

# FOSFORITA ANTICIPADA: EVOLUCIÓN DE P EN SUELO Y PRODUCTIVIDAD DEL RAIGRÁS Y EL ARROZ

Castillo J.<sup>1</sup>; Méndez R.<sup>1</sup>; Deambrosi E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Treinta y Tres). [jcastillo@inia.org.uy](mailto:jcastillo@inia.org.uy)

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Treinta y Tres), hasta diciembre de 2011.

**PALABRAS CLAVES:** fertilización P; laboreo de verano; verdeo invierno.

## INTRODUCCIÓN

La fertilización con fosforita es una práctica muy conocida y utilizada en la producción de pasturas en las sierras del este del país. En estos suelos, en su mayoría tendiendo a ácidos, la información muestra una mayor eficiencia y producción de forraje frente a los fertilizantes solubles (Ayala et al. 2008, Bermúdez et al. 2008). Para el caso de cultivos anuales existe poca información en la utilización de este tipo de fuentes de P y los resultados obtenidos en el pasado son poco alentadores (Labella y Améndola 1977). En Uruguay, las fertilizaciones fosfatadas en el cultivo de arroz se han realizado tradicionalmente al momento de la siembra y utilizando fertilizantes solubles con dosis entre los 55 y 70 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Castillo, 2013). Si bien estas dosis fueron generadas para las situaciones iniciales de producción de arroz en Uruguay existen otras donde no se encuentra respuesta (Deambrosi y Méndez 2000; 2001) probablemente debido a niveles de P en suelo cercanos a los de suficiencia producto de buenos niveles naturales y de un balance positivo de P en sucesivos años de rotación. Una práctica que comienza a difundirse es la contratación de empresas que realizan la venta y aplicación de fosforita en un solo paquete sobre laboreos de verano o sobre retornos con buen piso. No obstante, se desconoce si la práctica es efectiva, no están claras las dosis a utilizar ni el tiempo necesario para que la fosforita reaccione y llegue con buenos niveles de P para el cultivo de arroz. Según la bibliografía (Chien et al. 2011) en situaciones de aplicaciones de fosforitas en sistemas de arroz habría que tener precaución en el hecho de que una vez inundado el cultivo el pH del mismo tiende a la neutralidad disminuyendo fuertemente la eficiencia agronómica de la fosforita. En las condiciones de Uruguay donde existen situaciones donde el suelo permanece anegado durante el invierno ésta podría ser una dificultad potencial para la eficiencia de este fertilizante. Por otro lado existe información (Chien et al. 2003) que sostiene que aplicaciones de fosforita en un período de 2 semanas anteriores a la inundación serían suficientes para la reacción y buena disponibilidad de P de la fosforita en suelo. El análisis de bases de datos de la industria arroceras (Roel et al. 2011) así como el de encuestas agrícolas nacionales (DIEA 2012) señalan a la fecha de siembra como uno de los factores claves para lograr altos rendimientos del cultivo de arroz. En tal sentido los productores apuntan a colocar la siembra en el mes de octubre contando para ello en promedio de 20-25 días efectivos. En tal sentido los productores han comenzado a realizar la actividad de siembra en forma específica, desfasando la fertilización fosfatada antes de la siembra, lo que les permite ser más eficientes en el uso del tiempo y así dedicarse a la actividad de siembra. Posiblemente con el ajuste en la tecnología de fertilización anticipada con fosforita se pueda estar impactando en varios aspectos ganar eficiencia en la siembra de arroz con la consiguiente mejor fecha de siembra, bajando costos de producción, mejorando en algunas ocasiones la productividad del raigrás de invierno y sin tener efectos negativos sobre la producción de arroz. Los objetivos del trabajo son: contar con información respecto a la dinámica de las aplicaciones de P tanto solubles como de degradación lenta, su efecto en las pasturas de invierno (anteriores al cultivo de arroz) y sobre el rendimiento del cultivo de arroz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las zafas 2011/12 y 2012/13 se instalaron ensayos de campo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (UEPL) de INIA sobre Solods pertenecientes a la Unidad "La Charqueada". Los mismos fueron conducidos sobre laboreos de verano sobre los cuales se estaba instalando una pastura de raigrás. Se tomaron muestras de suelo (0-0,15 m), y se analizó el pH y contenido de P en suelo según Bray N°1 y Ácido Cítrico.

