

MOMENTO DE APLICACIÓN DE N Y FERTILIZACIÓN BALANCEADA EN ARROZ

César Quintero, María A. Zamero, Graciela Boschetti, María R. Befani, Edgardo Arévalo, y Nicolás Spinelli.

Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER cquinter@fca.uner.edu.ar

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 su aplicación es algo muy controvertido debido: 1) al desconocimiento de las características de absorción de N en las variedades de arroz; 2) al cambio de las variedades altas antiguas hacia las modernas resistentes al vuelco y de alto rendimiento; 3) al desconocimiento de la cantidad y el momento de aporte de N por parte del suelo y 4) al manejo del agua.

Muchos esquemas de fertilización han sido propuestos y evaluados; algunos muestran buenos resultados, aunque son más costosos y laboriosos. La estrategia más adecuada es conocer como absorbe N la planta de arroz y que efecto tiene sobre desarrollo y el rendimiento, además de valorar la respuesta de las variedades de arroz a los distintos momentos de aplicación.

Básicamente, las mejores opciones en lo que refiere a momentos de aplicación de N en arroz son: 1) hacer una única aplicación pre riego o 2) aplicar un 50 a 65 % de la dosis en pre riego y el resto en diferenciación. Los métodos con múltiples aplicaciones de pequeñas dosis son más caros, por los costos de aplicación, y no han mostrado ser más efectivos que los anteriores.

La concentración de N en las plantas de arroz declina a medida que el cultivo avanza en su ciclo. El arroz acumula N en los estadios tempranos y prácticamente no absorbe N durante el llenado de granos. Es frecuente que la cantidad de N absorbida en floración sea superior a la contenida en madurez, indicando una pérdida por volatilización foliar.

En el caso de Entre Ríos, la nutrición con N parece estar a un 60 % del óptimo relacionado a las bajas dosis de N y a la incertidumbre ligada al abastecimiento por parte del suelo, al miedo al vuelco y daño por frío. Los ensayos realizados indican que el momento más eficiente para aplicar el N es en estadios tempranos, previo a la inundación. Esto es consistente con otras investigaciones donde demuestran que gran parte del N se absorbe en estadios tempranos y luego se transloca a los granos. Sin embargo el objetivo de rendimientos altos requiere de dosis más altas de N y para un uso más eficiente del N se deberá fraccionar su aplicación en el ciclo del cultivo. Por lo cual una evaluación a mediados de ciclo podría ser promisorio para determinar la dosis final de ajuste.

MATERIALES Y METODOS

Durante la campaña 2008/09 se realizaron 4 ensayos de momentos de aplicación de N y tres de fertilización balanceada con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y zinc (Zn) en los mismos campos de producción comercial, excepto San Cristóbal. Estos últimos se suman a otros cuatro conducidos en la campaña anterior. Los sitios y las principales características pueden verse en la tabla 1.

Tabla 1. Características principales de los sitios de ensayo.

	S. Salvador	Sajaroff	Lucas Norte	San Cristóbal
Variedad/Híbrido	Cambá	Yerúa	RP2	Avaxi CL
Siembra	04/10/08	03/11/08	12/11/08	04/10/08
Emergencia	14/10/08	28/11/08	10/12/08	14/10/08

Floración	21/01/09	20/02/09	02/03/09	14/01/09
Antecesor	Girasol	Campo Natural	Soja	Arroz
pH	6,4	7,1	7,5	6,8
MO (%)	3,43	3,45	3,26	3,87
P (ppm)	6,4	4,9	8,4	22,4
CIC (cmol/kg)	21	26,3	41,4	21,2
Sat. K (%)	2,3	2,8	1,9	2,0
Sat. Ca (%)	66,6	80,3	62,2	71
Sat. Mg (%)	9,5	18,6	9,2	13
Sat. Na (%)	3,0	2,2	3,9	8
Salinidad (dS/m)	1,561	0,746	1,198	1,744
Zn (ppm)	1,12	1,36	4,94	

