

## EN SUS DOSIS JUSTAS: N-P-K COMO FORMA DE EXPLORAR ALTOS RENDIMIENTOS EN ARROZ

J. Castillo<sup>1</sup>

**PALABRAS CLAVE:** indicadores objetivos, fertilización equilibrada, variedades

### RESUMEN

Históricamente la fertilización de Arroz en Uruguay ha sido en base a P y N, comenzándose a fertilizar con K en zonas puntuales en los últimos años. Actualmente existe información nacional que permitiría manejar la fertilización de N, P y K para el cultivo de arroz en forma objetiva. El objetivo del trabajo es evaluar diferentes formas y cantidades de fertilización N-P-K en las variedades e híbridos de arroz presentes actualmente en el país y su efecto en parámetros vegetativos, productivo/económicos y de eficiencia de uso del fertilizante (N). Para esto fueron instalados 3 ensayos durante las zafras 2012-13, 2013-14 y 2014-15. En todas las zafras estuvieron presentes las variedades EP144, INIA Tacuarí, Parao y Olimar y en las 2 últimas se sumó al híbrido INOV y una línea L5903. Se evaluaron 5 tratamientos de fertilización: testigo absoluto (TE-AB), testigo comercial (TE-COM), fertilización subjetiva elevada (FER-EL) y 2 tratamientos siguiendo parámetros objetivos: TE-IN (testigo objetivo con datos de investigación extranjero) y FER-OB (fertilización objetiva en base a parámetros locales). Las respuestas agronómicas fueron analizadas con modelos mixtos fijando la significancia a 5%. Se determinó acumulación de materia seca (MS) a R3, rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>), eficiencia agronómica (N) (kg kg<sup>-1</sup>) y margen bruto (U\$S ha<sup>-1</sup>). Existió una relación entre la acumulación de MS a R3 y el rendimiento en grano. Los tratamientos con mayor agregado de fertilizante fueron los de mayor acumulación de MS si bien no fueron los de mayor rendimiento. La interacción año\*tratamiento mostró que la FER-OB y FER-EL fueron los tratamientos de mayor rendimiento en los 3 años de evaluación mientras que el otro tratamiento objetivo (TE-IN) lo fue también en 2 de 3 años. Tanto el MB así como la EA(N) fueron máximas con la FER-OB, seguidos por el tratamiento TE-IN.

### 1. INTRODUCCIÓN

En términos generales, la fertilización de arroz en Uruguay está asociada principalmente al uso de 2 nutrientes (N y P), los cuales presentan poca variación en las cantidades aplicadas en los diferentes sistemas productivos. Esto ha llevado a que en la actualidad se encuentren niveles de P en suelo superiores a lo reportado varias décadas atrás así como habría indicios de que en zonas puntuales se estén generando deficiencias de K. En cuanto al N, en los últimos años se viene observando un incremento en su uso, el cual muchas veces parecería no hacer variar en forma significativa los rendimientos tomando como referencia el aumento en las dosis.

A nivel internacional, existe información sobre los niveles de N, P y K que determinan que el cultivo de arroz crezca en deficiencia o condiciones óptimas de nutrientes en suelo (Dobermann y Fairhurst 2000), si bien esa información fue generada en sistemas productivos diferentes a los uruguayos. En algunos países como Estados Unidos, existen programas de recomendación de fertilización N en base a información objetiva (Roberts et al. 2011) y en otros como Brasil, sociedades como la SOSBAI realiza una recomendación de fertilización y de agregado de cal en función de análisis de suelo.

En Uruguay, existe información actual de P (Hernández *et al.* 2013), N (Castillo *et al.* 2014) y K (Deambrosi *et al.* 2014) que permitiría manejar estos 3 nutrientes en forma objetiva, persiguiendo en enfoque de fertilización balanceada.

El objetivo del trabajo es evaluar diferentes formas y cantidades de fertilización N-P-K en las variedades de arroz: El Paso 144, INIA Olimar, INIA Tacuarí, Parao, L5903 y el híbrido INOV así como su efecto en parámetros vegetativos, productivo/económicos y de eficiencia de uso del fertilizante (N).