Cuadro1. Resultados de análisis químicos iniciales de los diferentes suelos/años

2011/12			
Bloque	pH (H <sub>2</sub> O)	P (Bray I) $\mu\text{g/g}$	P (Cítrico) $\mu\text{g/g}$
1	5,9	3,0	5,9
2	5,8	3,6	7,6
3	6,1	3,3	7,2
2012/13			
1	5,5	8,1	9,8
2	5,4	7	8,8
3	5,5	7,5	8,5

Los ensayos constaron de dos etapas: 1) desde la instalación hasta la siembra del arroz y 2) desde la siembra del cultivo a la cosecha del mismo.

## TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### ETAPA 1: Evolución P en suelo y producción de raigrás

Ciento cincuenta días antes de la siembra (DAS) se aplicaron dos dosis de fosforita 86 kg ha<sup>-1</sup> y 43 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (150Fos86 y 150Fos43 respectivamente) y 43 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> agregados como supertriple (150STP43), sobre suelo desnudo (SD) y sobre raigrás (RG) emergiendo. A los 90 DAS fueron aplicados nuevamente los 2 tratamientos con fosforita (90Fos86 y 90Fos43). En ambas fechas de aplicación de los tratamientos se contó con un testigo absoluto (TA) que muestra la dinámica natural de P en estos suelos. Para seguir la evolución de P fueron tomadas muestras (0-0,15 m) desde la aplicación de los tratamientos hasta los 30 DAS, con intervalos de 30 días. Las muestras fueron secadas a 40°C, desagregadas y analizadas para P según Bray I y Acido Cítrico. Sobre los mismos tratamientos instalados en el antecesor de RG se midió la acumulación de materia seca (MS) al final del período previo al inicio del barbecho para el arroz. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas, donde la parcela principal evalúa dos niveles de antecesores de arroz (RG y SD) y parcela menor los tratamientos de fertilización fosfatada. La evolución de P en suelo fue evaluada utilizando modelos mixtos del paquete estadístico InfoStat. En el modelo el antecesor y los tratamientos de P así como sus interacciones fueron considerados efectos fijos mientras que los bloques anidados en suelo/año fueron considerados como efectos aleatorios. Para determinar la significancia estadística se utilizó el test de LSD con P=0,05.

## **ETAPA 2: Efecto fertilización anticipada en el cultivo de arroz**

En ambos años el arroz fue sembrado en la segunda década del mes de octubre utilizándose la variedad EP 144. El manejo general del experimento fue según el la información generada por INIA para esta variedad. A cosecha se estimó rendimiento en grano de arroz previo desborde de 1 m de cabecera y de líneas del cultivo. Se cosechó un área efectiva de 8,2 m<sup>2</sup>, corrigiendo el rendimiento a 13 % humedad. Para explorar respuesta a la fertilización P en la siembra del cultivo se fertilizó con 46 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> de una fuente soluble (STP) en la línea junto con la semilla en la mitad de las parcelas mayores conformándose 2 nuevos tratamientos: 0 kg P ha<sup>-1</sup> y 46 kg P ha<sup>-1</sup> basales (0STPbas y 46STPbas respectivamente). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con parcelas sub-divididas. La parcela principal evalúa dos niveles de antecesores (RG o SD), la parcela mayor evalúa dos niveles: con y sin agregado de P soluble basal y la parcela menor los tratamientos de fertilización fosfatada aplicados en la etapa previa al cultivo de arroz. Las respuestas agronómicas fueron evaluadas utilizando modelos mixtos del paquete estadístico InfoStat. En el modelo el antecesor, la dosis de fertilización basal, los tratamientos de P y sus interacciones fueron considerados efectos fijos mientras que los bloques anidados en suelo/año fueron considerados como efectos aleatorios. Para determinar la significancia estadística se utilizó el test de LSD con P=0,05.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Evolución del fósforo en el suelo**

