

Capelle, Juan Martín

Fertilización fosfatada de trigo

Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria Facultad de Ciencias Agrarias

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central “San Benito Abad”. Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Capelle, J. M. 2011. Fertilización fosfatada de trigo [en línea]. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fertilizacion-fosfatada-trigo-juan-capelle.pdf> [Fecha de Consulta:.....]

(Se recomienda indicar fecha de consulta al final de la cita. Ej: [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2010]).

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA
ARGENTINA**

Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Producción Agropecuaria

Fertilización fosfatada de trigo

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria**

Autor: Juan Martín Capelle

Profesor Tutor: Fernando Miguez

Fecha: Marzo de 2011

INDICE

INDICE.....	2
RESUMEN	3
INTRODUCCION GENERAL AL TEMA	4
CICLO DEL FÓSFORO	8
COMPONENTES DEL FÓSFORO EN EL SUELO	9
EXTRACCION DE NUTRIENTES DE DIFERENTES CULTIVOS	10
MUESTREO DE FÓSFORO	11
DETERMINACION DEL FÓSFORO DISPONIBLE	13
FITOTOXICIDAD	15
DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN EL MUNDO	19
MANEJO DEL FÓSFORO	22
RELACIONES DE PRECIOS.....	24
USO DEL P EN ARGENTINA.....	25
ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN TRIGO	26
OBJETIVOS DEL TRABAJO	31
METODOLOGIA EMPLEADA	31
RESULTADOS	31
DISCUSION	38
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40

RESUMEN

En los últimos años el rendimiento promedio del cultivo de trigo fue aumentando considerablemente, debido a varios ajustes tecnológicos del cultivo, como variedades, fecha de siembra, utilización eficiente de fungicidas, pero principalmente por un mayor ajuste en los niveles de fertilización. Los suelos de la zona oeste de la provincia de Buenos Aires, donde predominan los Hapludoles, presentan una pobre dotación de fósforo, sumada al continuo incremento en la extracción por el aumento de los rendimientos, genera aún más una disminución en la disponibilidad de fósforo para el crecimiento del cultivo.

A esta baja de los niveles de fósforo al suelo, se le suma la importancia que tienen los fertilizantes dentro del esquema de costos del cultivo de trigo, es por eso que a partir de los datos que tenemos surge la necesidad de obtener mayores ajustes a la hora de definir la fertilización.

El objetivo de este trabajo fue predecir la respuesta de rendimiento en trigo a partir de la fertilización fosfatada y el nivel de materia orgánica del suelo.

Este trabajo aborda diversos contenidos relacionados al fósforo, para obtener una mayor interpretación de la cuestión.

Se realizaron 8 experimentos a campo en diferentes localidades del oeste bonaerense.

Los tratamientos realizados fueron con dosis de entre 0 y 300 kg de fosfato diamónico (FDA) o superfosfato triple (SPT).

En el análisis estadístico de los resultados se usó el análisis de regresión lineal múltiple y análisis de varianza, determinando que el P y la MO explicaron cerca del 40 % de la variabilidad en el rinde.

El modelo de respuesta encontrado fue: $\text{rendimiento Relativo} = 0,59 + 0,13 \cdot \text{MO} + 0,01 \cdot \text{P ppm}$, siendo el umbral crítico de disponibilidad de fosforo 17 ppm para alcanzar el máximo rendimiento.

Los valores respuesta, en suelos de 18 ppm fueron de 15 kg de trigo cada 1 kg de fósforo entregado, mientras en suelos de 4 ppm la respuesta fue de 60 kg de trigo por cada kg de fósforo aplicado.

INTRODUCCION GENERAL AL TEMA

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y uno de los tres macro nutrientes principales, junto al N y el K. El uso de fertilizantes fosfatados ha demostrado efectos positivos en el rendimiento de los principales cultivos agrícolas (García et al., 1997; Berardo et al., 1999; Barbagelata et al., 2000).

Se encuentra, en parte, en estado mineral, pero principalmente formando complejos orgánicos fosforados con lípidos, prótidos y glúcidos, como la lecitina, las nucleoproteínas (componentes del núcleo celular) y la fitina (órganos de reproducción).

El fósforo interviene activamente en la mayor parte de las reacciones bioquímicas complejas de la planta que son la base de la vida: respiración, síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas, etc. El papel fundamental del fósforo en las transferencias de energía ha sido bien comprobado. Los iones fosfóricos son capaces de recibir energía luminosa captada por la clorofila y transportarla a través de la planta. También tiene una gran importancia en el metabolismo de diversas sustancias bioquímicas (Stauffer, 2003).

El ácido fosfórico es uno de los elementos fertilizantes más importantes para el agricultor. Como el nitrógeno, el ácido fosfórico es un factor de crecimiento muy importante, debiendo señalarse la fuerte interacción que existe entre este elemento y el nitrógeno, sobre todo durante la primera fase del crecimiento. El desarrollo radicular, en particular, se ve favorecido por una buena disponibilidad de fósforo al principio del ciclo vegetativo. Interesa localizar una pequeña cantidad de P_2O_5 con la semilla, especialmente en suelos pobres, aumentando la resistencia de la planta al frío y a las enfermedades, incrementando la tasa de macollaje y el crecimiento. En términos generales, puede decirse que es un elemento regulador de la vegetación y, por tanto, un factor de calidad. Favorece precisamente los periodos de vegetación que son críticos para el rendimiento del cultivo: fecundación, maduración y movimiento de las reservas.

El fósforo del suelo se encuentra integrado básicamente en dos fracciones: el fósforo inorgánico que es el de mayor proporción y en la forma que mayormente es tomado por las plantas, y el orgánico ligado a la materia orgánica. Dentro de la fracción inorgánica, constituye orto fosfatos que pueden ser insolubles, poco solubles, o solubles. Pueden fijarse y precipitar (pasaje del estado soluble o poco soluble a insoluble), estando involucrados mecanismos de: adsorción física (se pegan por sus cargas a cationes), adsorción química (por reacción en pH alcalino dando óxidos e hidróxidos), sustitución de aniones por fosfatos cuando por ejemplo los cloruros de un mineral son reemplazados por fosforo, o precipitaciones por cristales de fosfato de calcio o sobre otro mineral. (Maddonni y otros, 2003).

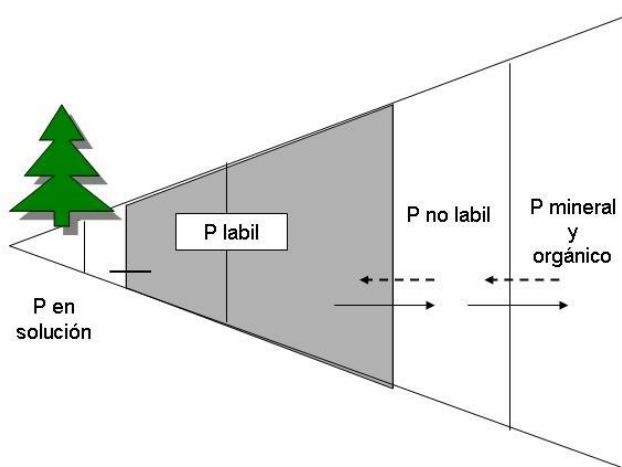


Figura 1. Esquema de las fracciones más importantes del fósforo en el suelo para la nutrición de la planta.

El fósforo disponible para el cultivo no dependería solamente de la oferta de este nutriente por el suelo, sino también de lo demandado por el cultivo. Al absorber la planta el P de la solución del suelo, impacta sobre la dinámica, determinando un incremento de la tasa de solubilización del fósforo. La tasa de absorción está a su vez limitada por la dinámica de este intercambio de las fracciones. La aplicación de un fertilizante fosforado inorgánico no determina necesariamente un incremento de la fracción del fósforo soluble, ya que el fósforo puede seguir las vías anteriormente descritas (adsorción, precipitación o transformación a las formas orgánicas).

En general los cultivos no captan más de un 15 a 35% del fosforo aplicado, siendo el resto no disponible fijado. (Tabla 1). La mayor disponibilidad para las plantas se logra en un rango entre 6 y 7 de pH, por debajo de 6 aumenta la formación de productos con hierro y aluminio, y por encima de 8 con calcio. Fig. 2.

Tabla 1:

Destino	Rango	Referencias
Planta	15 al 35%	Mattingly, 1975; Johnston y Syers, 2001; Ciampitti, 2009, Rubio et al. 1998
Fracciones lábiles de P#	15 al 44%	Beck y Sánchez, 1994; Johnston y Syers, 2001; Dobermann et al., 2002; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; Boschetti et al., 2004; Verma et al., 2005; Picone et al., 2008; Wang et al., 2007; Ciampitti, 2009;
Fracciones moderadamente lábiles†	26 al 59%	Johnston y Syers, 2001; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; Boschetti et al., 2004; Verma et al., 2005; Picone et al., 2008; Wang et al., 2007; Ciampitti, 2009
Fracción recalcitrante o más estable£	17 al 36%	Johnston y Syers, 2001; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; Vázquez et al., 2008; Ciampitti, 2009

Fte: Ciampitti et al., 2009. Ipní.

Fracciones P resina o MIA, Pi- y Po-NaHCO₃

† Fracciones Pi- y Po- NaOH, y P-HCl

£ Fracción de P extraído con H₂SO₄ o digestión con H₂SO₄/H₂O₂

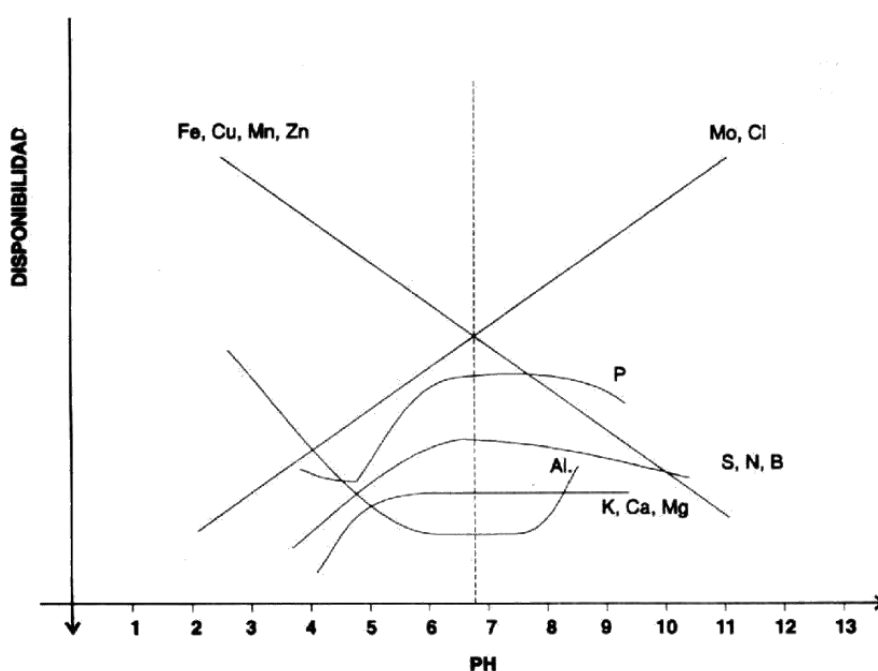


Figura 2. Fte.: Andriulo, 1996.

Destino del P no absorbido por la planta

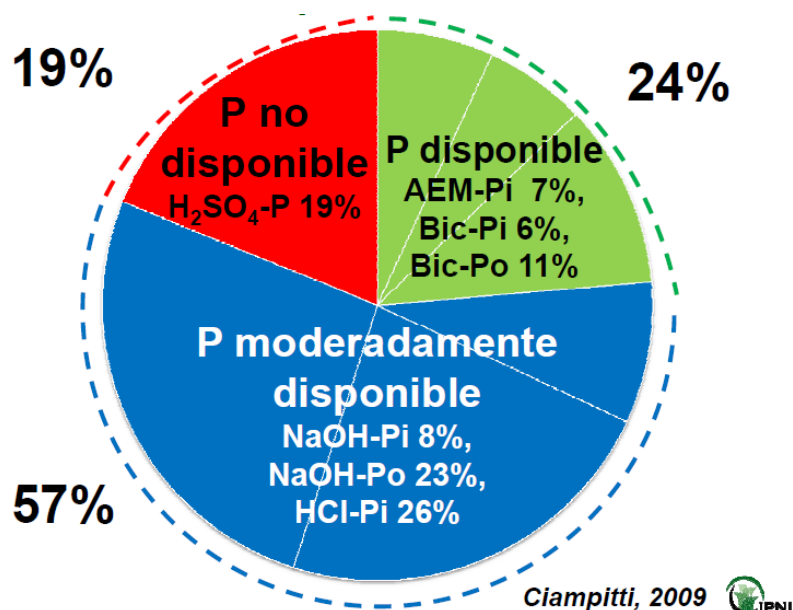


Figura 3.

El fósforo es un elemento que tiene entradas y salidas muy bajas en ecosistemas naturales, a diferencia de otros elementos como el nitrógeno.

Las vías de entrada por deposición atmosférica y precipitaciones, y de salida por lixiviación son de una magnitud sin interés agronómico (< 1 Kg. P/ha/año) y tienden a compensarse, por lo que el nivel de fósforo de un suelo depende principalmente del contenido del material original (Lavado, 1983; Vázquez, 2002). En cambio en agro sistemas existen entradas y salidas importantes por fertilización y extracción por cosecha.

La figura 4 muestra las relaciones entre las distintas formas de P en el suelo. La fracción soluble abastece a las plantas a partir del equilibrio con las formas lábiles de P inorgánico y orgánico. Las fracciones minerales contribuyen en una menor proporción al abastecimiento del P soluble. La proporción del P total del suelo varía de acuerdo a las condiciones de suelo y clima (Ciampitti, 2009).

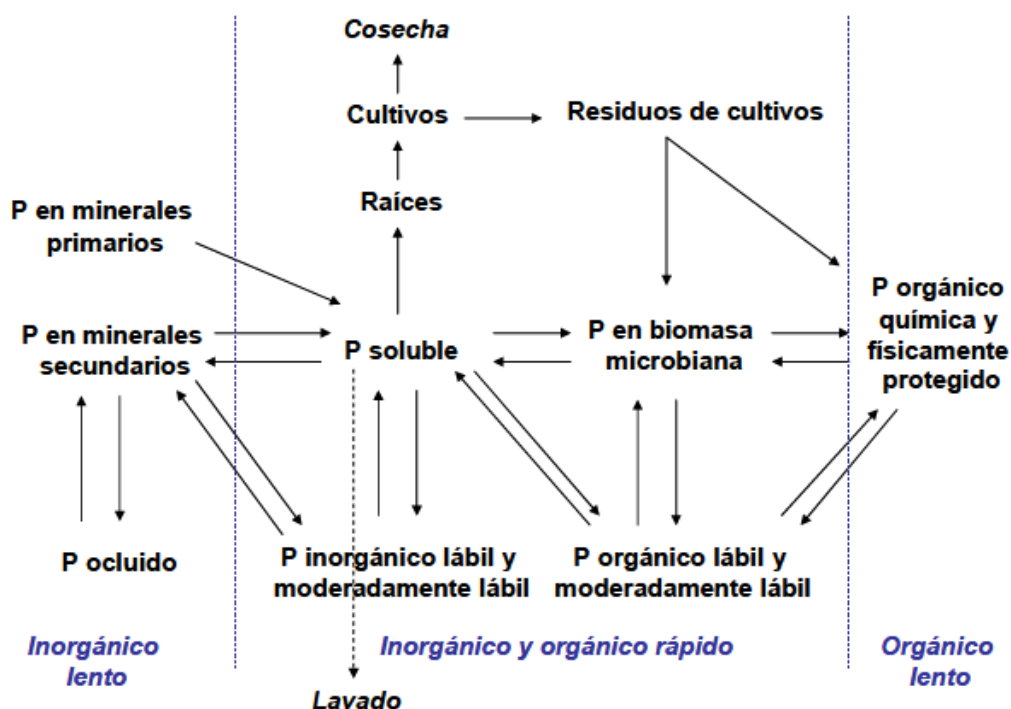


Figura 4. Ciclo del fósforo en el sistema suelo-planta. Adaptado de Stewart y Sharpley (1987).