<sup>1</sup> Ing. Agr., INIA. Programa Arroz. jcastillo@inia.org.uy

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las zafas 2012/13, 2013/14 y 2014/15 fueron instalados en la Unidad Experimental Paso de la Laguna experimentos que evaluaban diferentes formas de fertilizar al arroz las que resultaban en diferentes cantidades de nutrientes utilizadas. Previo a la siembra fueron tomadas muestras de suelo (0-0,20m) las que servirían para la posterior diseño de los tratamientos 4 y 5 (cuadro 1). La siembra se realizó el 16, 07 y 25 de octubre para los años 2012, 2013 y 2014 respectivamente, buscándose una población objetivo de 250 pl m<sup>2</sup>. De todos los materiales de arroz utilizados las variedades Olimar, El Paso 144, INIA Tacuarí y Parao estuvieron presentes en los 3 años de evaluación mientras que la variedad L5903 y el híbrido de arroz INOV estuvieron presentes en la segunda y tercer zafra. Previo a cada siembra toda la semilla fue tratada con 100 cc de Thiametoxam 100 kg de semilla<sup>-1</sup>.

Cuadro 1. Análisis de suelos de las 3 bajo de condición de ensayos.

	2012/13	2013/14	2014/15
FÓSFORO AC. CÍTRICO (ppm)	7,1	8,2	6,9
POTASIO INT. (meq.K 100 gr)	0,26	0,17	0,17
MAGNESIO (meq.K 100 gr)	4,2	3,9	2,6
POTENCIAL DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO (mg/kg)	29	22,7	21
CALCIO (meq.K 100 gr)	9,6	8,7	9,1
CARBONO ORGANICO (%)	1,3	1,1	1,5
C.I.C ((meq.K 100 gr)	17,8	15,5	16,3
NITRÓGENO TOT. (%)	0,16	0,18	0,16

Los tratamientos evaluados fueron: 1- Testigo absoluto (TE-AB); 2- Testigo comercial (TE-COM); 3- Agregado de fertilizante subjetivo elevado (FER-EL); 4- Testigo de fertilización investigación (TE-IN); 5- Fertilización objetiva según indicadores (FER-OB).

Se determinó acumulación de M.S a R3 y a cosecha rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>) llevado a base 13% de humedad y corregido según calidad. Se estimó un margen bruto ha<sup>-1</sup> sobre costos directos, siendo la variación en costos producto de las cantidades y tipos de fertilizantes utilizados. Por otro lado se calculó la eficiencia agronómica (E.A) del N agregado en cada tratamiento según la fórmula:  $EA = (RTO\ N - RTO\ sin\ N) / DN$  donde: EA es la eficiencia agronómica en kg kg<sup>-1</sup>, RTO N es el rendimiento obtenido con el N correspondiente a cada tratamiento, RTO sin N es el rendimiento logrado por el testigo absoluto y DN son los kg N ha<sup>-1</sup> utilizados en cada tratamiento.

En los 3 años, las cantidades y tipos de fertilizante utilizadas en los 3 primeros tratamientos fue la misma, siendo diferente para los tratamientos TE-IN y FER-OB los que se elaboran según los valores de análisis de suelo obtenidos cada año (cuadro 2).

El cálculo del tratamiento TE-IN fue realizado según las recomendaciones de SOSBAI (2005), haciendo la conversión de unidades en que son expresados los análisis de suelos en Uruguay a las unidades utilizadas en ese tipo de recomendación. En la misma línea, si bien los métodos extractivos de los nutrientes también son diferentes se asumió que eran iguales en cuanto a la respuesta vegetal esperable.

Por otro lado, para el cálculo del tratamiento FER-OB se tomaron como niveles críticos para P cítrico 7ppm, para N en la primer cobertura de urea 53,6 ppm NH<sub>4</sub>, según el potencial de mineralización de N (P.M.N) y 56 kg N ha<sup>-1</sup> absorbidos para la cobertura de elongación de entrenudos. Para K, fue tomado como nivel de suficiencia 0,2 meq 100 gr<sup>-1</sup> considerando también la relación con el Mg y Ca así como la saturación de K en la CIC del suelo (Dobermann y Fairhurst 2000).