- I. Los tratamientos del ensayo de momentos de aplicación del N fueron:
1. Testigo: Sin fertilización nitrogenada.
 2. N a la siembra: 70 kg/ha de N como urea (150 kg/ha) aplicado a la siembra.
 3. N en Pre riego: 70 kg/ha de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego.
 4. N en diferenciación: 70 kg/ha de N como urea aplicado en diferenciación.
 5. N plus: 70 kg/ha de N como urea aplicado a la siembra + 70 kg/ha de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 70 kg/ha de N como urea aplicado en diferenciación. Total 210 kg/ha de N.

Todos los tratamientos fueron fertilizados a la siembra con mezcla 57 % SPT + 43 % KCl (grado 00-26-26) 140 kg/ha y las semillas tratadas con Zn (200 g cada 100 kg).

Los ensayos se realizaron en parcelas de 100 m² con 3 repeticiones. Se tomaron muestras de plantas en 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 en madurez en 1 m² por parcela. Se contaron las panojas en 2 m lineares por parcela y los granos llenos y vanos en 30 panojas por parcela. De determinó también el peso de 1000 granos.

- II. Los tratamientos evaluados en el ensayo de fertilización balanceada fueron los siguientes:
1. **Completo:** Zn + P + K + N. Fertilización a la siembra con mezcla N-P-K con 45 % SPT + 33 % KCl + 22 % de Urea (grado: 10-20-20) 180 kg/ha. Tratamiento de semilla con Zn (300 g óxido 70 % cada 100 kg). Urea pre riego 100 kg/ha.
 - I. **Menos Zn:** P + K + N. Fertilización a la siembra con mezcla N-P-K con 45 % SPT + 33 % KCl + 22 % de Urea: 180 kg/ha. (grado: 10-20-20). Sin tratamiento de semilla con Zn. Urea pre riego 100 kg/ha.
 2. **Menos K:** Zn + P + N. Fertilización a la siembra con mezcla 66% SPT + 33 % Urea. (grado 15-31-00) 120 kg/ha. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). Urea pre riego 100 kg/ha.
 3. **Menos P:** Zn + K + N. Fertilización a la siembra con mezcla es 60% KCl + 40 % Urea (grado 18-00-36) 100 kg/ha. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). Urea pre riego 100 kg/ha.
 4. **Menos N:** Zn + P + K. Fertilización a la siembra con mezcla 57 % SPT + 43 % KCl. (grado 00-26-26) 140 kg/ha. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg).

Estos tratamientos permiten conocer el aporte natural de los suelos de los distintos elementos y la respuesta a cada elemento agregado. El aporte de cada elemento como fertilizante fue el siguiente: N: 64 kg/ha, P: 15 kg/ha; K: 30 kg/ha; Zn: 300 g/ha.

El diseño del ensayo fue en franjas dentro del gran cultivo, con una superficie de 0,25 a 1 hectárea por tratamiento. Con evaluaciones dentro de cada franja en 5 repeticiones.

RESULTADOS

I. Momento de aplicación de N

El efecto de los tratamientos, el sitio y la interacción sitio por tratamiento, fueron significativos para casi todas las variables evaluadas. Los tratamientos mostraron respuestas significativas en el rendimiento en tres de los cuatro sitios evaluados (Figura 2). Las respuestas en los componentes del rendimiento y en la absorción de N fueron diferentes entre sitios.

Los tratamientos con nitrógeno tuvieron más panojas aunque no hubo un efecto importante del momento de aplicación de N (Tabla 2).

El N aplicado en pre riego y el tratamiento N-Plus mostraron más granos por panojas (Tabla 3). En Sajaroff el tratamiento con más N evidenció un mayor vaneo, pero en Lucas Norte, inversamente, el testigo fue el que más porcentaje de granos vanos mostró (Tabla 4).