El análisis de suelo (Cuadro 1) mostró diferencias en el contenido de P inicial de los diferentes suelos y métodos de extracción y diferencias mínimas en el valor de pH entre suelos. En promedio, a la instalación de los tratamientos el P extraído con la metodología de ácido cítrico fue 109% y 20% superior que Bray N°1 en el suelo de la zafra 2011/12 y 2012/13 respectivamente. Lo mismo ocurrió a lo largo del período de evaluación mostrando la mayor sensibilidad de esta metodología en estos sistemas productivos (Hernández, 2008; Deambrosi et al. 2011). La evolución de los tratamientos en la fecha de aplicación 150 DAS (Figura 1 A) fue igual entre suelos desde los 120 hasta los 30 DAS según la metodología de ácido cítrico. En tal sentido, en esas fechas de muestreo, el tratamiento 150Fos86 fue diferente del TA. Los tratamientos 150Fos43 y 150STP43 fueron igual al 150Fos86 en las fecha 120 DAS e intermedios entre éste y el TA desde esa fecha al final de la evaluación. A los 30 DAS las concentraciones de P del suelo fueron un 98% superior al inicio en el tratamiento 150Fos86 y 39% superior para 150Fos43 y 150STP43, pudiéndose ajustar modelos lineales ( $R^2 = 0,99$ ; 0,71 y 0,81 respectivamente). El TA ajustó un modelo cuadrático ( $R^2 = 0,94$ ) siendo su incremento del 18% respecto al inicio. Luego de 30 días de aplicación (Figura 2 C) los tratamientos 90Fos86 y 90Fos43 fueron 124 % y 84 % superiores al inicio no variando entre esta fecha y el final (30 DAS). Algunos autores (Joos y Black 1950) sostienen que no sólo los suelos ácidos son condición única para la alteración de las fosforitas sino que incubaciones en húmedo podrían realizar este proceso. En las condiciones en las que se condujeron los ensayos donde las lluvias invernales y la presencia de un horizonte Bt en el suelo favorecen la permanencia de agua en superficie, podrían haber contribuido en este proceso. En el caso del TA, durante los primeros 30 días los valores de P en el suelo se mantuvieron constantes presentando un incremento de 43 % desde los 60 a los 30 DAS. En las 3 fechas de muestreo el análisis mostró diferencias ( $p > 0,05$ ) entre 90Fos86 y el TA. A los 60 DAS el tratamiento 90Fos43 fue diferente a 90Fos86 y TA, siendo igual a este último 30 DAS.