CICLO DEL FÓSFORO

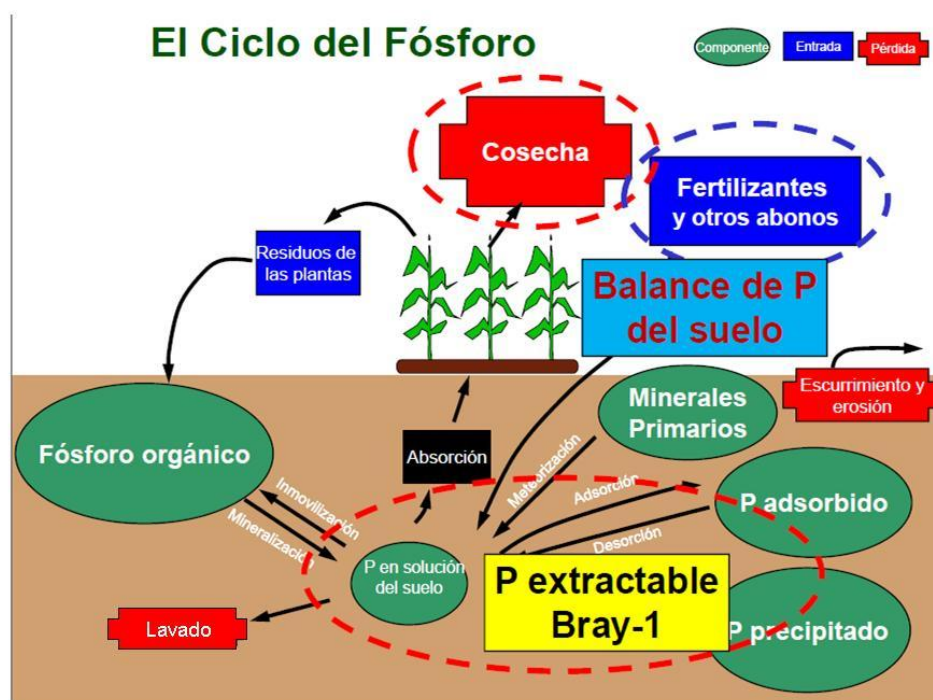


Figura 5. Ciclo del fósforo en un suelo cultivado. Fte.: Ciampitti, 2009

La muerte de los tejidos de las plantas genera residuos que son descompuestos, aportando la mayor parte de su fósforo a la materia orgánica y el restante a la fracción mineral. El fósforo mineral en solución está en equilibrio con el fósforo en la materia orgánica a través de procesos de mineralización e inmovilización y con el fósforo en la fracción inorgánica de la fase sólida del suelo por los procesos de fijación y liberación. La oclusión, precipitación y adsorción determinan que el fósforo sea fijado en la fase mineral y la meteorización, solubilización y desorción, que sea liberado a la solución.

A principios del siglo XX, cuando aún no se había producido la expansión agrícola en la Región Pampeana, en los suelos pampeanos el contenido de fósforo total decrecía del sudoeste al noreste (Morras, 1996). Esto ha sido atribuido a diferencias en los contenidos de fósforo de los materiales originales de los suelos y al efecto de las precipitaciones, considerando que en zonas con mayores precipitaciones la meteorización y pérdida de fósforo de los suelos a lo largo de la pedogénesis es más intensa (Morras, 1996).

El fósforo es retenido por el suelo y el nitrógeno no.

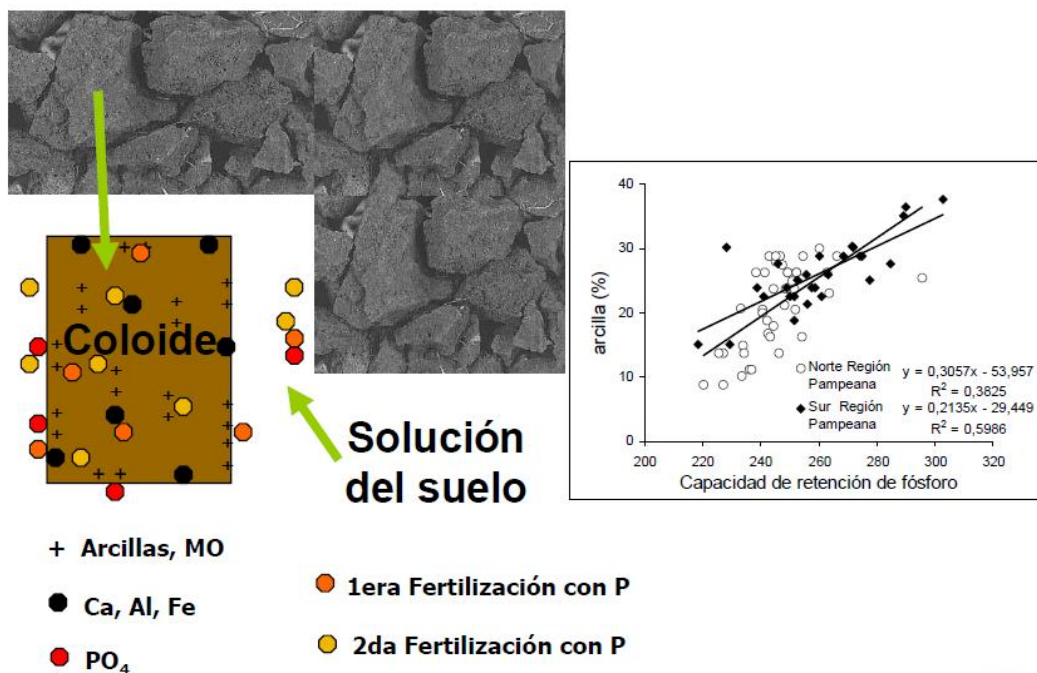


Figura 6. Retención del fósforo por el suelo. Fte: Ipni. Rubio et. al (2008)

COMPONENTES DEL FÓSFORO EN EL SUELO

En los perfiles de los suelos pampeanos el fósforo orgánico está concentrado en los estratos superiores, mientras que el inorgánico no tiene una tendencia clara con la profundidad.

Efecto del manejo sobre los componentes del fósforo del suelo:

En la Región Pampeana el cultivo sin uso de fertilizantes determinó, durante el periodo 1880-1980, un balance negativo de fósforo en los suelos (Viglizzo et al.

2001). La pérdida de fósforo aumentó de 2-4 Kg. P/ha/año en 1880 hasta 5-14 Kg. P/ha/año en 1980, según la zona considerada, no existiendo prácticamente reposición del nutriente. Esto ha llevado a que en algunos suelos cultivados la disminución del nivel de fósforo extractable sea del 90 % (Lavado, 1992; Urricariet et al., 2004).

El contenido de fósforo extractable en superficie (0-12 cm) decrecía en 1980 de oeste a este (Darwich, 1980) siguiendo la tendencia observada en el fósforo total. Los niveles de fósforo extractable eran deficitarios en grandes áreas del este pampeano. A pesar de que en la década del '80 se introdujo la práctica de la fertilización, en 1999 las deficiencias se habían acentuado y las áreas deficientes corridas al oeste (García, 2001). El balance de fósforo en la actualidad sigue siendo negativo para las principales rotaciones empleadas (García, 2001).

La extracción de fósforo por las cosechas determina la caída del fósforo total de los suelos. Principalmente se ven afectados los componentes extractable y orgánico, siendo menor la disminución del total del fósforo inorgánico.

Buschiazco et al. (2000); Galantini y Rosell (1997) y Urioste et al. (2002).

La explotación agropecuaria conduce a la disminución de los contenidos de fósforo de los suelos pero puede generar su aumento a través de la práctica de la fertilización. Cuando se aplican fertilizantes fosforados se incrementa en el corto plazo el componente mineral de fósforo pero no hay cambios en el componente orgánico total (Melgar y Casco, 1984; Zubillaga y Giuffrè, 2000) o de las fracciones orgánicas lábiles (Vivas et al., 2004).

Debido a que los componentes minerales del suelo fijan el fósforo, la retención del nutriente en la fase sólida del suelo (tanto en formas lábiles como no lábiles) está asociada principalmente a la cantidad de arcilla y no a la materia orgánica (Quintero et al., 1999). En consecuencia, los incrementos del fósforo extractable en pruebas de invernáculo de 30-45 días con suelos de la Región Pampeana Norte, a los que se han agregado fertilizantes fosforados, son menores en suelos más finos (Cabello et al., 2004; Gutierrez Boem et al., 2002).

EXTRACCION DE NUTRIENTES DE DIFERENTES CULTIVOS

Tabla 2 Extracción de nutrientes por diferentes cultivos

Nutriente	kg de nutriente / tonelada de cultivo*					
	Trigo	Maíz	Soja	Girasol	Sorgo	Cebada
Nitrógeno	18	13	49	22	17	13
Fósforo	3.3	2.6	5.3	5.8	3.0	3.0
Potasio	3.3	3.5	17	5.6	3.0	4.0
Calcio	0.4	0.2	2.7	1.3	1.0	-
Magnesio	2.3	1.3	3.2	2.7	1.0	1.0
Azufre	1.3	1.2	2.5	1.7	2.0	2.0

Fte: Ipn. Ciampitti y Garcia (2007)

*La extracción esta expresada en base a la Humedad Comercial (Hc) de cada cultivo

Tabla 3: Extracción de fósforo en base a rindes medios:

Cultivo	Trigo	Maiz	Soja	Girasol	Sorgo	Cebada
Rinde	4500	8000	2900	2700	4000	4500
Kg P/tt	3,3	2,6	5,3	5,8	3	3
Kg P	15	21	15	16	12	14
	Kg de Fertilizante					
MAP	65	90	67	68	52	59
DAP	74	104	77	78	60	68

Fte: elaboración propia

MUESTREO DE FÓSFORO

Las formas del fósforo que se acumulan en los primeros centímetros del suelo bajo siembra directa son las más lábiles, como ocurre con el carbono y el nitrógeno orgánico (Zamuner et al., 2004). A pesar de esta estratificación, se ha determinado en redes de experimentos a campo, que para el diagnostico de la fertilidad fosforada de los suelos y la estimación de la respuesta a la fertilización, se logran mejores ajustes con muestreos hasta 20 cm que con muestreos más superficiales (Calviño et al., 2000).

De las dos etapas del análisis de suelos, muestreo y extracción, la primera es la que tiene más error (Peck y Soltanpour, 1990).. Basado en que el fósforo no es móvil en el suelo y que en la región pampeana las dosis de fósforo como fertilizante utilizadas son relativamente bajas no se espera encontrar grandes variaciones en los niveles de fósforo extractable (Pe) en el curso de un año. Sin embargo, no es raro observar grandes cambios en el nivel de Pe entre dos muestras compuestas provenientes del mismo lote. En el año 2003, un trabajo realizado por Gutiérrez Boem y Marasas cuyo objetivo fue determinar la causa de

las variaciones en el nivel de fósforo extractable observado en muestras de lotes de producción de un establecimiento, concluyeron que la mediana es un valor más representativo del nivel de disponibilidad de fósforo del lote ya que, a diferencia de la media, es poco sensible a valores extremos. Figura 8

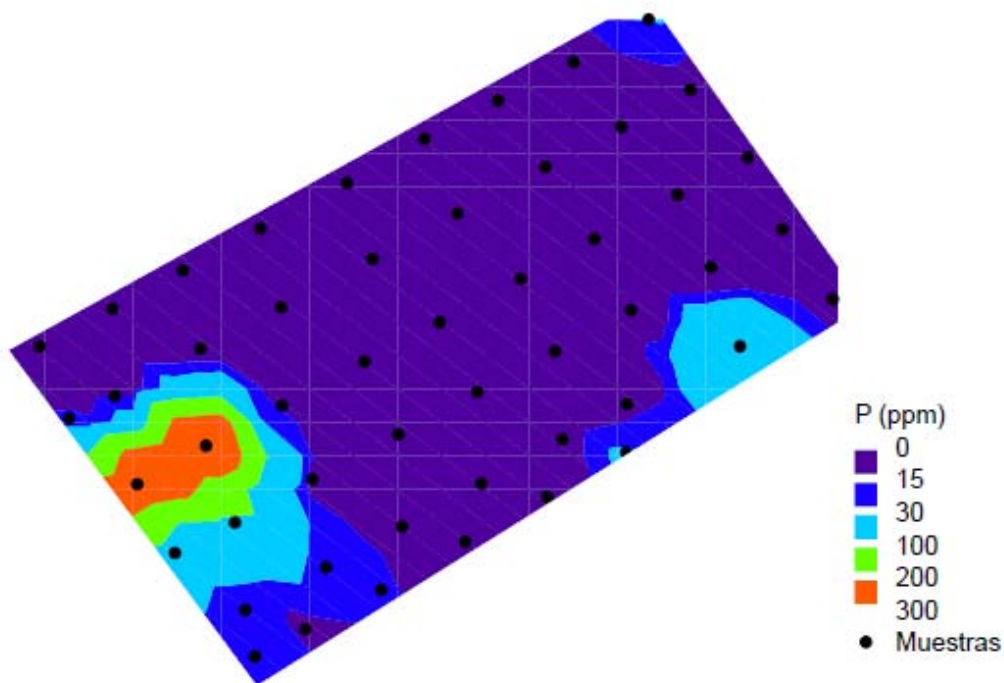


Figura 7. Distribución del Pe de 0-20 cm en un lote A

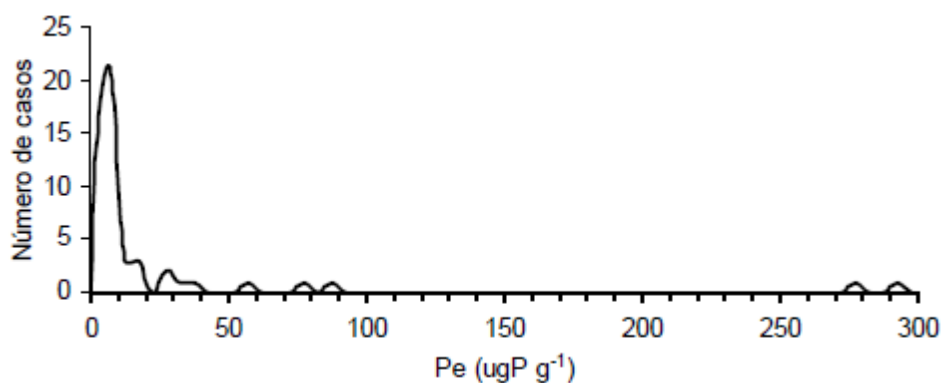


Figura 8. Distribución de frecuencia de los valores de Pe

Es evidente que en este lote no es homogéneo en lo que respecta a la disponibilidad de fósforo. Por lo tanto, una vez identificada la “zona roja”, debería ser excluida del muestreo. Estas zonas pueden haber estado ocupadas por casas, molinos, aguadas, corrales, etc., en muchos casos por la desaparición también de

los alambrados que servían como referencia es común tener esta disparidad de resultados.