La respuesta en el peso de los granos también fue diferente en cada sitio. En San Cristóbal, los granos más pesados fueron los fertilizados en pre riego; en Sajaroff los fertilizados en diferenciación, produciendo N-Plus los granos más livianos (Tabla 5).

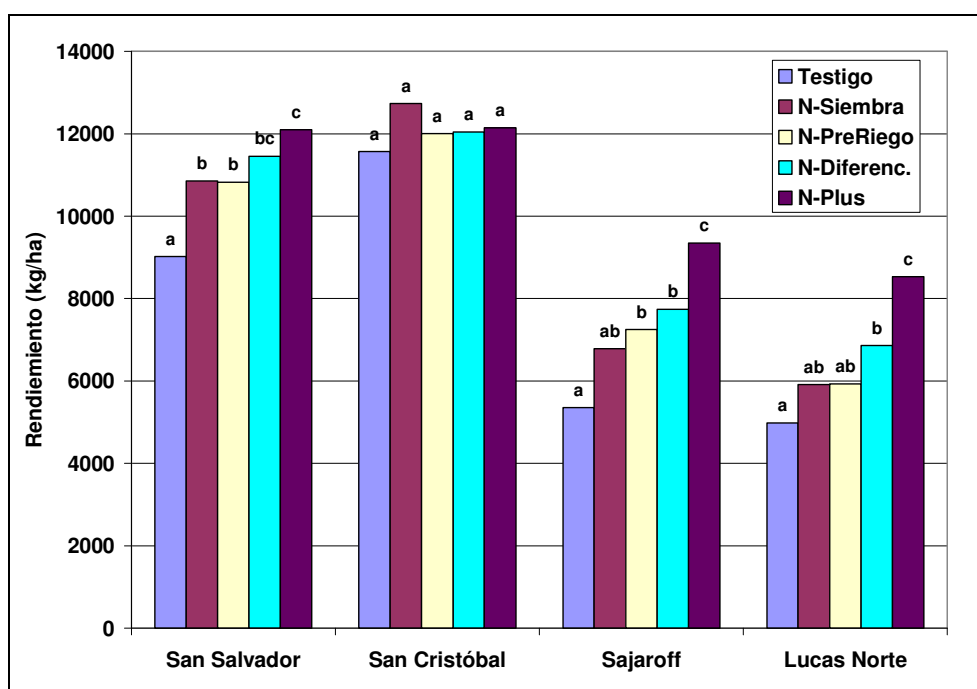


Figura2. Rendimiento observado para los distintos tratamientos y sitios evaluados. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher; $p \leq 0,05$).

Tabla 2. Número de panojas por metros cuadrado.

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	362 a	478 a	247 a	255 a	335 a

N-Siembra	443 a	502 a	313 b	293 ab	388 bc
N-PreRiego	408 a	542 a	285 ab	262 a	374 b
N-Diferenc.	433 a	542 a	285 ab	342 b	400 bc
N-Plus	398 a	621 b	303 b	325 b	412 c

Tabla 3. Numero de granos totales por panoja.

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	118 ab	95 a	100 a	80 a	98 a
N-Siembra	114 a	105 a	111 a	88 a	104 ab
N-PreRiego	132 b	100 a	115 ab	79 a	106 b
N-Diferenc.	120 ab	99 a	99 a	83 a	101 ab
N-Plus	126 ab	101 a	128 b	101 b	114 c

Tabla 4. Porcentaje de granos vanos.

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	9,6 a	10,9 a	15,3 a	17,1 b	13,2 ab
N-Siembra	11,0 a	13,9 a	17,9 a	12,7 ab	13,9 ab
N-PreRiego	11,9 a	14,1 a	15,9 a	10,0 a	13,0 a
N-Diferenc.	10,5 a	17,3 a	16,7 a	14,9 ab	14,9 ab
N-Plus	13,5 a	15,8 a	26,9 b	9,3 a	16,4 b

Tabla 5. Peso de 1000 granos en gramos.

