

# Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina

SAINZ ROZAS, H.<sup>1,2</sup>; ECHEVERRIA, H.<sup>1</sup>; ANGELINI, H.<sup>1</sup>

## RESUMEN

La respuesta de los cultivos a la aplicación de fósforo (P) depende del nivel de disponible (P-Bray) en el suelo. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la distribución de la concentración de P-Bray en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina mediante la confección de mapas de P-Bray y la comparación de estos con los resultados de un relevamiento realizado en 1980. Otro objetivo fue comparar la eficiencia de predicción (EP) de dos métodos de interpolación: 1) el método inversa de la distancia ponderada (IDP) y 2) el Kriging ordinario (KO). Se trabajó con 34.328 muestras del estrato superficial del suelo (0-20 cm), provenientes de laboratorios privados y oficiales (INTA), extraídas en 2005 y 2006. Ambos métodos de interpolación produjeron mapas similares y valores de EP que oscilaron del 64 al 66%. Los niveles de P-Bray en suelos fueron inferiores o iguales a 15 mg kg<sup>-1</sup> en la provincia de Buenos Aires, este de La Pampa, sudeste de Córdoba y sur de Santa Fe (aproximadamente 15.227.000 ha), donde la disponibilidad de P podría limitar la producción de los cultivos en esta área. Por su parte, los suelos con concentraciones mayores a 15 mg kg<sup>-1</sup> ocuparon el 45% del área (aproximadamente 12.774.000 ha), los que se ubicaron principalmente en la región ExtraPampeana. La disminución de la concentración de P disponible en los últimos 25 años fue más importante hacia el oeste y norte que en el sur de la región Pampeana.

**Palabras clave:** fósforo Bray, relevamiento de suelo, nutrición de cultivos.

## ABSTRACT

*Crop response to applied phosphorus (P) depends on soil available P (P-Bray). The objectives of this work were to determine P-Bray distribution in agricultural soils of the within the pampean and out of the pampean region of Argentina, to map P-Bray concentration and to compare the current values with those of soil sampling carried out in 1980. Another objective was to compare the prediction efficiency (EP) of two interpolation methods: 1) inverse distance weighting (IDW) and 2) ordinary Kriging method (KO). This work was carried out with 34.328 soil samples of surface layer (0-20 cm), coming from private and official laboratories (INTA), collected in 2005 and 2006. The interpolation methods produced similar maps and EP values that ranged from 64 to 66%. Soil P-Bray levels were lower or equal to 15 mg kg<sup>-1</sup> in the Buenos Aires province, east of La Pampa, southeast of Córdoba and south of Santa Fe (approximately 15.227.000 ha), and therefore, P availability could limit crop production in this area. On the other hand, soils with available P concentrations higher than 15 mg kg<sup>-1</sup> occupied 45% of the area (approximately 12.774.000 ha), and these soils were located mainly out of the pampean region. The decrease of available P concentration in the last 25 years was more important in the west and north than in the south of the pampean region.*

**Keywords:** P-Bray, soil survey, crop nutrition.

<sup>1</sup>Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA - FCA UNMP. C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina.

<sup>2</sup>CONICET.

E-mail: fertibalc@balcarce.inta.gov.ar

## INTRODUCCIÓN

Las recomendaciones de fertilización fosfatada de los cultivos en la región Pampeana argentina se basan en el rendimiento objetivo y la concentración de P disponible en los primeros 20 cm de suelo (Echeverría y García, 1998). En Molisoles de la región Pampeana con pH sub-ácido a neutro, el método de extracción propuesto por Bray & Kurtz I (1945) (P-Bray) es el más difundido para determinar la disponibilidad de P (García *et al.*, 2007). En suelos del sudeste de Buenos Aires, la concentración de P-Bray en los primeros 20 cm correlacionó positivamente con la respuesta del trigo a P, con umbrales críticos que variaron de 15 a 18 mg kg<sup>-1</sup> suelo (Zamuner *et al.*, 2006). En la misma zona, se determinaron umbrales críticos de 15 a 16 mg kg<sup>-1</sup> para el cultivo de maíz (García *et al.*, 1997). Para el cultivo de soja, a nivel de región Pampeana, se determinaron umbrales críticos de P-Bray de 12 a 13 mg kg<sup>-1</sup> (Echeverría *et al.*, 2002), aún cuando el estudio abarcó suelos con diferente clase textural.