La realización de un mapa de la distribución espacial del Pe a nivel de lote permite determinar si la presencia de “zonas rojas” es la causa de variaciones observadas entre muestreos o de la obtención de valores considerados anómalos para la zona o establecimiento.

Es muy difícil que cambie el valor de P Bray de un año a otro en un mismo lote (Berardo, 1994).

DETERMINACION DEL FÓSFORO DISPONIBLE

En 1945, Bray y Kurtz proponen un método rápido para estimar las formas del fósforo disponible para las plantas. El método conocido como Bray I se trata de una extracción con una solución mezcla de NH_4F 0,03N y HCl 0,025N, que se basa en el efecto solubilizador del H^+ sobre el P del suelo y la capacidad del ion F^- de bajar la actividad del Al^{+3} , evitando la reabsorción de los fosfatos en el sistema de extracción. Ellos plantearon trabajar con 1 gramo de suelo y 7 ml de solución extractiva, agitando vigorosamente por un minuto, para luego determinar el P en el extracto.

En nuestro país este método se aceptó ampliamente con algunas modificaciones propuestas por el INTA Balcarce. Las mismas consistieron en prolongar el tiempo de agitación a 5 minutos, hecho que facilita la operatoria, además de trabajar con 2,5 grs. de muestra y 20 ml de solución extractiva. Lo que da una relación de 1:8. A partir de un relevamiento se pudo observar que existen diferencias en la operatoria para la determinación de P disponible por el método de Bray y Kurtz I. De los 30 laboratorios que respondieron a una encuesta todos coincidieron que utilizan una solución extractiva de NH_4F 0,03N y HCl 0,025N. Se trabaja entre 1 y 5 grs. de muestra, con relaciones con la solución extractiva de 1 en 7, 8 y 10. No hubo diferencias significativas entre las relaciones 1:7 y 1:8. La diferencia fue significativa cuando la relación se incrementó de 1:7 a 1:10, extrayendo 10 a 20% más de P.

Con respecto al tiempo de agitación, se observaron diferencias significativas cuando el tiempo de agitación del suelo con la solución extractiva, varió de 1 a 5 minutos.

También se encontraron diferencias significativas en la forma de agitar los tubos. Se extrajo una cantidad menor cuando el proceso se realizó en posición vertical donde el contacto de la solución con el suelo es menor.

Es probable que las diferencias que se observan en los procedimientos operativos en la determinación de P disponible por el método de Bray y Kurtz I, entre los diferentes laboratorios, consideradas individualmente no sean de una magnitud importante. Sin embargo, la suma de efectos podría resultar en la obtención de valores no comparables. Es por ello que se sugiere la unificación de los procedimientos prácticos en esta determinación, para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

La estandarización del tiempo de agitado en 5 minutos, en una relación suelo:solución, 1:7 a 1:8, agitando en tubos acostados, permitiría obtener resultados comparables. (IPNI, 2003)

Otros estudios de campo y laboratorio (Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997) mostraron que este es un método confiable en suelos de reacción neutra o ácida pero subestima el P disponible para las plantas en algunos suelos con pH elevado y contenidos de CO_3Ca . La subestimación de P disponible por Bray I se atribuye a la neutralización de la solución extractiva ácida por el CO_3Ca y/o la precipitación de F por el Ca disuelto (Fixen y Grove, 1990). La adopción del método de extracción Mehlich-3 (Mehlich, 1984) por los laboratorios de suelos ha ganado popularidad en EEUU en detrimento de los métodos tradicionales, como Bray I, principalmente debido a que el primero permite una extracción simultánea y determinación de varios elementos en un mismo procedimiento.

Trabajos comparando Mehlich-3 (M3) y otros métodos (Beegle y Oravec, 1990; Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997; Ferrari et al., 2005) mostraron que el P medido con M3 fue similar al P medido con Bray I en suelos ácidos o neutros, sugiriendo interpretaciones similares para ambos métodos. Sin embargo M3 frecuentemente mide más P que Bray I en suelos con alto pH y contenido de CO_3Ca (Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997) lo cual ha sido atribuido a la mayor capacidad buffer de la solución extractiva M3 (Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992). En Argentina, Zamuner et al. (2006) y Rubio et al. (2006) mostraron una estrecha relación en el P extraído por M3 y Bray I.

Tabla 4: Resumen de métodos de análisis de fósforo (son extractantes que simulan la extracción de la planta)

Análisis	Composición del extractante	Comentarios	Fuente
Bray 1	0.03 M NH_4F + 0.025 M HCl	Extractante para P en suelos ácidos	Bray y Kurtz, 1945
Olsen	0.5 M NaHCO_3 – pH 8.5	Extractante para suelos alcalinos, también en suelos neutros a ácidos.	Olsen et al., 1954
Mehlich 1	0.05 M HCl + 0.0125 M H_2SO_4	Extractante multinutriente para suelos ácidos	Mehlich, 1953
Mehlich 3	0.2 M CH_3COOH + 0.25 M NH_4NO_3 + 0.015 M NH_4F + 0.013 M HNO_3 + 0.001 M EDTA – pH 2.5	Extractante multinutriente para un rango amplio de suelos. Correlaciona con Bray 1, Mehlich 1 y Olsen.	Mehlich, 1984
AB-DTPA	NH_4HCO_3 + DTPA – pH 7.5	Extractante multinutriente para suelos alcalinos.	Soltanpour y Schwab, 1977
Morgan y Morgan modificado	Morgan: 0.7 M $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ + 0.54 M CH_3COOH – pH 4.8 Modificado: 0.62 M NH_4OH + 1.25 M CH_3COOH – pH 4.8	Extractante multinutriente utilizado en el noreste de EEUU para suelos ácidos. No adaptado a suelos calcáreos.	Morgan, 1941
Egner	0.01 M lactato de Ca + 0.02 M HCl O 0.10 M lactato de Ca + HOAc – pH 3.75	Extractante multinutriente utilizado en Europa	Egner et al., 1960

Fte.: adaptado por Sims, 2000.

Tabla 5: Niveles de P extractable según el método de determinación y el contenido de fósforo en el suelo

Método	Niveles de Análisis				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	----- mg/kg -----				
Bray-1 ¹	<6	6-14	14-20	20-30	30+
Olsen ²	<5	6-10	11-14	15-20	21+
Mehlich-1 ³	<3-4	4-10	10-15	15-30	30+
Mehlich-3 ⁴	<8	9-15	16-20	21-30	31+
Resina ⁵	<6	7-15	16-40	41-80	80+

1 Adaptado de información de Argentina; 2 Adaptado de Iowa State University; 3 Adaptado de M. Cubilla (Paraguay); 4 Adaptado de Iowa State University; 5 Adaptado de información para el estado de San Pablo (Brasil).IPNI.

FITOTOXICIDAD

Los dos factores más importantes que inciden en el proceso de interferencia del fertilizante con la emergencia y desarrollo de las plántulas son:

1. El efecto salino que deriva en un stress hídrico debido a la competencia por el agua del suelo entre el fertilizante y la semilla. En situaciones de buena provisión hídrica este efecto tiene menor relevancia.
2. En el caso de los fertilizantes amoniacales, la liberación de amoníaco (NH_3) a niveles tóxicos. Altos niveles de amonio disipan los gradientes de protones en las membranas celulares, alterando el metabolismo general de la planta.

Con respecto al efecto salino, el perjuicio del fertilizante puede deberse a una elevada concentración de sales en contacto con la semilla o las raíces durante la germinación.

Esto puede provocar daños a las plántulas, produciéndose retrasos o fallos en la emergencia del cultivo (Dowling, 1996).

Según un estudio de fitotoxicidad y rendimiento, la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes fosforados y nitrogenados en trigo provocó una reducción en el número de plantas emergidas, que fue independiente de la fuente y estuvo asociada con la dosis del nutriente agregado. En el caso de los fertilizantes fosforados, la pérdida de plantas fue compensada y los tratamientos que recibieron las dosis más altas fueron los de mayor rendimiento. Esto se explica por una pendiente de caída en el número de plantas pequeña, en un ambiente de alta respuesta a causa del bajo nivel de P en suelo. El N afectó más la emergencia, y la reducción en el stand de plantas no pudo ser totalmente compensada. Los resultados obtenidos indican que no es posible localizar en línea la totalidad de los nutrientes requeridos para obtener un cultivo de alta producción, debiéndose recurrir a la fertilización en superficie al voleo o en forma chorreada, según se trate de sólidos o líquidos, o a la incorporación en bandas separadas de la semilla,

para no poner en riesgo la implantación del cultivo (Ferraris, G.; Caamaño, A.; Capridi, A.).

El fertilizante como sal se disocia al entrar en contacto con la solución del suelo. Todas las sales solubles, producen una disminución del potencial osmótico y, por consiguiente del potencial agua del suelo. Esto produce una restricción en la disponibilidad de agua para la plántula, que genera una deshidratación de sus tejidos (plasmólisis) y consecuente muerte. La capacidad para disminuir el potencial osmótico difiere entre los fertilizantes y es cuantificado mediante el “índice salino”. El índice salino indica el incremento en la presión osmótica producido por un peso igual de fertilizante relativo al nitrato de sodio (Mortvedt et al., 1999). Los fertilizantes con menor índice salino producen menores daños a las plántulas durante la germinación.

En la tabla 6 se encuentran caracterizados los principales fertilizantes en relación al índice salino. En general, las sales de N y K tienen un mayor índice salino que las de P.

Tabla 6. Índices Salinos de los principales fertilizantes.

Fertilizante	Índice Salino
Fertilizantes Nitrogenados	
Nitrato de Amonio	105
Urea	75
UAN	74
Fertilizantes fosforados	
Fosfato diamónico	34
Fosfato monoamónico	30
Superfosfato triple	10
Fertilizantes potásicos	
Cloruro de potasio	116
Nitrato de potasio	74
Sulfato de potasio	46
Fertilizantes azufrados	
Sulfato de Magnesio	116
Sulfato de Amonio	69

Fte.: Mortvedt et al. (1999).

La liberación de NH_3 se produce cuando se aplican fertilizantes amoniacales de reacción alcalina como es el caso de la urea y FDA. La urea y el FDA incrementan el pH en la zona de reacción con el suelo a valores de hasta 9.5 y 8.5 respectivamente. A estos niveles de pH, el NH_4 del fertilizante pasa a NH_3 . El NH_3 tiene efectos directos sobre las membranas celulares y una alta afinidad por el agua, lo que conlleva a una desecación de las semillas y/o raíces seminales de las plántulas.

Los principales factores que determinan la cantidad máxima de fertilizante a aplicar junto a la semilla son:

- Dosis y tipo de fertilizantes

- Tolerancia del cultivo a implantar
- Humedad del suelo al momento de la siembra
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo
- Distancia entre surcos

Tabla 7: Dosis críticas estimadas para pérdidas del 20% y 50% de plantas, para diversos cultivos y fuentes de fertilizantes.

Cultivo	Tipo de Fertilizante	Dosis Crítica (kg ha ⁻¹)	
		20% #	50% #
Trigo	Urea	30 - 50	75 - 120
Soja	FDA-FMA-SFT ##	20 - 40	55 - 75
	SFS	20 - 80	60 - 120
	SA	20 - 30	60 - 80
Maíz	Urea	15 - 30	60 - 80
	NA-CAN-SA	60 - 80	100 - 130
	FDA	60 - 80	130 - 170
Girasol	Urea-NA-CAN-SA	20 - 40	60 - 90
	FDA	40 - 50	80 - 120
Cebada	Urea	30 - 50	80 - 100
Alfalfa	Urea-SA	20 - 30	50 - 70
	FDA-SFT	90 - 110	160 - 200

Para pérdidas de 20% y 50% del stand de plántulas a emergencia

CAN: Nitrato de Amonio Calcareo. FDA: Fosfato Diamonico. FMA: Fosfato Monoamonico. NA: Nitrato de Amonio. SA: Sulfato de Amonio. SFS: Superfosfato Simple. SFT: Superfosfato Triple. Fte.: Ciampitti et al., 2006

Los rangos indicados responden a condiciones de tipo y humedad de suelo.

Respecto del tipo de fertilizante, entre los nitrogenados, la urea presenta el mayor nivel de N-amoniaco, seguido por el UAN, y el sulfato de amonio, calificado este último como fertilizante azufrado. En el caso de la urea, su hidrólisis rápida produce gran cantidad de amoníaco, que al liberarse podría resultar tóxico para las semillas que están germinando. Esto ocurre rápidamente cuando la temperatura del suelo está por encima de 10°C, presentando este proceso una velocidad máxima a 25°C. Esta reacción química es catalizada por la enzima ureasa que está presente en todos los suelos, y que se incrementa a medida que aumenta la materia orgánica. El nitrato de amonio hace menos daño a la semilla que la urea porque, a pesar de que tiene un índice salino más alto (Tabla 6), presenta una muy baja toxicidad amoniaco.

Con respecto a la tolerancia de la especie a sembrar, algunas especies son más susceptibles a la presencia del NH₃ durante la germinación (Tabla 7). Más

precisamente, la sensibilidad o tolerancia de las especies al NH_3 , puede variar dependiendo de la etapa de crecimiento, o bien durante la etapa de germinación, o el crecimiento de la radícula o coleoptile (Dowling, 1993). En general, la gran mayoría de los cultivos tienen menor tolerancia durante la germinación, aumentando en los posteriores estadios, crecimiento radicular y coleoptile (Woodstock y Tsao, 1986). Una excepción es el trigo, con menor tolerancia al NH_3 en la etapa de crecimiento de la radícula (Tabla 7).

La variabilidad edáfica, se basa en parámetros como la humedad del suelo a la siembra y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). La humedad influye porque el amoníaco tiene gran afinidad por el agua, si hay agua queda en solución e inmediatamente pasa a amonio, tomando un protón del medio acuoso.

Asimismo, los mayores contenidos de humedad edáfica reducen el efecto salino al diluir la concentración de sales del fertilizante en la solución del suelo. En cuanto a la CIC, por lo general cuanto mayor es la misma, mayor será la dosis que se puede aplicar. Ello se debe a que los cationes se adsorben a la matriz y no quedan en la solución del suelo. En la medida que se incrementa el porcentaje de arcilla, disminuye la conductividad de las sales, siendo los suelos de texturas gruesas (arenosos) más susceptibles a este tipo de perjuicios. Por otro lado, los suelos arcillosos tienen mayor retención de humedad, reduciéndose el efecto perjudicial del amoníaco (NH_3).

En cuanto a distanciamiento entre hileras de siembra, la dosis de fertilizante que puede ser aplicada en forma segura en el surco de siembra decrece al incrementarse el espaciamiento entre surcos (Roberts y Harapiak, 1997).

Tabla 8. Tolerancia de las especies a la concentración de amoníaco durante la germinación y el crecimiento de la radícula.

Especie	Germinación	Radícula
Garbanzo	Alta tolerancia	Alta tolerancia
Cebada	Tolerancia media	Tolerancia media
Trigo	Tolerancia media	Tolerancia baja
Maíz	Tolerancia media	Tolerancia media
Girasol	Tolerancia media	Tolerancia baja
Sorgo	Tolerancia media	Alta tolerancia
Algodón	Tolerancia media	Alta tolerancia
Canola	Tolerancia baja	Tolerancia media
Alpiste	Tolerancia baja	Tolerancia media

Fte.: Dowling (1993).