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	24,9 a	23,5 ab	35 bc	27,9 ab	27,8 ab
N-Siembra	25,7 a	22,8 a	34,1 b	27,7 ab	27,6 ab
N-PreRiego	24,9 a	24,9 b	34,3 b	28,3 ab	28,1 b
N-Diferenc.	24,8 a	23,6 ab	36,0 c	27,3 a	27,9 ab
N-Plus	24,1 a	23,7 ab	32,3 a	28,8 b	27,2 a

Las diferencias en la absorción de N fueron muy significativas en todos los sitios, con valores de 55 a 241 kg de N por hectárea (Tabla 6). La recuperación aparente del N del fertilizante fue superior al 30 % aún en San Cristóbal donde no hubo respuesta significativa en rendimiento. En Lucas Norte la eficiencia fue menor debido probablemente a la emergencia tardía del cultivo. Es importante destacar que el tratamiento con máxima dosis de N (N-Plus) mostró una eficiencia de absorción similar a los otros tratamientos (Tabla 7). No hay que dejar de mencionar que en un año especialmente seco como el del ensayo, el manejo y la disponibilidad de agua no fue la adecuada, lo cual podría explicar la baja eficiencia de recuperación del N aplicado en las aplicaciones tempranas. La eficiencia agronómica de utilización del nitrógeno fue baja en San Cristóbal, donde el testigo rindió notablemente bien, pero en los otros sitios estuvo dentro los valores normalmente observados. La aplicación de N en diferenciación mostró consistentemente la mejor respuesta en kilos de arroz por kilo de N aplicado (Tabla 8).

Tabla 6. Nitrógeno absorbido a cosecha.

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	101 a	134 a	55 a	58 a	87 a
N-Siembra	129 b	159 ab	77 b	67 a	108 b
N-PreRiego	126 b	157 ab	79 b	69 a	108 b
N-Diferenc.	126 b	183 b	97 b	83 b	122 c
N-Plus	166 c	241 c	130 c	106 c	161 d

Tabla 7. Recuperación aparente del N fertilizante aplicado (%).

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	0	0	0	0	0
N-Siembra	39 a	36 a	31 a	13 a	30 a
N-PreRiego	36 a	33 a	34 a	16 a	30 a
N-Diferenc.	35 a	70 b	60 b	37 b	50 b
N-Plus	31 a	51 ab	36 a	23 ab	35 a

Tabla 8. Eficiencia agronómica de uso del Nitrógeno. (kg de grano/kg N)

Tratamiento	S. Salvador	San Cristóbal	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Testigo	0	0	0	0	0
N-Siembra	26,1 ab	16,6 a	20,4 a	13,4 a	19,1 ab
N-PreRiego	25,7 ab	6,2 a	27,2 ab	13,6 a	18,2 a
N-Diferenc.	34,7 b	6,7 a	34,1 b	26,9 b	25,6 b
N-Plus	14,6 a	2,7 a	19,0 a	16,9 a	13,3 a

En lo que respecta a la absorción de N durante el ciclo de cultivo, los distintos momentos de aplicación de N alteraron los patrones de absorción. Las aplicaciones a la siembra o previo al riego, mostraron tasas de absorción elevadas antes de la diferenciación. Los cuatro materiales ensayados mostraron una alta respuesta y absorción de N aplicado en diferenciación (Figuras 3, 4, 5 y 6). Estos materiales desarrollaron altas tasas de absorción entre diferenciación y floración por lo cual es posible recomendar una fertilización a inicios de la etapa reproductiva.