Cuadro 2. Dosis de fertilizante utilizadas en función de los tratamientos evaluados en los 3 años

Año/Tratamiento	Fertilización basal	Urea (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Macollaje	Elongación
2012-13-14	TE- AB	0	0
2012-13-14	TE- COM	120 kg ha <sup>-1</sup> 18-46/46-0	50
2012-13-14	FER-EL	180 kg ha <sup>-1</sup> 18-46/46-0+ 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	150
2012	TE-IN	68 kg ha <sup>-1</sup> 18-46/46-0 + 84 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	98
2013	TE-IN	87 kg ha <sup>-1</sup> 18-46-0 + 117 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	111
2014	TE- IN	109 kg ha <sup>-1</sup> 18-46/46-0 + 83 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	90
2012	FER-OB	40 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	50*
2013	FER-OB	157 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	119**
2014	FER-OB	137 kg ha <sup>-1</sup> 0-0-60	117**

\*según NC calculado para 1er año, \*\* según NC calculado para 2do y 3er año, \*\*\* dosis urea promedio según variedades

Las respuestas agronómicas y económicas fueron evaluadas con modelos mixtos donde el año, la fertilización, las variedades y sus interacciones fueron considerados efectos fijos mientras los bloques fueron considerados efectos aleatorios. La separación de medias fue según LSD ( $p < 0,05$ ). En caso de detectarse interacciones significativas éstas se particionaron por unos de los factores en estudio.

### 3. RESULTADOS

Todas las variables analizadas (Cuadro 3) presentaron diferencias significativas según el año, la variedad y el tratamiento de fertilización evaluado. No se detectaron diferencias en la interacción año x variedad ni en la interacción año x variedad x tratamiento entre los grupos de materiales que participaron en los 3 años de evaluación ni en los que participaron en los dos últimos.

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables en estudio

	MS.R3	Rend.SSL	EA <sub>N</sub>	MB(U\$S)
<b>Año</b>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>Var</b>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>Trat</b>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>Año*Trat</b>	<0,0001	0,0001	Ns	0,0002
<b>Var*Trat</b>	Ns	Ns(0,066)	Ns	0,0419

#### Acumulación de M.S a R3

La acumulación de MS (kg ha<sup>-1</sup>) al estadio de R3 (prefloración) mostró diferencias entre grupos de materiales siendo mayor en aquellas tipo índicas que en las japónicas (11872 vs. 9589 respectivamente).

En los 3 años de evaluación la mayor y menor cantidad de M.S acumulada estuvo asociada a los tratamientos FER-EL y TE-AB respectivamente (Cuadro 4). En promedio, los tratamientos fertilizados acumularon un 33% más de MS que los testigos absolutos existiendo una correlación positiva entre la M.S acumulada a R3 y el rendimiento final en grano ( $R=0,58$ ,  $p < 0,0001$ ).

Cuadro 4. Acumulación de M.S a R3 de los tratamientos de fertilización evaluados según año de estudio.

Tratamiento	Año		
	2012-13	2013-14	2014-15
TE- AB	9498 d	7547 c	9265 c
TE-COM	10742 c	9878 b	11521 b
FER-EL	13366 a	11826 a	14467 a
TE-IN	12053 b	10319 b	12545 b
FER-OB	10541 cd	9779 b	12573 b

### Rendimiento en grano

El rendimiento en grano estuvo afectado por los materiales utilizados así como por los tratamientos de fertilización, los que interaccionaron con el efecto año. Cabe resaltar que la variedad L5903 así como el híbrido INOV estuvieron presentes en 2 años a diferencia de las restantes variedades que participaron en los 3 años de evaluación. Esta consideración es importante ya que los rendimientos alcanzados para estos 2 primeros materiales (L5903 e INOV) estuvieron afectados por una zafra de alto y otra de bajo rendimiento. En los otros casos, las restantes 4 variedades tuvieron 2 zafra de buenas condiciones climáticas, (por lo tanto altos rendimientos) y una de baja oferta ambiental. En tal sentido se destaca la variedad L5903 la que independientemente de lo comentado anteriormente obtuvo el rendimiento más alto si bien no difiere estadísticamente de Parao.