En suelos Argiudoles típicos, se evaluó como fuente nitrogenada la urea, presentando diferentes combinaciones: urea sola, combinada con superfosfato triple (SFT) y con fosfato monoamónico (FMA). En el caso de las últimas dos combinaciones, las dosis de los fertilizantes SFT y FMA fueron constantes, correspondiendo 33 kg ha⁻¹ SFT y 55 kg ha⁻¹ FMA. Se debe considerar que el tratamiento con fertilizante FMA adiciona de forma extra, 5-6 kg ha⁻¹ de N elemento y en ambos casos, FMA y SFT, incrementan adicionalmente los efectos de salinidad al aumentar la dosis de fertilizante aplicado junto con la semilla. El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre las pendientes de estos tres tratamientos ($P=0.1133$). Las tres combinaciones presentan el mismo

efecto de fitotoxicidad sobre el número de plántulas emergidas, teniendo en consideración las prácticas de manejo utilizadas, utilizándose sistema de siembra directa, con condiciones de humedad moderadas (rango 17-27% HA) al momento de la siembra y un distanciamiento entre hileras de 0,175 metros. La función lineal indica que dosis de Urea de 19 y 40 kg ha⁻¹ resultan en pérdidas de 10 y 25% de plántulas a emergencia, respectivamente, cuando la fertilización se realiza junto a la semilla de trigo. (Ciampitti, I.; Micucci, F.; Fontanetto, H.; García, F., 2006).

DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN EL MUNDO

El P es uno de los principales elementos minerales más abundantes en la tierra. Es un componente necesario para todos los seres vivos. Pueden cambiar las formas o la localización del P, pero la cantidad total existente de P no cambia (Dibb D., 2004).

La disponibilidad de P para la producción de alimentos y, por ende, para los organismos vivos, depende de nuestra habilidad para extraer el P de donde quiera que este y ubicarlo en forma disponible y cercano a las plantas para que produzcan alimentos.

Actualmente, el P disponible para la producción de alimentos es abundante. En gran medida, ello se atribuye a que hemos aprendido a extraer P de los grandes depósitos minerales de roca fosfórica, transformarlo en P disponible para las plantas. Este proceso es la base de la industria actual de fertilizantes fosforados. Parte del P necesario para hacer funcionar adecuadamente nuestros cuerpos proviene directamente de los vegetales, las frutas, los granos, etc. Otra parte proviene indirectamente a través de productos animales como la carne, la leche y los huevos. Una tercera parte se consume con los suplementos vitamínicos o minerales. Todo este P proviene originalmente de los depósitos naturales, ya sea de las fuentes que fueron concentradas en los depósitos de roca fosfórica, o del proceso natural de meteorización y difusión en el suelo. En la medida que los cultivos crecen y se extrae el P del suelo, es necesario reponerlo para poder sostener el potencial para producir más alimentos.

Sin embargo, ¿qué pasará cuando se agoten todos los depósitos minerales que están bajo explotación?, ¿esto ocurrirá pronto?, y cuando esto suceda, ¿se habrá agotado el P necesario para la producción de alimentos? La respuesta es “NO”. Para poder entender porqué, es necesario rever la información acerca del uso histórico y las fuentes de P usadas para la producción de alimentos, que sucede hoy en día, las reservas actuales de P, y otras posibles fuentes de P para el futuro. Luego de este panorama, seremos capaces de entender porqué el mundo no se quedará sin P.

Primero consideremos el uso histórico de P en la producción de alimentos. Se sabe de historia cómo los nativos americanos les mostraron a los primeros peregrinos europeos en la época colonial cómo colocar un pescado en un agujero donde se había sembrado previamente una semilla de maíz, para producir luego cultivos más abundantes. Mientras se descomponía el pescado, el P y otros nutrientes se hacían disponibles para el maíz. El estiércol animal también suministraba parte del P necesario para los cultivos. Los residuos de los cultivos que contenían P contribuían a mantener el suministro de P, si eran retornados al

suelo. A medida que la población de seres humanos y animales aumentó, no fue suficiente el suministro de pescado, estiércol o residuos de cultivos para mantener la fertilidad y la productividad de los suelos. El P y otros nutrientes se agotaron en muchos suelos. De hecho, las primeras migraciones desde la costa este de EE.UU. hacia tierras más fértiles en el oeste, se debió en parte al agotamiento de la fertilidad de las primeras tierras cultivadas. La inhabilidad de los agricultores en reponer los nutrientes removidos resultó en que aquellas tierras, agotadas de nutrientes, fueran abandonadas por tierras más productivas en la frontera. (Dibb D., 2004).

Fueron halladas nuevas fuentes de P. Se sabía que los huesos eran ricos en ese nutriente. La harina de huesos molidos se convirtió en una fuente de P. Las harinas de sangre y de pescado y otras fuentes se hicieron comercialmente disponibles. Esto no alcanzó para sostener los niveles de P, y la productividad de los suelos disminuyó. Los avances en el área de química abrieron una nueva y abundante fuente de P. Depósitos de roca fosfórica recientemente descubiertos pudieron ser tratados con ácidos similares a los que existen naturalmente en los suelos. Ahora era posible tener P disponible para las plantas, concentrándolo y transportándolo de una manera más eficiente a los productores. Ese fue el nacimiento del comercio de fertilizantes fosforados de hoy en día. Algunos depósitos de roca fosfórica fueron explotados y agotados, y otros depósitos comercialmente viables han sido encontrados y puestos en producción. Al mismo tiempo, otros depósitos permanecen sin uso, y bajo las condiciones económicas actuales no se los considera útiles. Probablemente, con nuevas tecnologías de extracción y procesamiento, y diferentes condiciones económicas, muchos de estos depósitos podrán ser fuentes de P en el futuro. (Dr. David W. Dibb, IPNI).

Depósitos mundiales de fosfatos económicos y potencialmente económicos

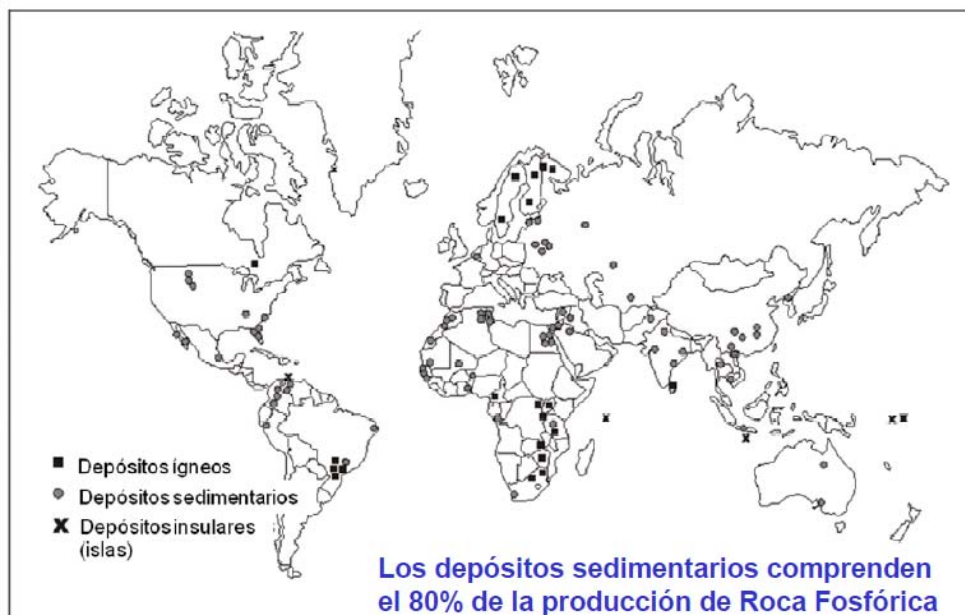


Figura 9. McClellan y Van Kauwenbergh, 2004. Fte.: Ipni

En la economía de hoy, nadie tiene un gran incentivo para explorar nuevas reservas de P. Cualquier reserva hallada actualmente, probablemente sea resultado

de la búsqueda de otros productos como petróleo, gas natural o metales preciosos. De todas maneras, es posible hallar nuevas reservas con búsquedas específicas. El P existe naturalmente dentro de cualquier cuerpo de agua productivo. Si el P no estuviese allí, la vida acuática no existiría. Algunos cuerpos de agua han incrementado los niveles de P soluble, el cual puede ser extraído o explotado. El agua de mar contiene abundante P disuelto, se ha estimado en forma conservadora más de 90 billones de toneladas. El agua de mar es actualmente tratada para proveer agua potable a través de procesos de desalinización. Tal vez, con un sencillo paso adicional, cuando convenga económicamente, se podría extraer y separar P del agua marina, para ser utilizada en la producción de cultivos. De manera similar, los desechos cloacales líquidos de plantas de tratamiento, pueden tener altos niveles de P. Existe tecnología disponible para la extracción. Su desarrollo como fertilizante fosforado para la reposición en los suelos y para la producción de alimentos está restringido por las condiciones económicas de hoy. Así como la fuente principal de P cambió de pescado y estiércol en la época de las colonias a los fosfatos procesados en nuestros tiempos, en el futuro podría verse un cambio hacia la extracción de P de desechos cloacales municipales u océanos como fuentes principales, o por algún proceso actualmente desconocido a partir de otras fuentes. Muy probablemente, en el futuro, habrá una combinación de todas las fuentes mencionadas anteriormente más otras adicionales que no conocemos. Como hasta el presente, con los métodos más antiguos que aún siguen incorporándose a los métodos actuales de extracción, aparecerán modernas tecnologías de extracción, viables dependiendo de la rentabilidad, eficiencia y ecología de las fuentes a explotar. El P estará allí para nuestro uso para producir los alimentos necesarios. (Dr. David W. Dibb, IPNI).

Producción mundial de roca fosfórica, 1981-2008

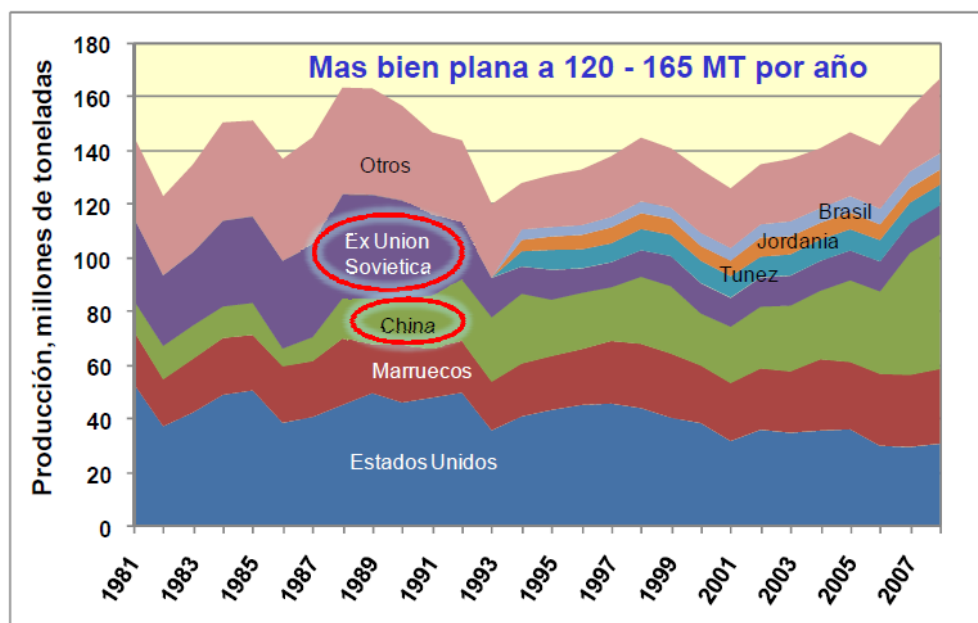
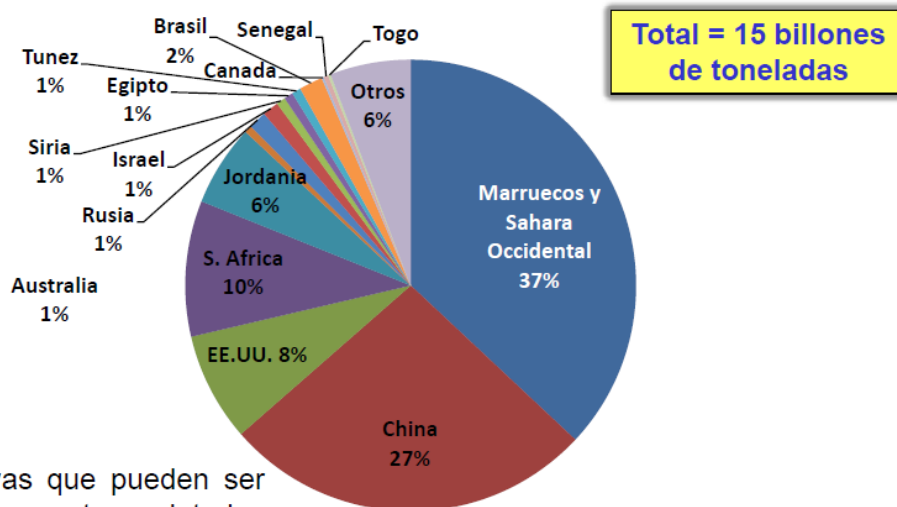


Figura 10.

1992-1997 Ex Union Sovietica incluye la información de Kazakstan y Rusia; posteriormente, solamente Rusia. Año 2008 estimado. Compilado a partir de USGC Reporte de Comodities de Minerales, 1983-2009. Fte.: Ipni

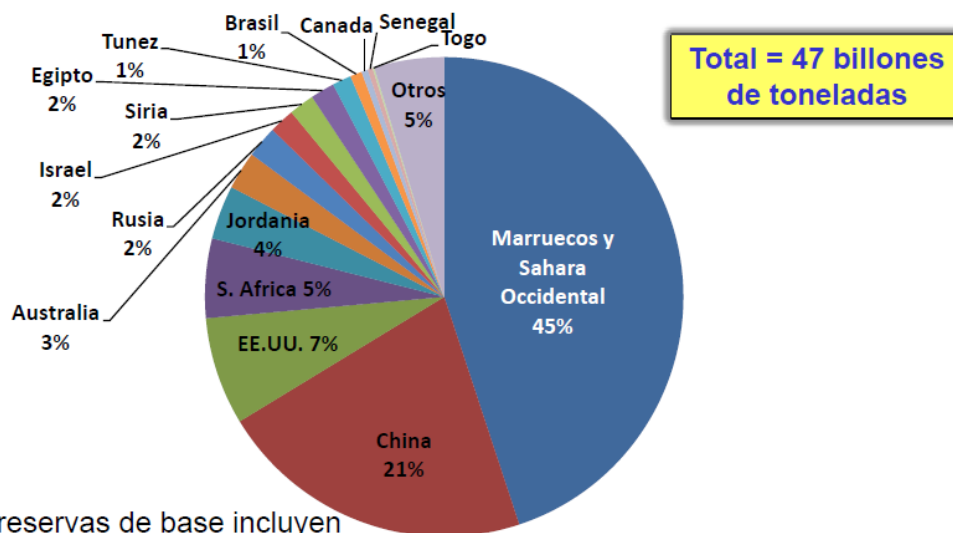
Reservas fosfatadas mundiales en 2008



* Reservas que pueden ser económicamente explotadas al tiempo de determinación.

Figura 11. Fte.: USGS, 2009. Ipni

Reservas de base fosfatadas mundiales en 2008



* Las reservas de base incluyen recursos actualmente económicos y "sub-económicos".

Figura 12. Fte.: USGS, 2009. Ipni

MANEJO DEL FÓSFORO

¿Cómo deberíamos manejar el fósforo?

1. Conocer el nivel de P Bray según análisis de suelo
2. Decidir la dosis
 - a) Suficiencia: fertilización para alcanzar el nivel crítico del cultivo

- b) Reposición: fertilización para reponer la extracción de fósforo del cultivo o la rotación, en caso de realizar una “fertilización de la rotación”.
- c) Mantenimiento y enriquecimiento: fertilización para elevar el nivel de fósforo del suelo y reponer lo que el cultivo extrae.