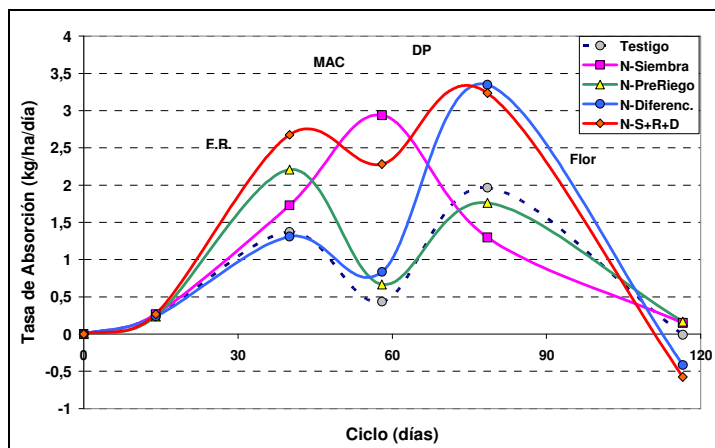


Figura 3. Tasa de absorción de N en San Salvador, variedad Cambá-INTA-PROARROZ. F.R.: Fertilización y Riego; MAC. Macollaje; DP: Diferenciación de Primordio; Flor: Floración.

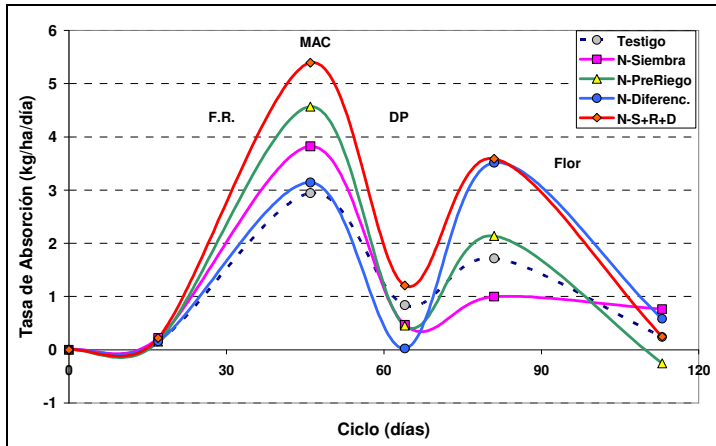


Figura 4. Tasa de absorción de N en San Cristóbal, variedad Avaxi CL.

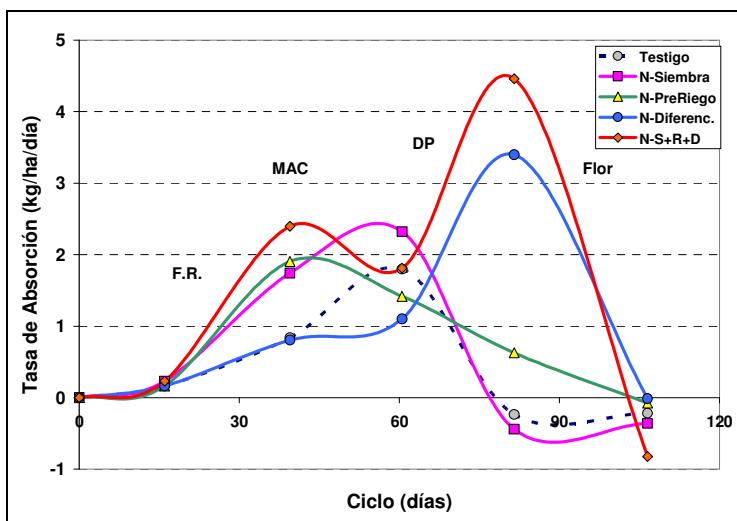


Figura 5. Tasa de absorción de N en Sajaroff, variedad YERUA.