Cuadro 5. Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de los materiales evaluados para el promedio de los tratamientos de fertilización. INOV y L5903 n=2, EP144, Olimar, INIA Tacuarí y Parao n=3

Variedad/híbrido	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>
EP 144	11046 bc
Olimar	10880 cd
INIA Tacuarí	9761 e
Parao	11424 ab
INOV	10490 d
L5903	11841 a

El rendimiento alcanzado en cada año en particular, estuvo asociado a las condiciones climáticas presentes. En tal sentido mientras el primer año existieron buenas condiciones en la etapa vegetativa y reproductiva, obteniéndose en promedio 11320 kg ha<sup>-1</sup>, en la segunda se contó con una buena condición ambiental en la etapa vegetativa y baja luego de comenzada la etapa reproductiva. Esto llevo a que el rendimiento promedio se situase en 9225 kg ha<sup>-1</sup>. Lo contrario ocurrió el tercer año donde las excelentes condiciones en la etapa reproductiva enmascararon las malas condiciones de la primera etapa consiguiendo 12177 kg ha<sup>-1</sup>.

En términos promedio, la respuesta a la fertilización de cada tratamiento sobre el TE-AB fue de 8%, 20%, 16% y 19% para TE-COM, FER-EL, TE-IN y FER-OB respectivamente indicando el fuerte aumento en rendimiento de estos últimos tratamientos en comparación al TE-COM.

En los 3 años de experimentación, los tratamientos FER-OB y FER-EL lograron los mayores rendimientos mientras que TE-IN no difirió estadísticamente de estos 2 en 2 de tres años (Figura 1). Como se verá adelante, en el caso del tratamiento FER-EL, ese aumento en los rendimientos no asegura un buen resultado económico.

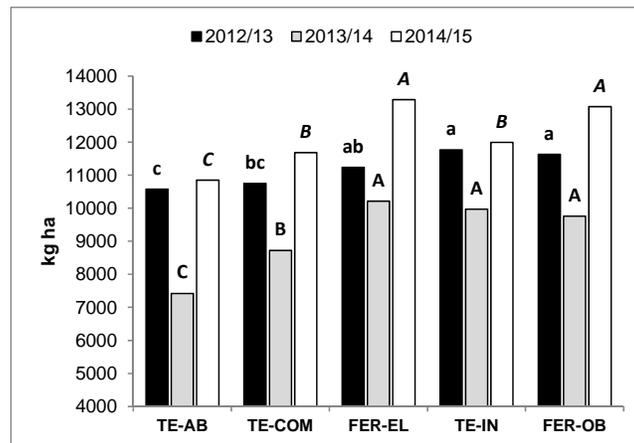


Figura 1. Rendimiento en grano según año y tratamiento. Letras en barras identificadas con minúsculas, mayúsculas y mayúsculas cursivas iguales no difieren estadísticamente entre si dentro de cada año.

### Eficiencia agronómica N

La variaciones en la eficiencia agronómica de cada tratamiento estuvieron explicadas por el factor año, variedad y tratamiento no existiendo interacciones entre estos factores. En tal sentido para el promedio de los tratamientos y variedades, la eficiencia agronómica del segundo y tercer año (18 y 15 kg kg<sup>-1</sup> respectivamente) fueron 100% y 62% superiores a las del año 1, no existiendo diferencias estadísticas entre las eficiencias de estos 2 años pero si con la eficiencia del primero (9 kg kg<sup>-1</sup>).

En cuanto a las diferencias en eficiencia encontradas, estas estuvieron asociadas a los diferentes materiales. Se observó una tendencia a que los materiales más modernos presentasen diferencias en eficiencia con los más antiguos. La variedad L5903 presentó los mayores registros (20 kg kg<sup>-1</sup>) siendo diferente de Tacuarí y Olimar (14 kg kg<sup>-1</sup>) y EP 144 (5 kg kg<sup>-1</sup>). El híbrido INOV y la variedad Parao (17 y 15 kg kg<sup>-1</sup>) fueron intermedios entre L5903 y el grupo de Tacuarí y Parao.

Las eficiencias agronómicas de cada tratamiento sobre el testigo mostraron diferencias, obteniéndose los mayores registros con el tratamiento FER-OB el que duplica al TE-COM. Los tratamientos TE-IN y FER-EL se comportaron en forma intermedia. La eficiencia alcanzada con este tratamiento es muy similar a la obtenida en condiciones comerciales. Si bien el tratamiento de FER-EL recibió el doble de P y el triple de K y N que el tratamiento TE-COM logró mantener su eficiencia cuando a priori sería esperable lo contrario. Por otro lado, los 2 tratamientos que definen la cantidad de nutrientes a agregar según criterios objetivos fueron los de mayor eficiencia (Figura 2)