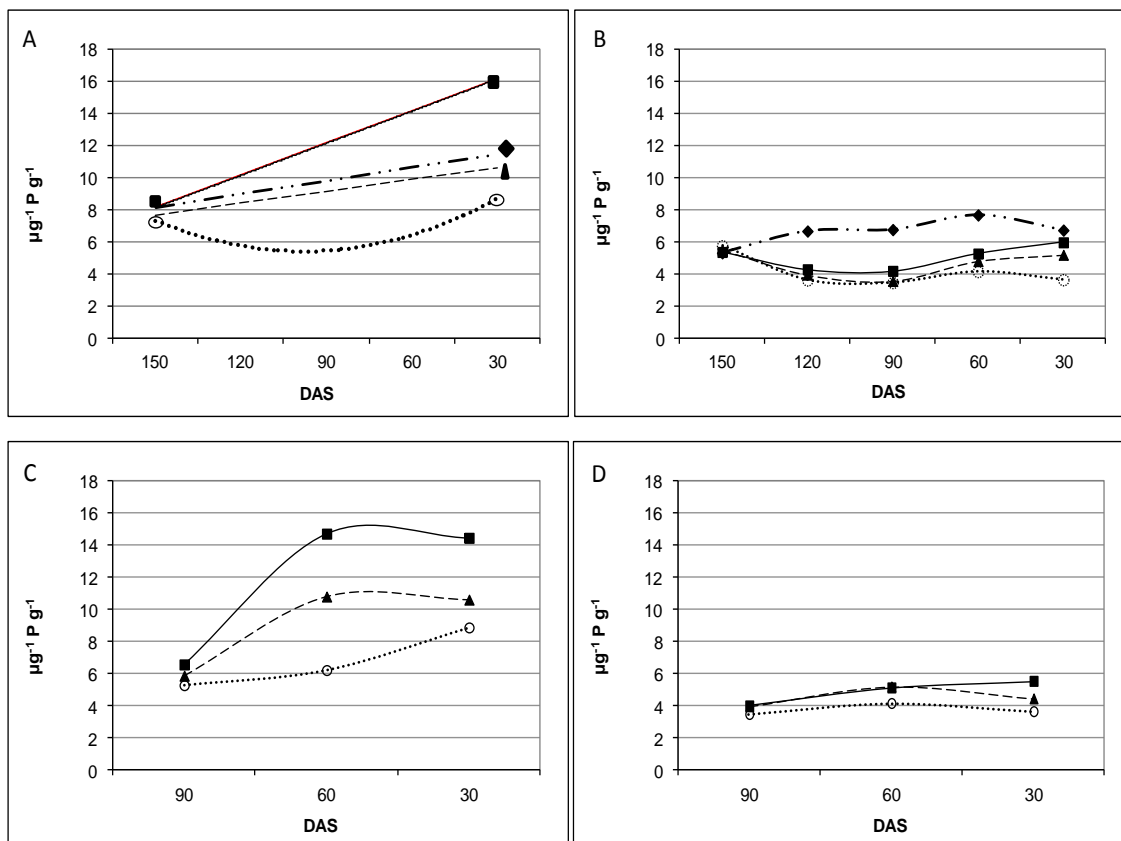


Figura 1. Evolución del fósforo en suelo de los tratamientos ■ Fosforita 300 kg ha<sup>-1</sup>, ▲ Fosforita 150 kg ha<sup>-1</sup>, ◆ Supertriple 96 kg ha<sup>-1</sup>, y ○ testigo absoluto según la extracción por ácido cítrico ( A y C) y Bray N°1 ( B y D), en la fecha de agregado 150 D.A.S.

Cuando la metodología empleada fue Bray N°1 (Figuras 2 B, 2 D) el análisis de varianza muestra para la fecha de aplicación 150 DAS diferencias en el P del suelo del tratamiento 150STP43 frente a los demás hasta los 90 DAS y frente al TA en las 2 últimas fechas de evaluación. Los tratamientos 90Fos86 y 90Fos43 no mostraron diferencias en el valor de P en suelo a los 60 DAS siendo diferentes en la última fecha. Por otro lado el valor de P en suelo fue diferente a los 60 DAS en comparación con los tratamientos de P no presentando diferencias con 90Fos43 a los 30 DAS. Independientemente de las diferencias detectadas en el análisis estadístico en ambas fechas de aplicación, las diferencias en los valores de P en suelo encontrados entre tratamientos y entre el inicio y el final de la evaluación fueron muy bajos en términos absolutos. Este aspecto coincide con lo observado en situaciones productivas y experimentales donde el análisis según Bray N°1 tiende en ocasiones a no representar la disponibilidad de P para los cultivos. En dichas situaciones el valor obtenido con el análisis lleva a aplicaciones de P las que no presentan respuesta vegetal.

Para ninguna de las fechas de aplicación de los tratamientos ni para los distintos métodos de extracción de P existió interacción entre la evolución de P en el suelo según el tratamiento y la cobertura (RG vs SD).

## Producción de Raigrás

El análisis de la información mostró interacción entre la acumulación de MS de RG (kg ha<sup>-1</sup>) debido a los tratamientos y al suelo por lo tanto la información es presentada por separado (Cuadro 2). Si bien en términos de producción total acumulada los valores parecen bajos, son los esperables para suelos arroceros, de mal drenaje, fríos y de fertilidad general media baja. Por otro lado el inicio del barbecho a inicios de setiembre no permite capitalizar el rápido crecimiento que tiene esta especie una vez entrada la primavera.

Cuadro 2. Producción de Raigrás (kg M.S ha<sup>-1</sup>) de los dos suelos/años según los tratamientos de P.