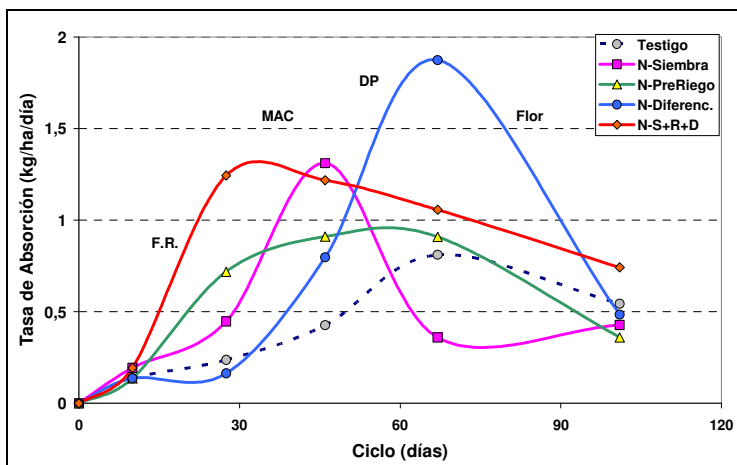


Figura 6. Tasa de absorción de N en Lucas Norte, variedad RP2.

Estos ensayos muestran por un lado que el arroz tiene capacidad de absorber el N en distintos momentos de aplicación y luego translocarlo para dar respuestas en rendimiento. Las recomendaciones que surgen a partir de las investigaciones en Estados Unidos, muestran que la fertilización previo 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 (Norman et al. 2003). Cuando el

agua no satura la superficie de manera continua las pérdidas de N pueden ser altas y por lo tanto la efectividad menor. Esto puede haber pasado en nuestros ensayos que, por la sequía, recibieron un riego intermitente desde inicio de macollaje hasta diferenciación y donde el aprovechamiento del N temprano fue menor y por ello se observaron altas tasas de absorción entre diferenciación y floración. No hay que olvidar por otro lado, que algunos materiales han mostrado menor capacidad para absorber N luego de la diferenciación (Puitá, IRGA 417, Supremo 13, Inov) frente a otros de mayor capacidad como Cambá, RP2 y El Paso 144; a los que se les suman a partir de esta experiencia Yeruá y Avaxi. El manejo del N puede ser ajustado con mayor eficiencia a partir de esta y otras experiencias, a medida que conozcamos mejor cómo absorben el N las distintas variedades.

II. Fertilización Balanceada

Se encontró que el efecto de los tratamientos y de los distintos sitios fue muy significativo. La interacción sitio por tratamiento fue significativa. Dado la variedad sembrada en Sajaroff y la fecha de emergencia en Lucas Norte, en dichos sitios los rendimientos, aún en los tratamientos fertilizados completos, fue relativamente bajo (Tabla 2).

Tabla 2. Rendimientos observados (kg/ha) del cultivo de arroz para los tratamientos y en las distintas localidades

Tratamiento	San Salvador	Sajaroff	Lucas Norte	Media
Completo	10825	6999	7024	8283
(-Zn)	10580	6516	6191	7763
(-P)	10815	5382	5634	7277
(-K)	10724	5963	5570	7419
(-N)	9027	5350	4980	6452
Media	10394	5880	6042	

En la tabla 3 se puede ver el aporte de cada elemento por parte de suelo, estimado del tratamiento donde falta el nutriente en presencia de los demás, y en la tabla 4 la absorción de elementos en el tratamiento completo. El aporte de N por parte del suelo siempre fue insuficiente y por ello se observó una disminución significativa del rendimiento en todos los sitios cuando este elemento no se agregó. En Sajaroff y Lucas Norte, se presentaron respuestas a los 4 elementos aplicados.

Tabla 3. Aporte de nutrientes por parte del suelo (NPK: kg/ha y Zn: g/ha)

Ensayo	N	P	K	Zn
San Salvador	101	31	149	443
Sajaroff	65	12	69	184
Lucas Norte	58	15	48	185

Tabla 4. Absorción de nutrientes en el tratamiento completo (NPK: kg/ha y Zn: g/ha).