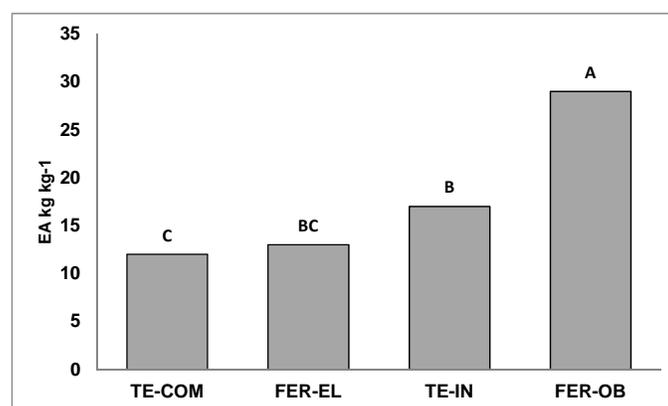


Figura 2. Eficiencia agronómica (kg kg<sup>-1</sup>) de los tratamientos de fertilización evaluados durante 3 años.

## Margen Bruto

En el cuadro 3 se observan los factores que explican las diferencias en M.B (U\$S/ha). Bajo el entendido de que el factor año es imposible de manejar y que las variedades definen en gran medida los ingresos (por lo tanto el margen), se analizan las variaciones en el MB asociadas a los distintos tratamientos. En tal sentido, para el promedio de los años y variedades, el margen obtenido por los tratamientos de fertilización fue de 713 U\$S ha, 613 U\$S ha, 467 U\$S ha, 424 U\$S ha y 369 U\$S ha para FERT-OB, TE-IN, FERT-EL, TE-COM y TE-AB respectivamente. El tratamiento FER-OB fue diferente estadísticamente de Los tratamientos FER-EL, TE-COM y TE-AB, siendo el tratamiento TE-IN intermedio entre estos 2 grupos de tratamientos.

## 4. CONCLUSIONES

La acumulación de MS estuvo asociada a los distintos tratamientos de fertilización utilizados.

Fertilizaciones elevadas sin seguir criterios objetivos para su definición tuvieron un impacto directo en generar alta acumulación de biomasa, si bien esto no significó alcanzar los mayores rendimientos.

El tratamiento FER-OB y en segunda instancia el tratamiento TE-IN fueron capaces de concretar los mayores rendimientos, los que se tradujeron en mayor margen bruto. Lo contrario ocurre con el tratamiento FER-EL, quien no fue capaz de absorber en términos de rendimiento los costos generados en materia de fertilización.

En términos de eficiencia, el tratamiento FER-OB fue el que logró la mayor producción de grano por kg de N agregado duplicando la eficiencia del tratamiento TE-COM. Por otro lado, los materiales modernos fueron ampliamente superiores en términos de eficiencia en comparación con los antiguos.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

**CASTILLO J.; TERRA J.A.; FERREIRA A.; MÉNDEZ R.** 2014. Fertilización N en base a indicadores objetivos. ¿Qué sabemos luego de 3 años de experimentación? Treinta y Tres, INIA, Cap.3, p. 4-6 (Serie Actividades de Difusión 735).

**DEAMBROSI, E.; MÉNDEZ R.; CASTILLO J.** 2014. El análisis de suelos, una herramienta útil para el ajuste de la fertilización con fósforo y potasio. En: Jornada arroz- soja Agosto 2014. [www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-treinta-y-tres/jornada-técnica-arroz-soja](http://www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-treinta-y-tres/jornada-técnica-arroz-soja)

**DOBERMANN A.; FAIRHURST T.** 2000. Rice: nutrient disorders & nutrient management. IRRI, Handbook series.

**ROBERTS T.; WILSON C.E; NORMAN R.; SLATON N.; ESPINOZA L.** 2011. N-ST\*R: Nitrogen-Soil test for rice. University of Arkansas, Cooperative Extension Service, Dept. of Agriculture and county governments cooperating, 2011. <http://www.uaex.edu/Other%5FAreas/publications/PDF/FSA-2167.pdf>

**HERNÁNDEZ, J. BERGER, A., DEAMBROSI, E., LAVECCHIA, A.** Soil Phosphorus test for flooded rice grown in contrasting soils and cropping history. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 44: 1193-1210. 2013.