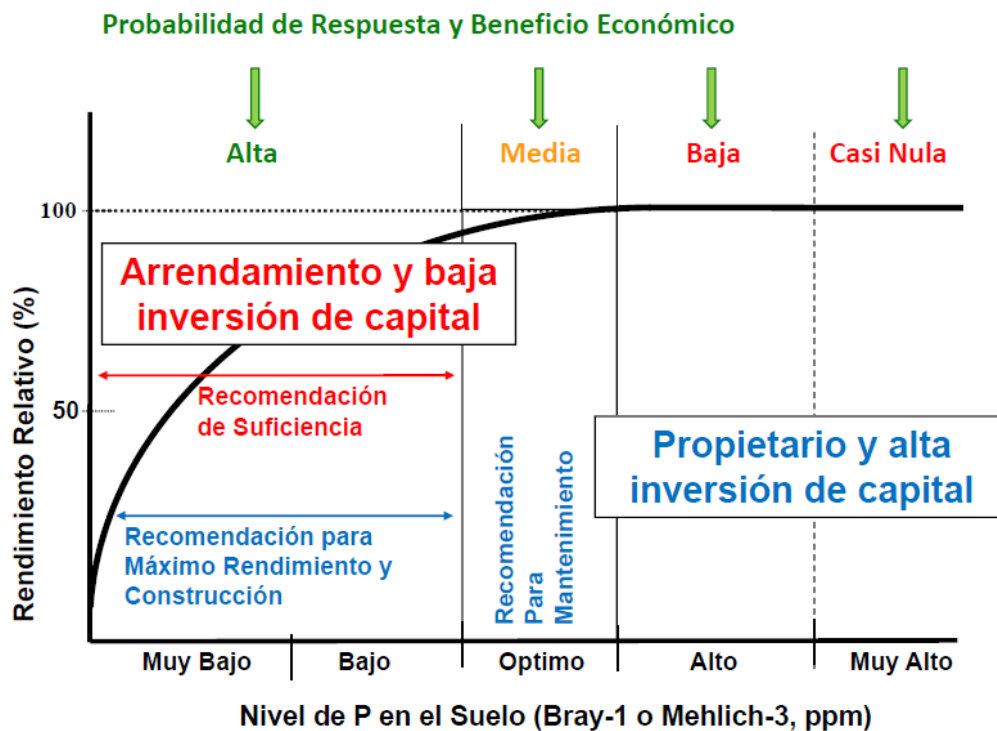


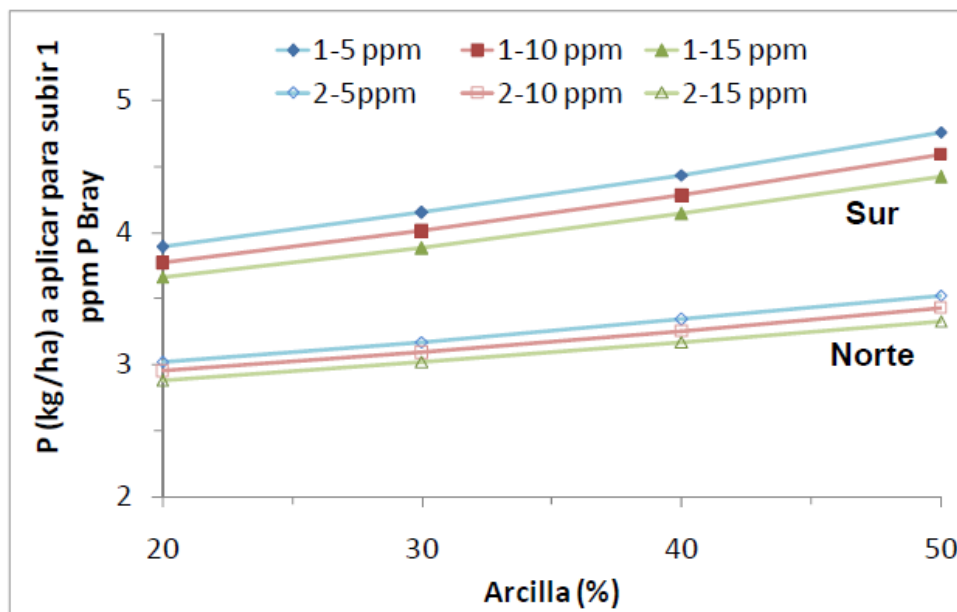
Figura 13. Fte.: Adaptado de Mallarino, 2007. Ipni

¿Cuántos Kg de P debo aplicar para subir 1 ppm de P Bray en Región Pampeana? (Rubio et al. 2008)

Dosis P (kg P/ha) = $[0,1 * (\text{densidad aparente t/m}^3 * \text{prof cm})] \% \text{ Coeficiente b}$
 Coeficiente b = $0.45369 + 0.00356 \text{ P Bray} + 0.16245 \text{ Z} - 0.00344 \text{ Arcilla}$

Donde

Z es la zona, Z es 1 al norte de la región pampeana y 2 al sur de la misma
 Arcilla es el porcentaje del suelo. (Rubio, Jornada Actualización Técnica CREA ZO, 2009).



Asume densidad aparente de 1.1 t/m^3 y profundidad de 0-20 cm
Figura 14.

En suelos de la Región Pampeana, por cada Kg. P/ha aplicado, se incrementa el fósforo extractable en promedio 0,2-0,3 mg P/Kg. suelo, en el estrato de 0-10 o 0-20 cm, luego de transcurrido un ciclo de cultivo. El impacto de la fertilización sobre el fósforo extractable llega comúnmente hasta unos 20 cm de profundidad (Berardo, 1974).

RELACIONES DE PRECIOS

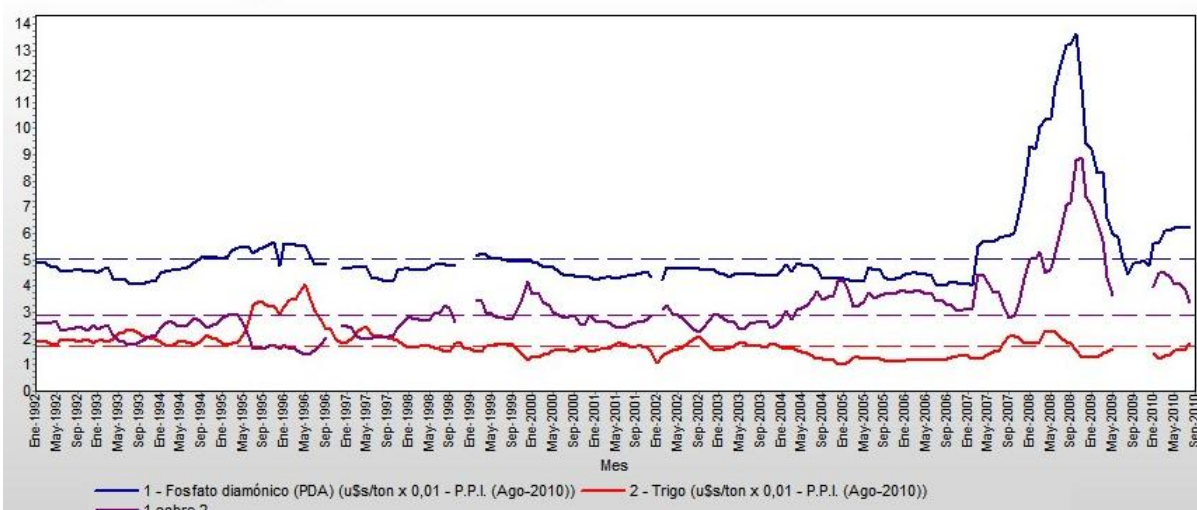


Figura 15. Fte: Elaboración propia en base a Series de Precios Agropecuarios (AACREA)

El uso de dosis de suficiencia en años económicos difíciles es una alternativa a corto plazo, que debe monitorearse cada año.

Es interesante evaluar este tipo de relaciones, para poder efectuar inversiones cuando las relaciones sean favorables.

USO DEL P EN ARGENTINA

El consumo de P a nivel país se ha incrementado notablemente en los últimos años, fue de 19 mil toneladas en 1993, alcanzó las 307 mil toneladas en 2007 y cayó a 193 mil toneladas en 2008.

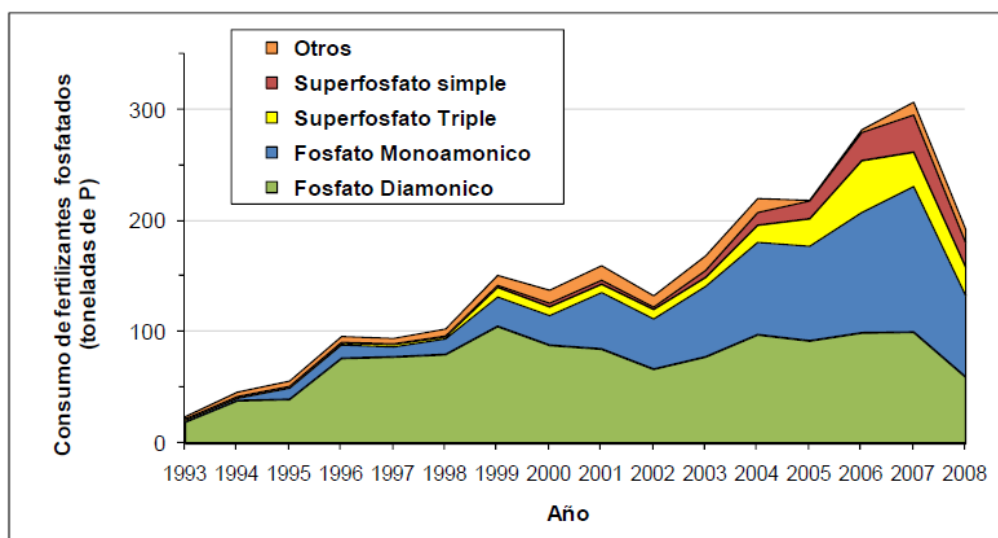


Figura 16. Consumo de fertilizantes fosfatados. Fte.: Ipni

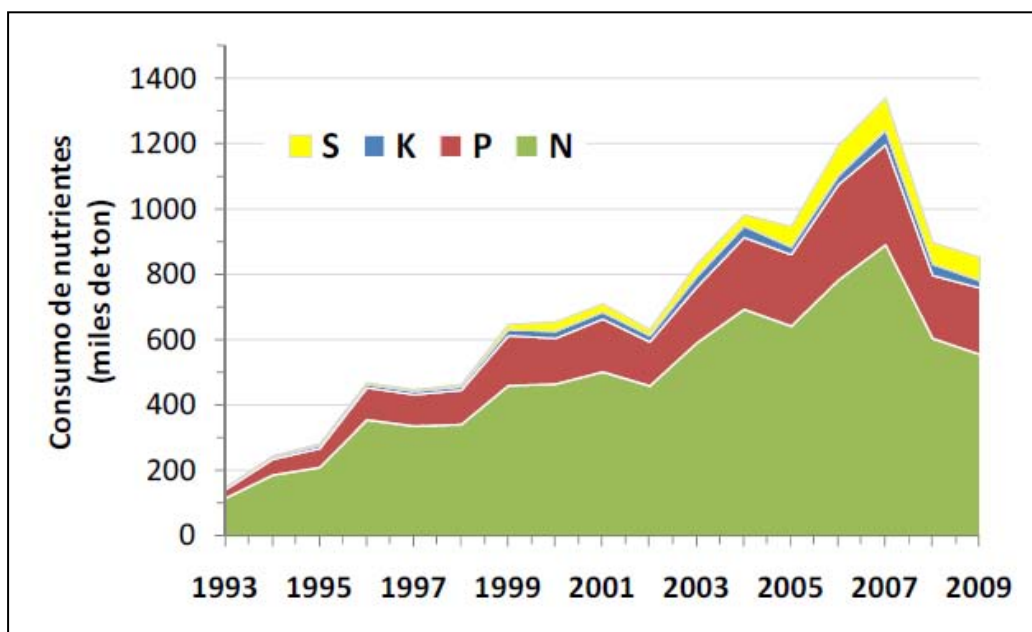


Figura 17. Evolución del consumo de fertilizantes Argentina 1993-2009. Fte: Ipni

La relación aplicación/remoción muestra un balance negativo, reponiéndose en promedio un 59% del P extraído en grano por los principales cuatro cultivos (soja, maíz, trigo y girasol).

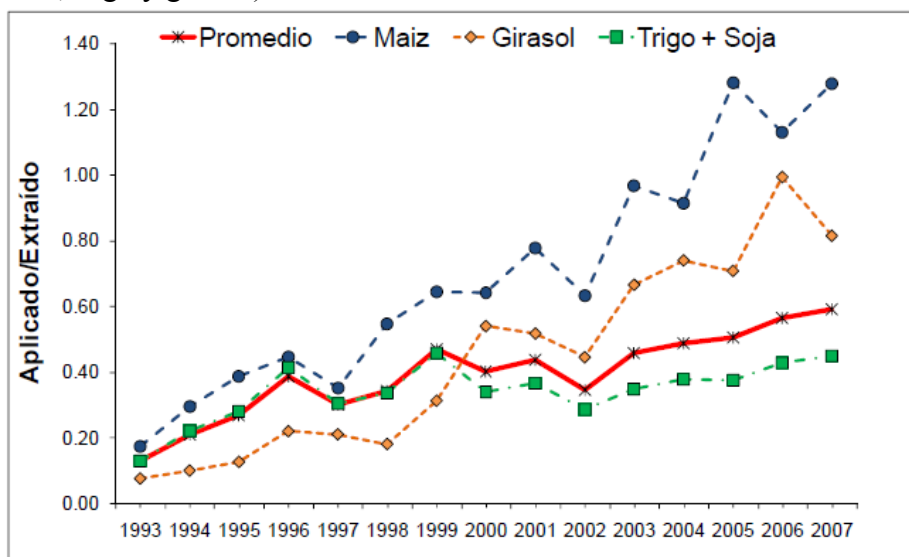


Figura 18. Relación entre el P aplicado y extraído. Fte.: Ipni

ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN TRIGO

Se consideran como antecedentes varios ensayos de fertilización fosforada en trigo realizados en la zona.

1) Fertilización fosfatada de trigo en suelos haplustoles del sudeste de Córdoba (Luciano Ascheri CREA Monte Maíz)

Para las condiciones de siembra de estos ensayos, la cantidad de plantas emergidas por metro cuadrado no fueron afectadas por los diferentes tratamientos (Figura 20). Las mayores dosis de FMA en la línea de siembra no perjudicaron la germinación ni la emergencia de las plántulas de trigo, aunque el tratamiento P46 posee 9 plantas menos que el testigo, esta diferencia no es significativa ($P = 0,3089$).

En el caso de los rendimientos, estuvieron influenciados por los diferentes tratamientos, siendo el testigo muy inferior a los restantes tratamientos en todos los sitios (Figura 21) cerca del 75% del rendimiento máximo. El ensayo de W. Escalante estuvo afectado por bajas precipitaciones durante el ciclo del cultivo, esto perjudicó el logro de mayores rendimientos, marcándose diferencias significativas entre los diferentes sitios ($P < 0,0001$). Solo en el sitio Guatimozín se observaron diferencias significativas, entre el tratamiento P23 y P46, las mejores condiciones hídricas de este sitio permitió explorar rendimientos superiores a los 5000 kg/ha ($P < 0,0001$) con dosis de 200 kg/ha de FMA. Los rendimientos absolutos fueron transformados en rendimientos relativos por sitio con el objetivo de encontrar una dosis óptima de fertilización fosfatada, para suelos Haplustoles con valores de P Bray entre 8 y 11 ppm (Figura 19). En este

conjunto de ensayos, la dosis mínima para obtener el máximo rendimiento es de 26,7 kg P/ha, unos 116 kg de FMA/ha.