Ensayo	N	P	K	Zn
San Salvador	127	29	164	479
Sajaroff	79	16	66	286
Lucas Norte	78	16	52	271

En la figura 1 se pueden apreciar los resultados de los 4 ensayos de la campaña 2007/08 y los 3 de la presente zafra.

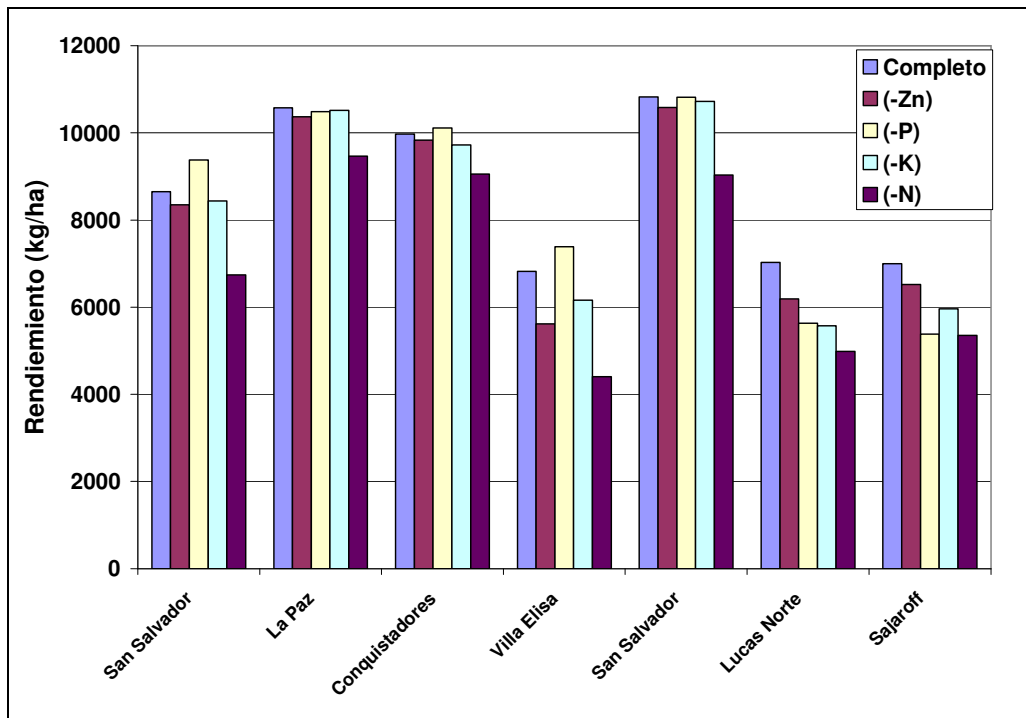


Figura 1. Rendimiento observado en los distintos sitios para las campañas 2007/08 y 2008/09.

Hasta el momento, puede decirse que la respuesta a N es generalizada en todos los ensayos. No se ha encontrado relación con las variables de suelo tradicionalmente utilizadas como la Materia Orgánica. En promedio se ha obtenido una respuesta de 1691 kg de arroz por hectárea, con una conversión de 26 kg de grano por kg de N aplicado.

La respuesta media a fósforo fue de 239 kg/ha pero sólo en 2 de los 7 ensayo hubo respuesta significativa. En todos los ensayos hubo mejoras por la aplicación de K, con una respuesta media de 541 kg/ha. Las respuestas fueron crecientes con el aumento del pH del suelo; por encima de pH 7 la respuesta fue mayor a 1000 kg/ha. De confirmarse estos resultados se sostendría nuestra hipótesis de deficiencia de K por exceso de Ca.

De manera similar, todos los ensayos respondieron al Zn con una media de 489 kg/ha, con mayores respuestas sobre pH 7 (840 kg/ha) y menores por debajo (225 kg/ha).

Un tercer año de ensayos podrá dar más sustento a estos resultados y confirmar las tendencias observadas.