Tratamiento	Suelo/ 2011-12	Suelo/ 2012-13
150Fos86	2703 a	2431 a
150Fos43	3312 a	2818 a
150STP43	3134 a	2473 a
TA	2498 b	2584 a
Promedio	2911 A	2576 B
p- valor	0,041	ns

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con  $p \leq 0,05$   
Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con  $p \leq 0,05$

La producción media de RG fue superior en el suelo del primer año en comparación con el segundo. También se encontró respuesta a la fertilización en este suelo posiblemente debido a los menores niveles iniciales de P en comparación al suelo del segundo año (16% menor) alejándose más del valor de suficiencia, 12  $\mu\text{g}^{-1}$  P  $\text{g}^{-1}$  (Carámbula, 2006)

## Producción de Arroz

Al estadio de R0 (Counce et al. 2000) se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.0001$  y  $p \leq 0,0019$ ) en la acumulación de MS de arroz, según el antecesor (SD vs. RG) y la fertilización basal (0STPbas y 46STPbas) respectivamente. En el antecesor inmediato SD el cultivo de arroz acumuló 21 % más de M.S frente al antecesor RG. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Terra et al. 2010, los que encontraron mayor acumulación de biomasa y rendimiento en los tratamientos mantenidos sin vegetación. Por otro lado, el agregado de 46 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> basales provocaron una acumulación de M.S (kg ha<sup>-1</sup>) 11% superior frente a los tratamientos sin agregado de P.

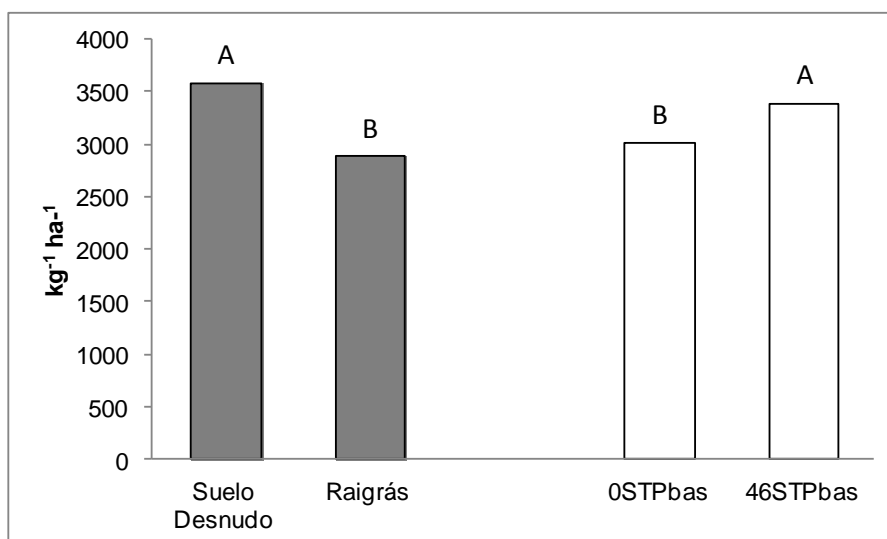


Figura 2. Acumulación de biomasa (kg ha<sup>-1</sup>) de arroz al estadio de R0 según tipo de antecesor inmediato y fertilización P basal.

Los efectos diferenciales en acumulación de M.S de arroz a R0 debido al antecesor y a la fertilización basal con P no se tradujeron en diferencias en rendimiento en grano de arroz asociada a estos factores ni a los tratamientos de P. Ninguno de los tratamientos evaluados fue diferente al resto incluido el TA. Las concentraciones de P presentes 30 DAS según la metodología de ácido cítrico de todos los tratamientos y el TA para los 2 momentos de aplicación son superiores a los niveles críticos reportados para arroz (Hernández et al. 2013) existiendo una muy baja probabilidad de encontrar respuesta en rendimiento en grano por agregado de fertilizante P.

## CONCLUSIONES

En forma coincidente con información previa la metodología de ácido cítrico en comparación con la de Bray N°1 presentó mayor sensibilidad en detectar la disponibilidad de P para la pastura de Raigrás y para el cultivo de arroz. Este aspecto es importante de remarcar debido a que todavía existen casos en sistemas productivos reales donde los análisis de suelo por la metodología de Bray N°1 detectan sistemáticamente muy poco P lo que lleva a fertilizaciones elevadas con este nutriente.

El primer año la concentración de P en suelo detectado por la metodología ácido cítrico mostró valores dentro de los niveles de respuesta, confirmándose luego con mayor producción de raigrás en los tratamientos de P.