Los suelos de la región Pampeana Argentina presentaban en condición prístina niveles muy bajos (<10 mg kg<sup>-1</sup>) de P disponible en superficie en el este y sudeste de Buenos Aires, Entre Ríos y Corrientes; niveles medios (10-20 mg kg<sup>-1</sup>) en el este de Santa Fe, el sudeste de Córdoba y una franja norte-sur en el centro de Buenos Aires; y niveles altos (> 20 mg P kg<sup>-1</sup>) hacia el oeste de Santa Fe, centro y sur de Córdoba y noreste de la Pampa (Darwich, 1983). La continua remoción de P en los granos y la escasa reposición del P extraído (García, 2001), han resultado en la disminución del P disponible, y algunas áreas han pasado de rangos de valores promedio altos (> 20 mg kg<sup>-1</sup>) a medios (10-20 mg kg<sup>-1</sup>) o de rangos medios a bajos (<10 mg kg<sup>-1</sup>) (Montoya *et al.*, 1999; García, 2001).

La interpolación de variables edáficas ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos. La precisión y/o calidad del mapa aumenta cuando se incrementa la correlación espacial de los datos (Villatoro *et al.*, 2008), aunque también puede variar con el método de interpolación utilizado. Los más utilizados son el de la Inversa de la distancia ponderada (IDP) y el Kriging Ordinario (KO). La ventaja de este último es que no sólo determina las predicciones sino también su probabilidad asociada (Villatoro *et al.*, 2008). El método IDP es más rápido pero tiende a mostrar patrones poco reales no asociados a las propiedades estadísticas de los datos. A nivel de lote, tanto el IDP como el KO fueron confiables para predecir el nivel de P disponible (Villatoro *et al.*, 2008). Sin embargo, en la Argentina ambos métodos no han sido evaluados para predecir el nivel de P-Bray a nivel de región.

Considerando la importancia de este nutriente para los cultivos y que no se cuenta con información actualizada de su disponibilidad se plantearon como objetivos: 1.- comparar dos métodos de interpolación (IDP vs. KO), 2.- determinar la distribución de la concentración de P-Bray en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina a través de la confección de mapas y 3.- la comparación de éstos con los resultados de un relevamiento realizado hace 25 años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopiló información de reconocidos laboratorios privados y pertenecientes a Estaciones Experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria que aplican el protocolo de determinación de P-Bray, indicado en la norma IRAM-SAGPyA 29570-1 (en revisión), la que se basa en la metodología de extracción propuesta por Bray & Kurtz I (1945) y posterior determinación colorimétrica del fosfato por el método de Murphy & Riley (1962).

Las muestras correspondieron al estrato superficial de 0-20 cm y fueron extraídas durante las campañas 2005 y 2006 de suelos con capacidad de uso agrícola. La superficie relevada abarcó la mayor parte de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos, y algunos departamentos de La Pampa, Corrientes, Salta, Santiago del Estero y Tucumán. Se analizaron 34.328 muestras, proviniendo el mayor número de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba (tabla 1). Las muestras con valores de pH superiores a 7,5 fueron eliminadas del análisis debido a que la metodología de Bray & Kurtz I (1945) subestima el P disponible en suelos con pH alcalinos.

Se determinó el promedio, mediana, desvío estándar, valor mínimo, máximo y los percentiles a nivel de departamento, región y provincia. Se evaluó la normalidad de la distribución de los valores de P-Bray usando la prueba de Kolmogorov, incluida en la rutina del programa Statal Analysis System (SAS Institute, 1996). Para generar los mapas se utilizó el programa ESRI ArcMap (2009) con cartografía base correspondiente a la división política del país. Se generó un punto, latitud y longitud correspondiente al centro de cada partido o departamento, el cual se relacionó con el valor de mediana o promedio. Los métodos de interpolación utilizados para realizar el mapa de P-Bray fueron el de IDP y el KO, los que calculan los valores predichos según las ecuaciones descriptas por Schloeder *et al.* (2001).

La comparación de las predicciones de ambos métodos de interpolación se realizó mediante el análisis de los valores predichos versus observados, que se obtuvieron por validación cruzada, (consiste en retirar o remover un valor observado y estimarlo con los valores más cercanos para luego comparar el valor estimado con el removido) (Villatoro *et al.*, 2008). Los métodos de interpolación fueron también comparados utilizando la eficiencia de predicción (EP) para estimar qué tan efectiva fue respecto del uso del promedio general de los datos (Schloeder *et al.*, 2001). Un valor cercano a 100 indica predicción perfecta, mientras que valores bajos o negativos indican pobre estructura espacial (Kravchenko, 2003). La EP fue calculada según la siguiente ecuación:

$$EP = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [z(xi) - zpred.]^2}{\sum_{i=1}^n [z(xi) - zprom.]^2} \right) \times 100$$

Donde n es el número de observaciones, z xi es cada observación, zpred la observación predicha por el modelo y zprom es el promedio general de los datos.

Por otra parte el KO calcula el error estándar del valor predicho (EEVP) mediante la siguiente ecuación:

$$EEVP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VO - VP)_i^2}{n}}$$

Donde VO y VP son los valores observados y predichos, respectivamente, y n corresponde a la cantidad de puntos que el modelo ha tenido en cuenta para el cálculo del VP en esa posición.

Para responder al objetivo 2, se agruparon las medianas de P-Bray en los siguientes rangos: 0 a 10; 10,1 a 15; 15,1 a 20; 20,1 a 25 y de 25,1 a 100 mg kg<sup>-1</sup> de suelo, valores considerados muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, respectivamente. Este rango de valores permitió discriminar con más detalle los valores próximos a los umbrales de respuesta de los cultivos. Para responder al objetivo 3 se agruparon los valores promedio de P-Bray en los siguientes rangos: 0 a 10; 10,1 a 20 y de 20,1 a 100 mg kg<sup>-1</sup> de suelo, valores considerados bajo, medio y alto, respectivamente, según Darwich (1983).

Se estimó el área ocupada para cada rango de P-Bray considerando 28 x 10<sup>6</sup> ha como superficie sembrada para la campaña 2006-07 (Ramírez y Porstman, 2009) y se calculó la dosis promedio de P para cada rango de concentración según Echeverría y García (1998) para que el P no limite la producción de los cultivos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la distribución de los datos indica desviación de la normalidad ( $P < 0,05$ ), dado que la mayor parte de las muestras se encontró en el rango de concentración de P-Bray considerado muy bajo y bajo (0-10 mg kg<sup>-1</sup> y 10,1-15 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabla 1). No obstante, la existencia de

valores muy elevados de P-Bray produjo valores promedios mayores a la mediana, tanto a nivel de provincia como de región (tablas 1 y 2). El análisis de la distribución de valores de mediana de departamento y/o partido mostró desviación moderada de la normalidad ( $P < 0,08$ ). Sin embargo, la transformación de los datos por logaritmo natural no disminuyó el error de predicción del método KO ni el mapa generado por el mismo. Por lo tanto, todos los mapas se realizaron con los valores de mediana sin transformar. Estos resultados sugieren que el KO es robusto para desviaciones moderadas de la normalidad, lo que coincide con lo reportado por White *et al.* (1997).

Los mapas generados por el método del IDP y por el KO para la mediana de P-Bray fueron similares, aunque este último mostró superficies más suaves (fig. 1), comportamiento que ha sido reportado por otros autores (Villatoro *et al.*, 2008). La relación entre valores predichos y observados fue significativa ( $P < 0,05$ ) y se determinó un coeficiente de determinación ligeramente mayor para el KO ( $VO = 0,98 \times VP$ ;  $r^2 = 0,66$ ,  $n = 171$ ) que para el IDP ( $VO = 0,98 \times VP$ ;  $r^2 = 0,64$ ;  $n = 171$ ), donde VP y VO son los valores predichos y observados, respectivamente. La ordenada al origen y la pendiente de las relaciones no fueron diferentes ( $P > 0,05$ ) de 0 y 1, respectivamente. Los mayores errores de predicción del KO se determinaron en la zona norte de la provincia de Santa Fe, norte de Santiago del Estero y en algunas zonas de Salta (fig. 2), que puede ser atribuido a la baja cantidad de partidos relevados en dichas zonas (tabla 1). No obstante, la EP calculada para el IDP y el KO fue de 64 y 66%, respectivamente, valores considerados aceptables para la aplicación de métodos de interpolación (Villatoro *et al.*, 2008).

Los valores más bajos de P-Bray se determinaron en la provincia de Buenos Aires, este de La Pampa, sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y Entre Ríos, áreas que presentaron valores en el rango de muy bajo a bajo (fig. 1). Los valores de P-Bray registrados para este de La Pampa son similares a los reportados por Montoya *et al.* (1999) en un muestreo realizado en 1996. Si se asume que los umbrales

Provincia	NM	Promedio	DS	Mínimo	Máximo	Percentil		
						0,25	0,50	0,75
----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
Buenos Aires	22.025	13,3	10,8	1,0	132,0	6,9	10,4	16,0
La Pampa	1.221	16,8	10,9	1,6	95,5	9,2	14,3	21,2
Santa Fe	4.711	24,1	19,6	1,8	178,3	10,8	17,5	32,7
Córdoba	3.916	21,5	14,6	2,5	166,1	11,3	17,5	27,6
Sgo. del Estero	219	29,3	17,1	5,7	125,0	19,6	26,4	33,5
Entre Ríos	1.190	11,8	13,2	1,4	98,2	4,6	7,8	13,5
Salta	406	26,8	16,0	3,5	110,6	16,8	24,2	33,7
Tucumán	640	30,2	25,6	3,3	194,8	14,9	22,9	34,5

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos del P disponible (Bray & Kurtz, 1945) del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) en provincias de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina.

Fuente: laboratorio Tecnoagro, laboratorio Suelofertil (ACA Pergamino), laboratorio ISETA de Nueve de Julio, laboratorio Tecnosuelo NOA, laboratorio EEA INTA Oliveros, laboratorio EEA INTA Marcos Juárez, laboratorio EEA INTA Balcarce y laboratorio EEA INTA Anguil.

Provincia	NM	Promedio	DS	Mínimo	Máximo	Percentil		
						0,25	0,50	0,75
----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
Sur-sureste de Buenos Aires (1)	4.540	12,9	9,4	1,3	121,6	7,2	10,3	15,5
Oeste de Bs As (2)	7.519	13,6	9,3	1,5	108,1	7,7	11,4	16,8
Nor-Noreste de Bs As (3)	8.445	13,6	12,7	1,0	132,0	6,5	9,9	15,8
Sur de Sta Fe (4)	4.293	22,9	17,6	1,8	158,0	10,5	16,8	30,0
Sur de Córdoba (5)	2.641	19,2	12,9	2,5	166,1	10,5	15,6	23,9

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos del P disponible (Bray & Kurtz, 1945) del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) en algunas subregiones de la región Pampeana argentina.

1: Azul, Bahía Blanca, Balcarce, B. Juárez, Cnel. Dorrego, Cnel. Príngles; Cnel. Suárez, A. González Chávez, Gral. Alvarado, Gral. Lamadrid, Gral. