variedades y otras características de cada ensayo o sitio, la respuesta a los tratamientos sería similar.

El número de panojas por unidad de superficie se vio significativamente incrementado respecto al testigo en los tratamientos fertilizados. La aplicación de N, en

diferentes momentos y dosis, dio como resultado un incremento significativo de más del 10% en el número de espiguillas por panoja, asociado a un aumento del vaneado de 2-3 % solamente (**Tabla 4**).

El peso de los granos tuvo un gran efecto varietal, donde se destacan Yeruá y RP2 con granos significativamente más grandes, lo que pudo alterar el promedio de los resultados para los tratamientos dado que se ensayaron en uno y dos sitios, respectivamente (**Tabla 5**). Teniendo en cuenta esto podemos decir que el peso de los granos fue poco afectado por la fertilización.

Como resultado de un número mayor de panojas y espiguillas, el rendimiento en grano fue significativamente más alto en los tratamientos fertilizados.

El promedio de rendimiento y sus componentes para cada variedad puede verse en la **Tabla 5**. Hay que

tener en cuenta que son variedades sembradas en diferentes sitios y que no es un ensayo comparativo de rendimiento. Algunas diferencias propias de cada variedad pueden verse claramente, como su capacidad de macollaje y peso de granos.

En todos los ensayos la respuesta a N fue significativa con más de 1000 kg ha<sup>-1</sup> de respuesta a la dosis de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N. La absorción total de N por el arroz en los tratamientos testigos sin N fue de 87 kg ha<sup>-1</sup>, valor coincidente con trabajos anteriores realizados por nuestro grupo. Para la mayoría de los casos, el aporte de N por parte del suelo estuvo entre 78 y 97 kg ha<sup>-1</sup>; este valor es insuficiente para lograr una alta producción y explica

**Tabla 2. Principales características de los ensayos en cultivos de arroz.**

Ensayo	Campaña	Sitio	Variedad	MO suelo, %	Tratamientos
1	2008/09	San Salvador	Cambá	3.43	1-2-3-4-7
2	2008/09	Villaguay	Avaxi	3.87	1-2-3-4-7
3	2008/09	Sajaroff	Yeruá	3.45	1-2-3-4-7
4	2008/09	LucasN	RP2	3.26	1-2-3-4-7
5	2009/10	Villaguay	Puitá	3.66	1-3-4-5-6
6	2009/10	Sajaroff	Cambá	4.98	1-3-4-5-6
7	2009/10	L. Norte	RP2	6.44	1-3-4-5-6
8	2010/11	San Jorge	Cambá	3.54	1-3-4-5-6
9	2010/11	Villa Clara	Cambá	3.07	1-3-4-5-6
10	2010/11	San Salvador	Puitá	2.82	1-3-4-5-6

**Tabla 3. Análisis de la varianza. Probabilidad de efecto para las diferentes fuentes de variación (FV) y variables analizadas en el cultivo de arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. P1000 = Peso de mil granos; Rto. = Rendimiento; IC = Índice de cosecha; N Abs = N absorbido; EAN = Eficiencia Agronómica del N; ERN = Eficiencia de recuperación del N.**

a. Ensayos 1 a 4.									
FV	Panojas	Granos	Vanos	P1000	Rto.	IC	N Abs.	EAN	ERN
Tratamiento	0.0006	0.0013	0.22	0.1785	<0.0001	0.0469	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ensayo	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.012
Trat. x Ensayo	0.7187	0.1357	0.0315	0.0048	0.6002	0.0295	0.0242	0.1145	0.5741
CV, %	10.8	8.6	27.4	3.3	7.9	6.7	10.3	52	56
b. Ensayos 5 a 10.									
FV	Panojas	Granos	Vanos	P1000	Rto.	IC	N Abs.	EAN	ERN
Tratamiento	0.0001	0.2113	0.0001	0.2089	<0.0001	0.1855	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ensayo	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
Trat. x Ensayo	0.0373	0.6345	0.3102	0.5136	0.2662	0.7424	0.5475	0.1488	0.1856
CV, %	10.1	12.9	23.3	4.5	9.9	10.6	13.6	68	59

**Tabla 4. Promedio de resultados para las variables relacionadas al rendimiento de arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). n = Número de observaciones. IC = Índice de Cosecha.**

**a. Ensayos 1 a 4.**

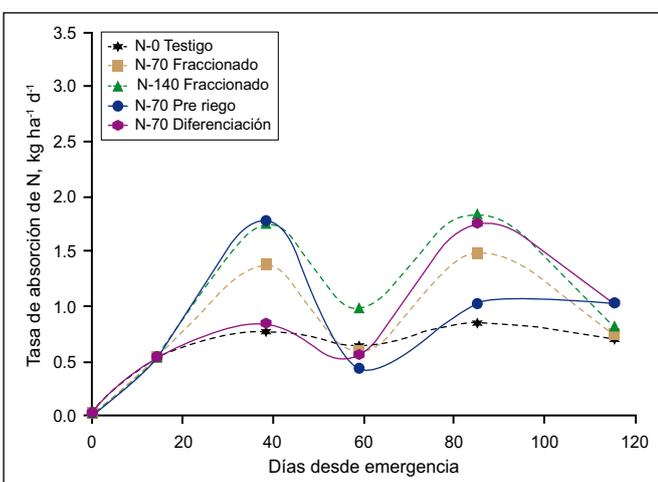
Tratamiento	n	Panojas m <sup>2</sup>	Granos panoja <sup>-1</sup>	Vanos %	P1000 g	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	IC %
T1 = N-0 Testigo	12	335 a	98 a	13.2 ab	27.8 ab	7732 a	62 b
T2 = N-70 Siembra	12	388 bc	104 ab	13.9 ab	27.6 ab	9071 b	60 ab
T3 = N-70 Pre riego	12	374 b	106 b	13.0 a	28.1 b	9005 b	60 ab
T4 = N-70 Diferenciación	12	400 bc	101 ab	14.9 ab	27.9 ab	9525 b	64 b
T7 = N-210 Fraccionado	12	412 c	114 c	16.4 b	27.2 a	10 532 c	59 a

**b. Ensayos 5 a 10.**

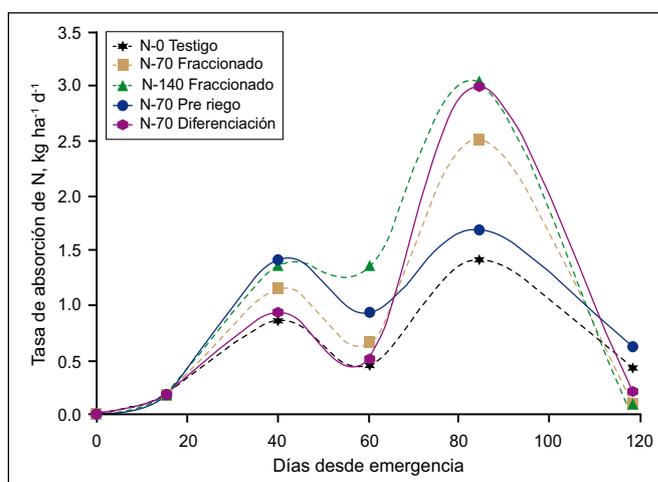
Tratamiento	n	Panojas m <sup>2</sup>	Granos panoja <sup>-1</sup>	Vanos %	P1000 g	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	IC %
T1 = N-0 Testigo	18	397 a	98 a	7.8 a	25.4 ab	6693 a	61 ab
T3 = N-70 Pre riego	18	434 b	103 ab	9.7 b	25.6 b	8416 bc	58 a
T4 = N-70 Diferenciación	18	464 c	107 b	11.8 c	24.9 ab	8383 b	63 b
T5 = N-70 Fraccionado	18	454 bc	107 b	10.7 bc	24.8 a	7962 b	60 ab
T6 = N-140 Fraccionado	18	463 bc	106 ab	10.7 bc	25.3 ab	8946 c	61 ab

**Tabla 5. Valores promedio de los componentes del rendimiento de arroz para las variedades evaluadas. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). n = Número de observaciones. IC = Índice de Cosecha.**

Variedad	n	Panojas m <sup>2</sup>	Granos panoja <sup>-1</sup>	Vanos %	P1000 g	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	IC %
Avaxi	15	537 e	100 bc	14.4 c	23.7 a	12 101 c	56 a
Cambá	60	425 c	116 d	11.2 b	25.0 b	9148 b	63 b
Puitá	30	464 d	96 ab	7.8 a	23.3 a	7657 a	57 a
RP2	30	365 b	87 a	12.2 bc	28.7 c	6936 a	62 b
Yerúa	15	287 a	111 cb	18.6 d	34.4 d	7293 a	62 b



**Figura 1. Tasa de absorción de N para el cultivar Puitá-INTA-CL. Promedio de 2 ensayos. Campaña 2010/11. Entre Ríos.**



**Figura 2. Tasa de absorción de N para el cultivar Cambá-INTA-PROARROZ. Promedio de 4 ensayos. Campaña 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos.**

**Tabla 6. Promedio de resultados para las variables relacionadas a la absorción de nitrógeno (N) en arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). EAN: Eficiencia agronómica del uso del N aplicado (kg de grano / kg de N fertilizante). ERN: Eficiencia de Recuperación del N del Fertilizante [ $100 \times (\text{N absorbido por el tratamiento} - \text{N Absorbido testigo})/\text{dosis de N}$ ].**

a. Ensayos 1 a 4.					
Tratamiento	n	N Abs. kg ha <sup>-1</sup>	EAN kg kg <sup>-1</sup>	ERN %	N Abs. kg t <sup>-1</sup>
T1 = N-0 Testigo	12	87 a	-	-	11.2 a
T2 = N-70 Siembra	12	108 b	19.1 ab	29.8 a	11.8 ab
T3 = N-70 Pre riego	12	108 b	18.2 a	29.5 a	11.9 ab
T4 = N-70 Diferenciación	12	122 c	25.6 b	50.4 b	12.7 b
T7 = N-210 Fraccionado	12	161 d	13.3 a	35.1 a	15.0 c

b. Ensayos 5 a 10.					
Tratamiento	n	N Abs. kg ha <sup>-1</sup>	EAN kg kg <sup>-1</sup>	ERN %	N Abs. kg t <sup>-1</sup>
T1 = N-0 Testigo	18	87 a	-	-	13.1 a
T3 = N-70 Pre riego	18	116 bc	24.6 b	42.3 bc	13.7 ab
T4 = N-70 Diferenciación	18	117 bc	24.2 b	44.4 c	14.2 b
T5 = N-70 Fraccionado	18	108 b	18.1 ab	31.6 ab	13.7 ab
T6 = N-140 Fraccionado	18	123 c	13.0 a	26.6 a	13.9 ab

la respuesta observada. Los tratamientos fertilizados con urea, absorbieron significativamente más N (Tabla 6).

La eficiencia de conversión del N del fertilizante en grano o eficiencia agronómica fue de 18-26 kg ha<sup>-1</sup> para la dosis de 70 kg de N, con diferencias significativas solamente en los ensayos 1 a 4 a favor de la aplicación en diferenciación por sobre la aplicación de pre-riego (Tabla 6). Para las dosis superiores, la eficiencia tendió a disminuir.

La proporción de N del fertilizante que fue absorbida por el cultivo (ERN) fue del 30% o superior para la dosis de 70 kg ha de N aplicada en pre-riego, en diferenciación o fraccionada. La mayor eficiencia se observó cuando el N fue aplicado en diferenciación en los dos grupos de ensayos.

La evaluación del crecimiento y la absorción de N durante el ciclo de cultivo de los diferentes ensayos, ha permitido conocer de manera indirecta la liberación de N disponible en el suelo que puede absorber el cultivo de arroz en los distintos momentos de su ciclo, al igual que la recuperación del N aplicado en distintos momentos.

En las Figuras 1 y 2 pueden verse la tasa de absorción para las principales variedades sembradas en Entre Ríos. Puede observarse que el suelo no es capaz de abastecer de N a tasas suficientes en ningún momento del ciclo.

La variedad Puitá mostró similares tasas de absorción de N tanto en el periodo vegetativo como en el reproductivo, mientras que la variedad Cambá mostró tasas más altas de absorción luego de la diferenciación del ápice reproductivo.

## Conclusiones

Estos ensayos han permitido aclarar en alguna medida la respuesta del arroz a la aplicación del N en distintos momentos. En las condiciones de cultivo de Entre Ríos, donde la disponibilidad instantánea de agua puede ser relativamente reducida, dado que proviene de pozos profundos o de represas, el riego en etapas tempranas vegetativas es comúnmente intermitente. Estas condiciones pueden determinar en la práctica una reducción en la eficiencia de aprovechamiento del N aplicado a inicios de macollaje previo al riego. Por otro lado, la aplicación de la urea en diferenciación, con el cultivo desarrollado y cubierto con una lámina de agua que permanece hasta la madurez, mostró una mayor eficiencia y superiores tasas de absorción del N, sobre todo en los cultivares Cambá y Gurí.

Estos resultados sugieren que bajo condiciones similares, la aplicación de la urea en macollaje temprano previo al primer riego o en diferenciación

en una única dosis, o en dosis fraccionadas tienen una efectividad similar. La mayor o menor respuesta estará dada por el manejo del agua en etapas tempranas y la variedad cultivada.

## Bibliografía

- Craswell, E.T., S.K. De Datta, W.N. Obcemea, y M. Hartantyo. 1981. Time and mode of nitrogen fertilizer application to tropical wetland rice. *Fertilizer Research* 2(4):247-259.
- 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.E., y E.A. Figueroa. 2008. Fertilización de Arroz. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas* (2da Ed.) Melgar, R. y Díaz-Zorita, M. Hemisferio Sur. INTA. pp. 244-260.
- Reddy, K.R., y W.H. Patrick. 1976. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. *Agron. J.* 68:965-969.
- Walker, T.W., y J.E. Street. 2003. Rice fertilization. Information Sheet No. 1341. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station. Mississippi State University.
- Wilson, C.E., P.K. Bollich, y R.J. Norman. 1998. Nitrogen application timing effects on nitrogen efficiency of dry-seeded rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:959-964. ♦