Las rectas ajustadas para los tratamientos de P en la fecha de aplicación 150 DAS indicarían que se podría llegar con niveles entorno a los de suficiencia para el cultivo de arroz partiendo de suelos con niveles de P menores que en estas situaciones, a juzgar por la variación de estos tratamientos desde su nivel inicial al encontrado al final.

Existieron situaciones donde la fertilización anticipada con fosforita permitió aumentar la productividad del raigrás sin tener efectos negativos sobre la producción de arroz.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, W., Bermúdez, R. 2008. Fertilización fosfatada sobre mejoramientos de campo con lotus cv. El Rincón y lotus cv. Maku en suelos superficiales. En: Fertilización fosfatada de pasturas en la región este. INIA Serie Técnica 172. INIA Treinta y Tres
- Bermúdez, R., Ayala, W, Morón, A., Mas, C. 2008. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus común sobre suelos superficiales. En: Fertilización fosfatada de pasturas en la región este. INIA Serie Técnica 172. INIA Treinta y Tres
- Carambula, M. 2006. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Tomo II. Editorial Hemisferio Sur. Uruguay.
- Castillo, J. 2013. Ajustes a la fertilización N-P-K en el cultivo de arroz. En: Jornada arroz- soja Agosto 2013. [www.inia.uy/estaciones-experimentales-direcciones-regionales-actividad-2013-97](http://www.inia.uy/estaciones-experimentales-direcciones-regionales-actividad-2013-97)
- Chien, S.H., Prochnow, L., Mikkelsen, R. 2011. Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. En: Informes agronómicos N°1. Marzo 2004. p. 6-13.
- Chien, S.H., G. Carmona, J. Henao, L.I. Prochnow, L. 2003. Evaluation of Rape Response to Different Sources of Phosphate Rock in an Alkaline Soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34:1825-1835.
- Counce, P.A., Keisling, T.C., Mitchel, A.J. 2000. A uniform, objective and adaptative system for expressing rice development. Crop Science. 40:436-443
- Deambrosi, E., Méndez, R., Ávila S. 2001. Fertilización: respuesta a las aplicaciones de fósforo y potasio. En: Fertilización, Actividades de difusión 257, INIA Treinta y Tres. Cap5:1-10
- Deambrosi, E., Méndez, R., Castillo, J., 2011. Contribución a la toma de decisiones en aplicaciones de fósforo para el cultivo de arroz. En: Actividades de difusión 651. INIA Treinta y Tres C3: 1-5
- DIEA 2012. Encuesta de arroz Zafra 2011/12. Serie encuestas N° 307. [www.Mgap.gub.uy](http://www.Mgap.gub.uy)
- Hernández, J. 2008. Métodos para estimar la disponibilidad de fósforo en los suelos. En: Serie Técnica N°172, INIA Treinta y Tres. Abril 2008. Cap.1:7-15.
- Hernández, J. Berger, A., Deambrosi, E., Lavecchia, A. 2013. Soil Phosphorus test for flooded rice grown in contrasting soils and cropping history. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 44: 1193-1210.
- Joos, L.L., Black, C.A., 1950. Availability of phosphate rock as affected by particle size and contact with bentonite and soil of different pH values. Soil Science of America Proceedings. 15 (1): 69-75.
- Labella, S.J., Amendola, L.A. 1977. Eficiencia relativa de algunas fuentes de fósforo para la fertilización directa de cultivos de verano. En: Boletín Técnico N°24. MGAP. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger (CIAAB), Estación Experimental del Norte, Tacuarembó. Marzo 1977. p. 1-16.
- Roel, A., Cedrez, S., Molina, F., Castillo, J. 2011. Seminario Taller: Brecha de rendimiento en arroz. En: [www.inia.uy/actividades/actividades-realizadas/últimas-actividades/](http://www.inia.uy/actividades/actividades-realizadas/últimas-actividades/)INIA Treinta y Tres 20/07/2011

Terra, J.A., Sánchez A., Méndez, R., Deambrosi, E. 2010. Efecto de cultivos de cobertura invernal sobre la respuesta a Nitrógeno en el cultivo de arroz en siembra directa. En: Actividades de discusión 611. Cap 3 9-20.