Estos valores de fertilización fosfatada son superiores a los 22 kg P /ha recomendados por Echeverría y García (1998), para niveles de P Bray entre 9 a 11 ppm, y rendimiento objetivo de 5000 kg/ha. En el sudeste de Buenos Aires, en esta recomendación también se tiene parcialmente en cuenta el criterio de reconstrucción.

Con las dosis aplicadas no se encontraron diferencias significativas de emergencia de plántulas de trigo entre los diferentes tratamientos analizados.

En esta experiencia, la dosis mínima para obtener los máximos rendimientos en trigo para suelos Haplustoles del sudeste de la provincia de Córdoba, con valores de P Bray entre 8 y 11 ppm, es de 26,7 kg P/ha o unos 116 kg/ha de FMA.

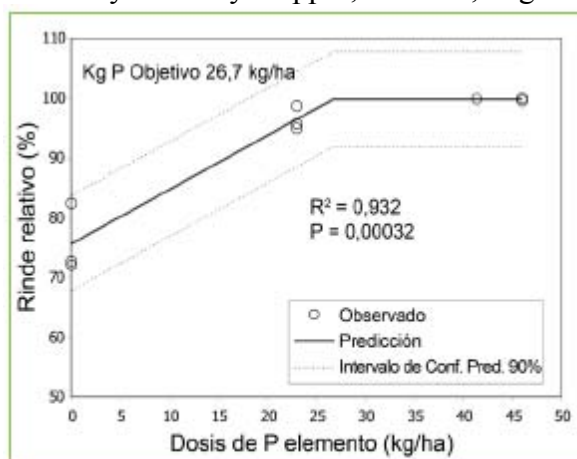


Figura 19. Rendimiento relativo en función de la dosis de P por hectárea

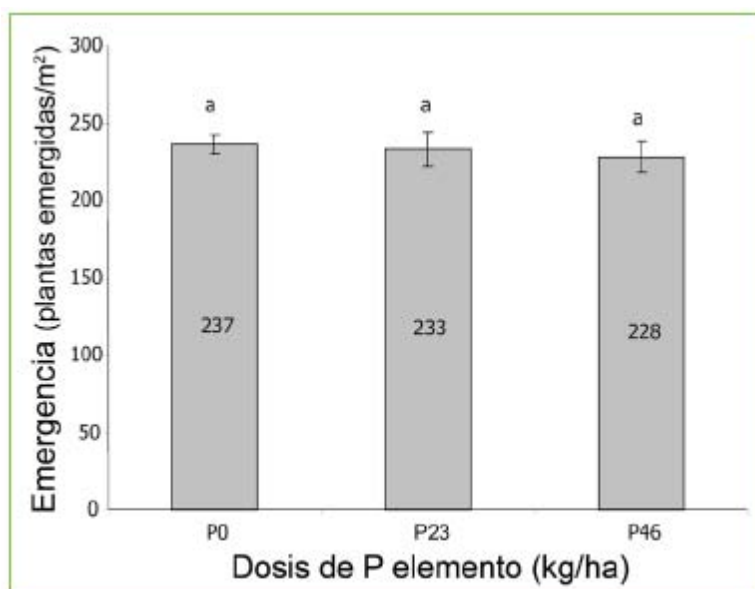


Figura 20. Número de plantas emergidas por m²

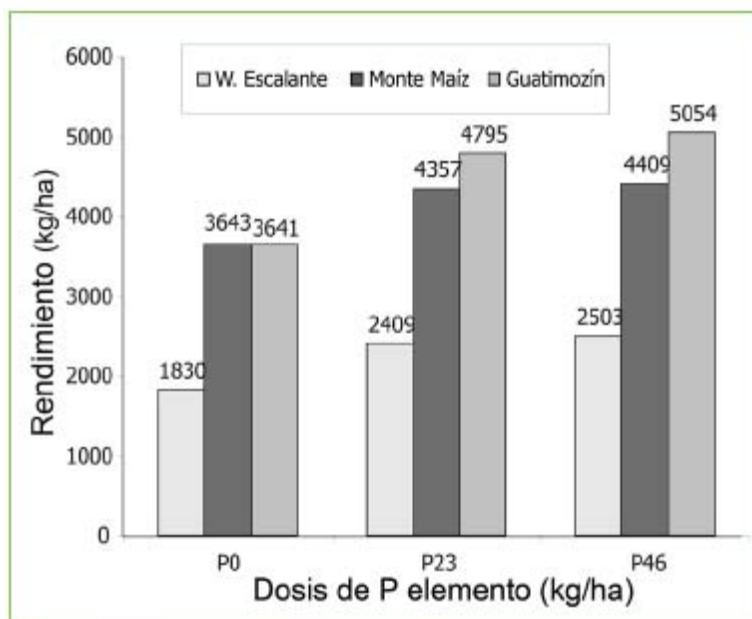


Figura 21. Rendimiento de trigo en kg/ha.

2) Fertilización en trigo con nitrógeno, fósforo y azufre (Ventimiglia, L.; Torrens Baudrix, L. y Camarasa, J. 2008)

Durante la campaña 2007/2008, el INTA 9 de Julio realizó una experiencia en la cual se comprobaron los efectos que produce la fertilización nitrógeno – fosforada, como así también cuanto puede aportar el azufre, cuando se lo combina con el nitrógeno y fósforo, estudiando por otro lado, diferentes productos azufrados combinados con distintas concentraciones de nitrógeno y azufre. El ensayo se efectuó en el campo del Sr. Lizarralde en las proximidades de 9 de Julio, la fecha de siembra fue el 28 de junio, empleándose la variedad ACA 901 a razón de 118 kg/ha, a una distancia de 21 cm entre hileras. El ensayo contó con los siguientes tratamientos:

La cantidad de nutrientes aplicados por cada tratamiento fue la siguiente, Tabla 9.

Tratamientos	Nutrientes aportados (kg/ha)		
	Nitrógeno	Fósforo	Azufre
1	0	0	0
2	110	46	0
3	110	46	21
4	110	55	14
5	112	38	17
6	110	46	20

Tabla 9. Cantidad de nutrientes aplicados por cada tratamiento

La fertilización fosforada con superfosfato triple de calcio y las mezclas A y B, se aplicaron al costado de la línea de siembra y debajo de la misma.

Posterior a la siembra se efectuó un conteo de plantas, el mismo se realizó en todos los bloques y unidades experimentales. El análisis estadístico no indicó ninguna diferencia entre los tratamientos ensayados, siendo la diferencia entre el mayor valor y el menor valor de plantas/m² de solamente 10 plantas.

Al momento de cosecha se determinó el número de espigas/m², posterior a la cosecha y trilla del material, se determinó el peso de 1.000 granos, granos/m², rendimiento kg/ha, (Tabla 10) y calidad a través del análisis de proteína y gluten.

Tratamientos	Espigas/m ²	Peso 1.000 granos (g)	Granos/m ²	Rendimiento (kg/ha)
6	507 a	40,6 a	13.522 b	5.491 ab
4	474 ab	38,6 a	15.053 a	5.809 a
5	470 ab	38,7 a	14.670 a	5.665 a
3	436 bc	40,3 a	12.601 b	5.080 b
2	395 c	40,6 a	10.404 c	4.227 c
1	292 d	40,1 a	7.412 d	2.977 d
CV = 6,8 % CV = 4,0 % CV = 5,3 % CV = 6,2 %				
DMS 5% = 44 DMS 5 % = 996 DMS 5 % = 456				

Tabla 10. Espigas/m², peso de 1000 granos (g) y rendimiento (kg/ha)

Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas por el test DMS ($p < 0,05$)

A excepción del peso de 1.000 granos, el cual no presentó diferencias entre los tratamientos ensayados, el resto de las variables analizadas fueron diferentes. En general, los tratamientos que aportaron azufre presentaron un mejor comportamiento

Los tratamientos con azufre presentaron un rendimiento 90% superior al testigo, en tanto que el tratamiento que aportó nitrógeno y fósforo, logró 42% más de rendimiento que el testigo.

La diferencia por el aporte de azufre fue muy importante, 1.428 kg/ha, representando un incremento de 33,7%.

Dentro de las fuentes azufradas utilizadas se produjeron diferencias, las mezclas A y B superaron al sulfato de calcio, en tanto que, entre el sulfato de amonio y sulfato de calcio, no hubo diferencias, como así tampoco entre el sulfato de amonio y las mezclas.

Una diferencia entre los fertilizantes fue la forma de aplicación, las mezclas se aplicaron al costado de la línea de siembra, en tanto que, el sulfato de calcio y amonio, en cobertura total incorporado, esto quizás pudo ser una variable a considerar. Con respecto al fósforo, si bien el lote presentó un nivel inicial muy bajo, los mejores rendimientos absolutos se alcanzaron con aquellos tratamientos que aplicaron la mayor cantidad, 55 kg/ha P₂O₅ y la menor cantidad, 38 kg/ha P₂O₅, esto estaría indicando que al menos en estas condiciones, esa cantidad de pentóxido de fósforo sería suficiente para los rendimientos que el ambiente climático propició.

Analizando la calidad del grano producido desde el punto de vista del contenido de proteína, el mismo fue indirectamente proporcional al rendimiento alcanzado, tabla 11.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Proteína (%)	Proteína (kg/ha)	Dif. s/testigo (kg/ha)
1	2.977	12,0	357,2	-----
2	4.215	12,0	505,8	148,6
3	5.080	12,0	609,6	252,4
4	5.809	11,1	644,8	287,6
5	5.665	11,4	645,8	288,6
6	5.491	11,3	620,5	263,3

Tabla 11. Rendimiento (kg/ha); % de proteína y kg/ha de proteína

Como se aprecia, el contenido de proteína permaneció estable para los 3 primeros tratamientos, el testigo al producir menos, le alcanzó para llegar a 12 %, en tanto que el tratamiento que aportó nitrógeno y fósforo (2) y nitrógeno, fósforo y sulfato de calcio (3), al presentar mayor rendimiento, la cantidad de nutrientes absorbidos no alcanzó para incrementar el porcentual de proteína.

Respecto a los tratamientos que presentaron mayores rendimientos (tratamientos 4, 5 y 6), se produjo seguramente una dilución de la proteína, alcanzando valores menores, aunque en todos los casos ubicándose por encima de la base de comercialización (11%) de proteína, de todos modos, considerando también el rendimiento en grano, estos tratamientos son los que produjeron la mayor cantidad de proteína por hectárea.

- El cultivo respondió, como habitualmente lo hace en esta región, muy bien a la fertilización.
- El agregado de fósforo y nitrógeno permitió incrementar el rendimiento en 42%, si bien no pudo mejorar el porcentual de proteína, sí lo hizo cuando se consideró la producción de proteína por hectárea.
- El agregado de azufre produjo incrementos de rendimientos más que interesantes, 90% por encima del testigo y 33,7 % por encima del nitrógeno y fósforo. Esto demuestra una vez más que es muy importante hoy en día para los suelos de nuestra zona, además de trabajar con fósforo y nitrógeno, adicionar pequeñas cantidades de azufre.
- Las mezclas químicas que aportaron en un solo gránulo, fósforo, nitrógeno y azufre, presentaron en general, un mejor comportamiento que las fertilizaciones de mezclas físicas, urea más superfosfato triple de calcio con sulfato de calcio o con sulfato de amonio.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo fue predecir la respuesta de rendimiento en trigo a partir de la fertilización fosfatada y el nivel de materia orgánica de suelos del oeste de la Provincia de Buenos Aires.

METODOLOGIA EMPLEADA

Se realizaron 9 experimentos a campo en diferentes localidades del oeste bonaerense.

Tabla 12: Nombre de la localidad y campo donde se efectuaron los ensayos

Localidad	Campo
Pirovano	Las Casuarinas
Salazar	Arbolito
Herrera Vegas	San Luis
Neild	Las Bayas
Nueve de Julio	San Marcos
Mari Lauquen	Nueva Castilla
Bocayuva	El Clavo
Roosevelt	San Martin

Los tratamientos realizados fueron con dosis de entre 0 y 300 kg FDA o SPT, de acuerdo a la capacidad de la maquina y la fuente fosforada que la empresa utilizaba.

La aplicación del fertilizante fosfatado fue realizada incorporada en la línea de siembra.

La fertilización nitrogenada y azufrada fue realizada de tal manera que ese nutriente no sea limitante.

El largo del ensayo fue de 250 metros, y la superficie de cada tratamiento vario entre 1.250 m² y 1.750 m² de acuerdo al ancho de siembra presente en cada establecimiento siendo este entre 5 y 7 metros.

Para el análisis estadístico de los resultados se usó el análisis de regresión lineal múltiple y análisis de varianza.

Se empleó el programa InfoStat (2009) de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

RESULTADOS

En la tabla 13 se indica la localidad, el campo, la fuente, dosis de fertilizante, el análisis de suelo que resulto en cada sitio y los rendimientos encontrados en los ensayos. Para determinar el fosforo total en suelo, se sumo la determinación del análisis, la dosis aplicada, asumiendo un incremento de 0,23 ppm por kg de fósforo aportado. (Pag. 24)

En la mayoría de los sitios los rindes máximos se obtuvieron con la máxima dosis de fertilizante empleada.

Tabla 13: resultados de los ensayos

Localidad	Campo	Fuente	Kg/ha Fertilizante	Kg P/ha	MO	P ppm (S)	P ppm (S+F)	Rendimiento Kgs/ha	Rinde Rel rinde max
Pirovano	Las Casuarinas	PDA	0	0	1,82	9,7	9,7	3414	0,75
Pirovano	Las Casuarinas	PDA	50	10	1,82	9,7	12,0	4017	0,89
Pirovano	Las Casuarinas	PDA	100	20	1,82	9,7	14,3	4323	0,96
Pirovano	Las Casuarinas	PDA	200	40	1,82	9,7	18,9	4524	1,00
Salazar	Arbolito B	PDA	0	0	3,06	7,2	7,2	4841	0,83
Salazar	Arbolito B	PDA	70	14	3,06	7,2	10,4	5532	0,94
Salazar	Arbolito B	PDA	140	28	3,06	7,2	13,7	5857	1,00
Salazar	Arbolito B	PDA	210	42	3,06	7,2	16,9	5848	1,00
Salazar	Arbolito A	PDA	0	0	1,22	15,1	15,1	3640	0,85
Salazar	Arbolito A	PDA	70	14	1,22	15,1	18,3	3900	0,92
Salazar	Arbolito A	PDA	140	28	1,22	15,1	21,6	4020	0,94
Salazar	Arbolito A	PDA	210	42	1,22	15,1	24,8	4260	1,00
Herrera Vegas	San Luis	PDA	0	0	1,32	17,9	17,9	3418	0,78
Herrera Vegas	San Luis	PDA	70	14	1,32	17,9	21,1	3811	0,87
Herrera Vegas	San Luis	PDA	140	28	1,32	17,9	24,4	3974	0,91
Herrera Vegas	San Luis	PDA	210	42	1,32	17,9	27,6	4386	1,00
Neild	Las Bayas	SPT	0	0	2,92	11	11,0	4522	0,91
Neild	Las Bayas	SPT	100	20	2,92	11	15,6	4406	0,88
Neild	Las Bayas	SPT	200	40	2,92	11	20,2	4986	1,00
Nuevo de Julio	San Marcos	SPT	0	0	2,08	2,9	2,9	5061	0,77
Nuevo de Julio	San Marcos	SPT	100	20	2,08	3,2	7,8	6304	0,96
Nuevo de Julio	San Marcos	SPT	200	40	2,54	4,5	13,7	6577	1,00
Nuevo de Julio	San Marcos	SPT	300	60	2,1	2,9	16,7	6591	1,00
Mari Lauquen	Nueva Castilla	PDA	0	0	1,55	9,2	9,2	3740	0,85
Mari Lauquen	Nueva Castilla	PDA	60	12	1,55	9,2	12,0	4110	0,93
Mari Lauquen	Nueva Castilla	PDA	100	20	1,55	9,2	13,8	4400	1,00
Bocayuva	El Clavo	PDA	0	0	1,81	15,8	15,8	3060	0,74
Bocayuva	El Clavo	PDA	60	12	1,81	15,8	18,6	3580	0,87
Bocayuva	El Clavo	PDA	100	20	1,81	15,8	20,4	4130	1,00
Roosevelt	San Martin	PDA	0	0	2,01	16,2	16,2	4980	1,00
Roosevelt	San Martin	PDA	60	12	2,01	16,2	19,0	4990	1,00
Roosevelt	San Martin	PDA	100	20	2,01	16,2	21	4890	0,98

Tabla 14: rendimientos absolutos en los distintos campos ensayados, para las distintas dosis de P elemento.

		Rinde absoluto (Kg/ha)					
	Dosis (kg/ha) de P elemento	0	10-12-14	20	28	40-42	60
Tratamiento	Las Casuarinas	3414	4017	4323		4524	
	Arbolito B	4841	5532		5857	5848	
	Arbolito A	3640	3900		4020	4260	
	San Luis	3418	3811		3974	4386	
	Las Bayas	4522		4406		4986	
	San Marcos	5061		6304		6577	6591
	Nueva Castilla	3740	4110	4400			
	El Clavo	3060	3580	4130			
	San Martín	4980	4990	4890			

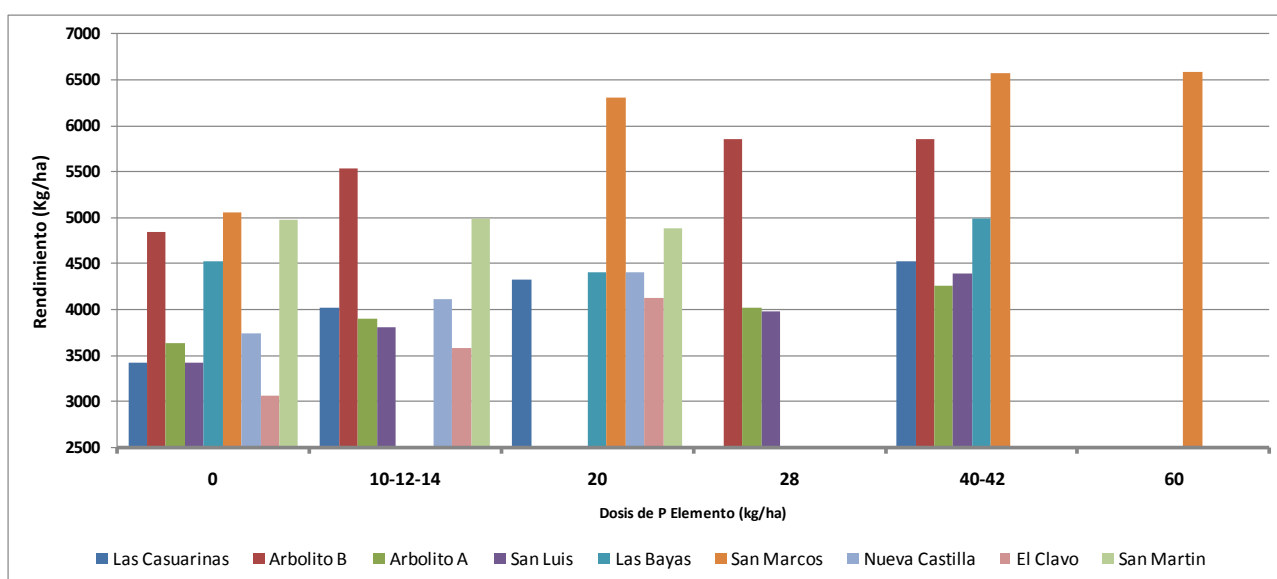


Fig. 22: rendimientos absolutos en función de los kg de P aportados

Tabla 15: rendimientos relativos al testigo de cada ensayo.

		Rinde relativo sobre el testigo				
	Dosis de P elemento	10-12-14	20	28	40-42	60
Tratamiento	Las Casuarinas	18%	27%		33%	
	Arbolito B	14%		21%	21%	
	Arbolito A	7%		10%	17%	
	San Luis	11%		16%	28%	
	Las Bayas		-3%		10%	
	San Marcos		25%		30%	30%
	Nueva Castilla	10%	18%			
	El Clavo	17%	35%			
	San Martín	0%	-2%			
promedio		11%	17%	16%	23%	30%

La figura 22 muestra como en la mayoría de los ensayos fue incrementándose el rendimiento con el agregado de fósforo.

Los valores promedio según dosis agrupadas, de 10 a 14 kg de P, resultaron 11% más que el testigo sin fertilizar, un 23% más con dosis entre 40 y 42 kg, hasta un 30% más que el testigo en un caso que se agrego 60 kg de P. (Tabla 15).

Análisis de Varianza

Tabla 16. ANOVA

Análisis de regresión lineal							
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC	
Rendimiento Relativo	32	0,43	0,39	0,01	-56,51	-50,65	
Coefficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	0,59	0,09	0,40	0,79	6,33	<0,0001	
MO	0,13	0,03	0,07	0,19	4,60	0,0001	22,45
P ppm (s+f)	0,01	3,3E-03	2,3E-03	0,02	2,72	0,0108	9,21
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)							
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo	0,19	2	0,09	10,96	0,0003		
MO	0,18	1	0,18	21,12	0,0001		
P ppm (s+f)	0,06	1	0,06	7,42	0,0108		
Error	0,25	29	0,01				
Total	0,44	31					

De este análisis resulta que el P y la MO están explicando cerca del 40 % de la variabilidad en el rinde. (R^2 0,39)

Se puede notar que MO y P ppm (s + f) presentaron un valor de $p < 0.05$, es decir presentan relación lineal significativa. (Tabla 16).

En el grafico de residuos (figura 23) se observa que están dispuestos al azar, sin ninguna tendencia especial. No encontrándose algún dato atípico que haga pensar en la falta de adecuación del modelo.

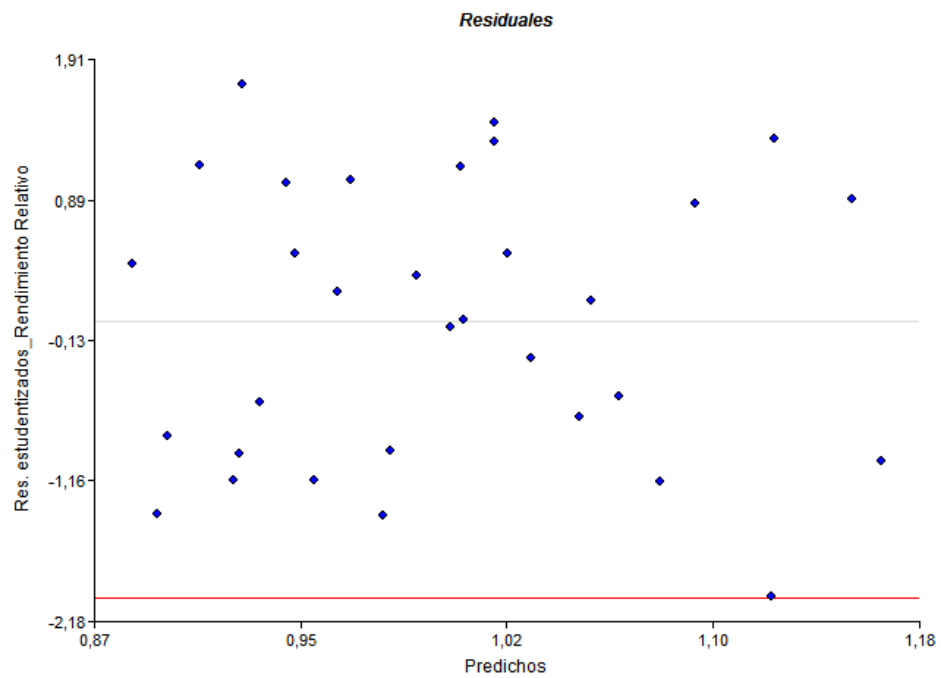


Figura 23

QQ Plot

Este gráfico se utiliza para evaluar el grado de ajuste de un conjunto de observaciones a una distribución teórica. Aunque no representa pruebas formales de ajuste, la experiencia ha mostrado que es efectivo para detectar faltas de ajuste que muchas veces las pruebas formales son incapaces de detectar. En la figura 24 podemos observar que existe un ajuste considerable.

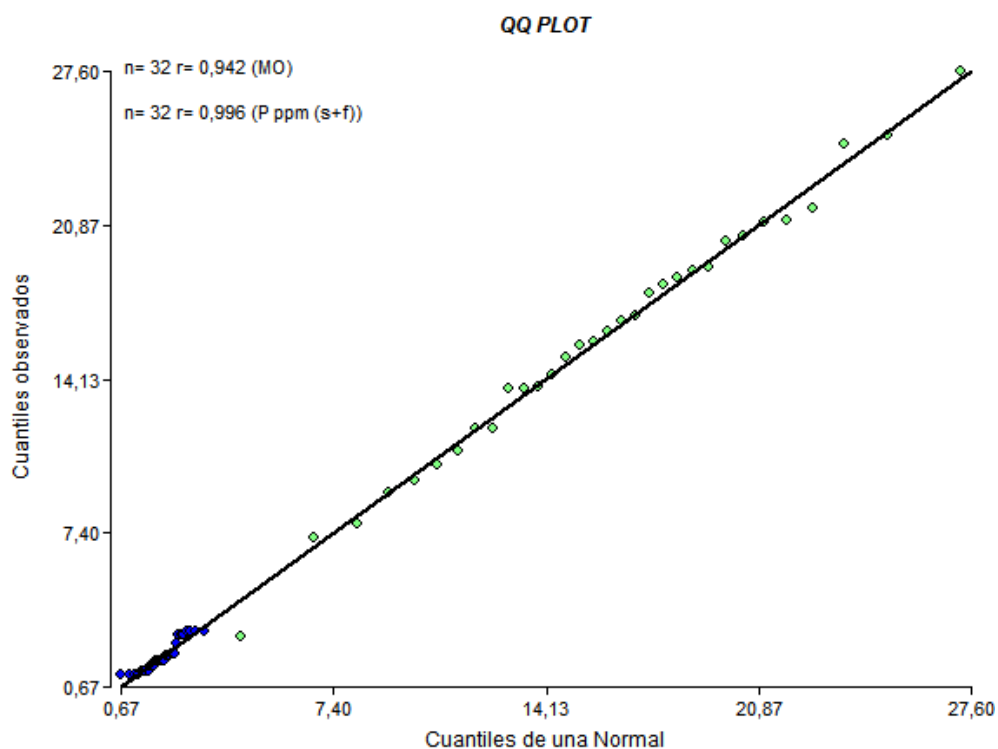


Figura 24

El modelo de respuesta muestra:

$$\text{Rendimiento Relativo} = 0,59 + 0,13 \cdot \text{MO} + 0,01 \cdot \text{P ppm}$$

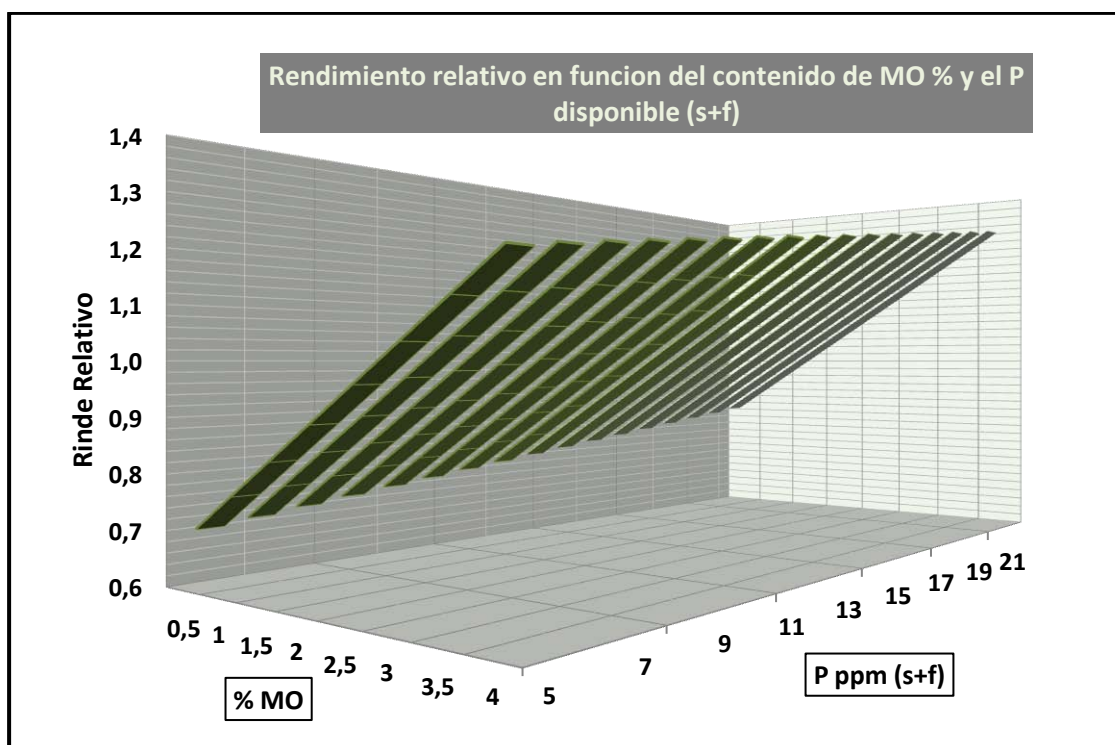


Figura 25

El rendimiento relativo es afectado positivamente por la MO y por el P disponible. En la figura 25, se puede observar la influencia de ambos factores. Por ejemplo en una situación de 1% MO y 18 ppm P el modelo otorga un rendimiento relativo de 0,91 similar a una situación de 2% MO y 5 ppm P. El rinde relativo es más sensible a la variación del contenido de MO, como puede verse en la pendiente de las barras de la figura 25 para la escala determinada.

Los rendimientos absolutos fueron transformados en rendimientos relativos al máximo rendimiento obtenido en cada ensayo, con el objetivo de encontrar un umbral crítico de disponibilidad de fósforo por debajo del cual se vea afectado el rendimiento de trigo. En la figura 26, considerando un nivel de suficiencia del 95% de rendimiento máximo, obtenemos un umbral de respuesta del orden de 17 ppm de P (suelo + fertilizante).

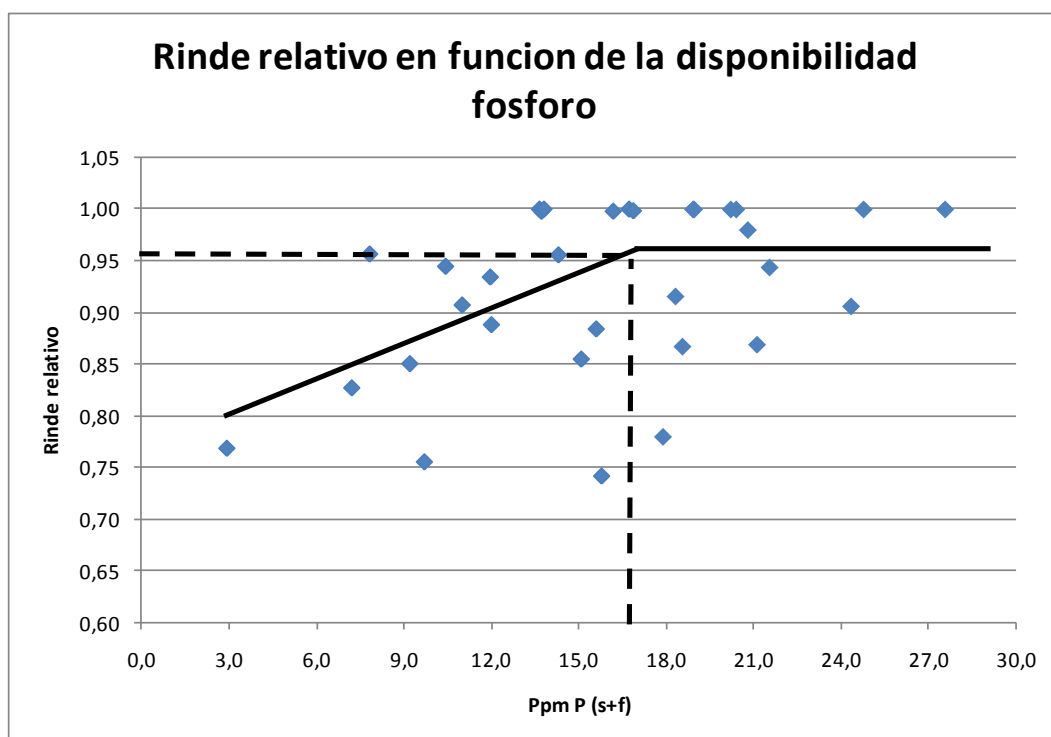


Figura 26

Existe una correlación entre la respuesta de rinde de trigo en función del P inicial en el suelo, como se ve en la figura 27, donde se usaron los primeros tratamientos (dosis más bajas) de cada uno de los sitios de ensayo. La respuesta fue calculada como la diferencia entre el rendimiento del cultivo fertilizado con la dosis más baja, y el cultivo no fertilizado con P de cada ensayo.

Sobre la misma figura, en el eje vertical secundario, se muestra cual es la eficiencia del uso del P, cuantos kg de trigo se obtienen por unidad de P aplicado. Tanto los kg de trigo respuesta, como la eficiencia del uso del P, decrecen en la medida que aumenta la disponibilidad de P inicial en el suelo.

A partir de estas curvas, en conjunto con las relaciones de precios de insumo-producto, es posible generar un modelo de decisión de fertilización fosforada en el cultivo de trigo.

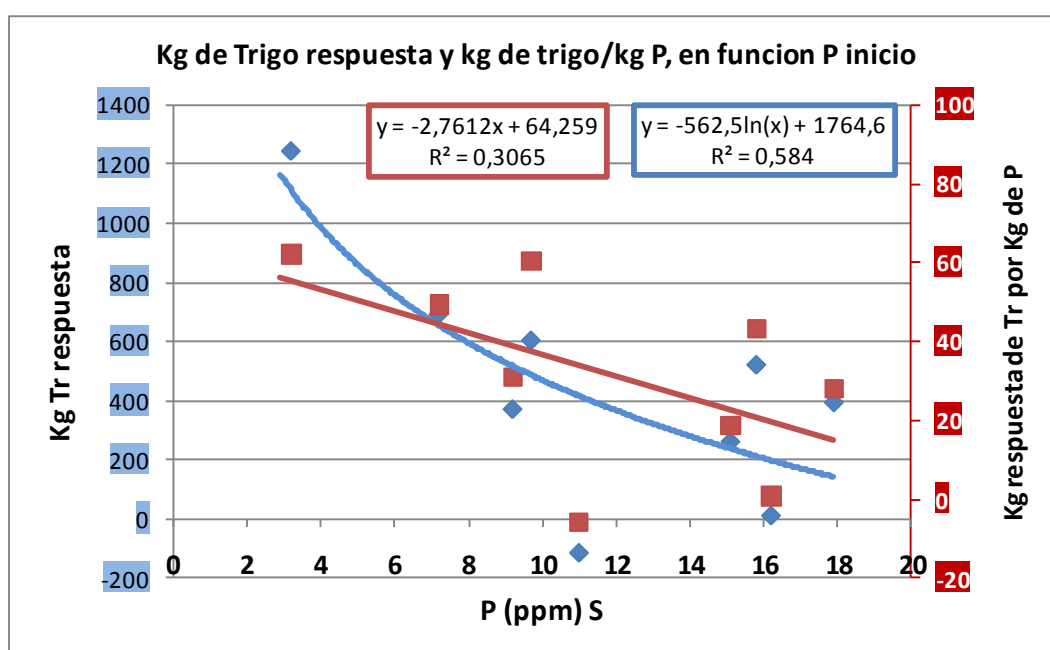


Figura 27

DISCUSION

En coincidencia con el ensayo realizado, trabajos efectuados por Ascheri L. (2006), Ventimiglia L., y otros (2008), demuestran que el trigo responde favorablemente a la fertilización con fósforo.

En este caso observamos un 30% en promedio más de rendimiento que el testigo, cuando Ascheri obtuvo el 33% y Ventimiglia del INTA 9 de Julio un 42% sobre el no tratado.

Niveles de P Bray inferiores a 17 ppm, umbral considerado crítico de respuesta, por debajo del cual es rentable la fertilización fosfatada en trigo en la zona ensayada, otros autores han reportados distintos niveles críticos en el suelo, como García y Berardo (2005) establecen en 16 ppm el punto crítico, siendo de 8 ppm en el sudoeste bonaerense (Ron y Loewy, 1996) a 20 ppm en Balcarce

(Berardo y col. 1999). La Región CREA sur de Santa Fe reportó luego de 6 años de ensayos un umbral crítico de 15-20 ppm Bray-1, para una gran diversidad de suelos del sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba.

CONCLUSIONES

El cultivo respondió en forma positiva a la fertilización fosforada, y junto con la MO como indicador de la calidad ambiental explicaron el 39% del rendimiento del cultivo de trigo.

La fertilización fosforada es crítica para la obtención de óptimos rendimientos en este cultivo.

El umbral crítico de disponibilidad de fósforo resultó de 17 ppm para alcanzar el máximo rendimiento.

Los valores respuesta más altos, resultaron donde la disponibilidad inicial de fósforo del suelo fue menor, siendo menos eficiente el uso de este nutriente en suelos con mayor reserva de fósforo. En este último caso, con suelos de 18 ppm se obtuvieron 15 kg de trigo cada 1 kg de fósforo entregado, mientras en suelos de 4 ppm la respuesta fue de 60 kg de trigo por cada kg de fósforo aplicado.

La toma de decisión del manejo del fertilizante se debe generar a partir de las metodologías e información disponibles. En el marco de cambios constantes de precios de insumos y trigo, es muy importante utilizar la información existente y las actualizaciones generadas que todos los años se van realizando.

Es elemental actuar de forma consciente. Conocer las consecuencias a las que podemos llegar dependiendo de la decisión que abordemos.

Debemos contemplar la nutrición balanceada del cultivo. Esto implica evaluar todos los nutrientes esenciales para evitar que la deficiencia de uno de ellos afecte las eficiencias de uso de los otros (sean aplicados como fertilizantes o disponibles en el suelo). El diagnóstico y la elaboración de necesidades de fertilización no debería ser una decisión aislada sino que tendría que considerar que la respuesta a este elemento es frecuentemente afectada por el nivel de producción del cultivo y de la oferta de otros nutrientes.

El manejo de la nutrición debe considerar la fertilidad de los suelos y la producción de los cultivos que se incluyan en la rotación: la fertilidad del sistema de producción.

En función de su residualidad, es fundamental revertir el proceso de empobrecimiento de fósforo de los suelos de la región. Es necesario para eso, en función del balance de fósforo, utilizar en cada situación dosis acordes a los requerimientos de los cultivos en la rotación, incorporando además cantidades adicionales cuando su disponibilidad en el suelo es muy baja.

BIBLIOGRAFIA

Álvarez, R. (2006). *Materia Orgánica, Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. 1era edición; Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. 256 p.

Álvarez, R. Aditividad en la respuesta de los cultivos extensivos a la fertilización con distintos nutrientes en la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* 43: 8-11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Ascheri, L. Fertilización fosfatada de trigo en suelos haplustoles del sudeste de Córdoba. *Informaciones Agronómicas* 34: 17-19. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Barbagelata, P. y Paparotti, O. 2000. Estrategias de fertilización fosforada en maíz en siembra directa. AAPRESID. Jornada de intercambio técnico de maíz, 15-18.

Barraco, M. y Díaz-Zorita, M. 2002. Efecto de la localización de fertilizantes fosfatados sobre la emergencia de cultivos de verano. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn (Chubut, Argentina).

Baumer R. 1996. Fertilización y sistemas de laboreo e implantación. Tercer Seminario de Actualización Técnica. Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras. Buenos Aires. CPIA-SRA.

Berardo, A. Manejo de la fertilización en una Agricultura sustentable. *Informaciones Agronómicas* 23: 23-25. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Boschetti, G.; Quintero, C. y Díaz-Zorita, M. 2003. Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. *Informaciones Agronómicas* 17: 6-9. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Cano, J.; Ernst, O. y García, F. Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay. *Informaciones Agronómicas* 32: 8-11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Chang, J.; De Clay, C.; Carlson y Clay S. 2002. The influence of different approaches for identifying N and P management zone boundaries. Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture, July 14-17th, Bloomington, Minnesota

Cruzate, G. y Casas, R. Extracción de nutrientes en la agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas* 44: 21-26. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

- Díaz-Zorita, M.; Duarte, G. y Grosso, G. 1998. Soil fertility distribution in livestock production systems with pastures directly grazed. Proceedings of the 4th Conference on Precision Agriculture, July 19-22, Minnesota, USA.
- Díaz-Zorita, M. y Duarte, G. 2005. Resumen ensayos en cultivos de soja campaña 2004-05. www.planetasoja.com
- Dibb, D. 2004. ¿Nos quedaremos sin fósforo? Informaciones Agronómicas 22: 1-3. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.
- Dowling, C. 1993. Tolerance of ten crop species to atmospheric ammonia during seed germination, radicle and coleoptiles growth. (Ed. NJ Barrow) Plant nutrition - from genetic engineering to field practice: Proceedings of the Twelfth international
- Dowling, C. 1996. The effect of soil ammonium concentration and osmotic pressure on seedling emergence. Proceedings 8th Australian Agronomy Conference, Toowoomba, 219-222.
- Echeverría, H. y García, F. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Ferraris, G. et al. Dosis y localización de fuentes fosforadas en trigo en el norte, centro y oeste de Buenos Aires campañas 2008 y 2009. Informaciones Agronómicas 46: 24-26. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.
- Ferraris, G.; Falconi, R.; Camozzi, M. y Chevallier, S. 2004. Efectos de fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre sobre secuencia cebada - soja en centro norte de la provincia de Bs. As. www.planetasoja.com
- García, F. y Berardo, A. 2006. Trigo. Pág. 233-253. En H Echeverría y F. García (eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- García, F.; Boxler, M.; Minteguiaga, J.; Pozzi, R.; Firpo, L.; Deza Martín, G. y Berardo, A. Resultados y conclusiones de los primeros seis años. 2000-2005. La red de Nutrición de la Región Sur de Santa Fe. 2006.
- García, F. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 29:13-16. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Gerster G.; Cordone, G. y Barcigaluppo, S. Trigo en la rotación. Crecimiento de raíces en suelos compactados. Informe de actualización técnica N° 1. Marzo 2006. INTA Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez.
- Gudelj, V.; Galarza, C.; Vallote, P.; Nieri, G. y Masiero, B. 2001. Fitotoxicidad por fertilización en la línea de siembra directa de trigo. Informaciones

Agronómicas del Cono Sur 10:12-13. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Havlin, J.; Beaton, J.; Tisdale, S. y Nelson, W. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall. p 38-85.

<http://www.infostat.com.ar/> Infostat. Software estadístico 2009, Córdoba

<http://www.ipni.net> IPNI Agosto, 2010.

Maddonni, G.; Vilariño, P. y García de Salomone, I. Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo. 2003, pág. 455-457.

Mead R, RN Curnow & AM Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415p.

Mortvedt, J.; Murphy, L. y Follet, R. 1999. Fertilizer technology and application. Meister Pub. Co. Willoughby, Ohio. USA.

Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September 1993, Perth, Western Australia. pp. 541-544.

Quintero, C. y Risso, L. Evolución del fósforo disponible en suelos agrícolas de Entre Ríos. Informaciones Agronómicas 21: 12-13. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Racca, R.; Pollino, D.; Dardanelli, J.; Basigalupo, D.; González, N.; Brenzoni, E.; Hein, N. y Balzarini, M. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la región pampeana. Proyecto Pronalfa. Ediciones INTA. 56 p.

Randall, G. y Hoefft, R. 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. J. Prod. Agric. 1:70-79.

Roberts, T. y Johnston, A. 2005. Tillage intensity, crop rotation, and fertilizer technology for sustainable wheat production north american experience. 7^a Conferencia Internacional de Trigo. Mar del Plata.

Roberts, T. y Harapiak, J. 1997. Fertilizer Management in direct seeding systems. En Better Crops with Plant Food Vol. 81 N° 2 (Ed. Donald L. Armstrong) pág. 18-20. (Potash and Phosphate Institute, Norcross, Georgia).

Romano, N. y Zinda, R. Contenido de fósforo extractable, pH y materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa. Informaciones Agronómicas 33: 1-6. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Ron, M. y Loewy, T. 2000. Effect of phosphorus placement on wheat yield and quality in south-western Buenos Aires. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 31 pp 2891-2900.

Rubio, G.; Gutierrez Boem, F. y Cabello, M. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? I. Cálculo a partir de propiedades básicas del suelo. *Informaciones Agronómicas* 23: 5-8. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Rubio, G.; Gutierrez Boem, F. y Cabello, M. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas sur y norte de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* 35: 6-10. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Sharpley, A. Manejo del fósforo en sistemas de producción agrícola ambientalmente sustentables: desafíos y oportunidades. *Informaciones Agronómicas* 46: 1-9. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Ventimiglia, L. y Carta, H. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *Informaciones Agronómicas* 28: 23-25. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Ventimiglia, L.; Carta, H., Rillo, S. y Richmond, P. 2004. Fertilización en trigo. “El pan nuestro de cada día”. *Informaciones Agronómicas* 22: 4-7. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Vivas, H. 1998. Localización del P, dosis y fuentes sobre el número de plantas de soja. Campaña 1996-97. Soja. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 86.

Vivas, H. 1995. Toxicidad de fertilizantes sobre plántulas de alfalfa. INTA EEA Rafaela. Información Técnica para Productores.

Vivas, H.; Albrecht, R.; Oliveira Ferreira, A. y Hotián, J. Fertilización compuesta (N-P-S) de trigo en una rotación: respuesta productiva y desarrollo radicular. *Informaciones Agronómicas* 38: 12-16. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

Wikipedia <http://es.wikipedia.org/> Noviembre 2009

Woodstock, L. y Tsao, H. 1986. Influence of ammonia vapours on the dry seeds of soybean, corn and peanut. *Crop Science* 26: 631-34.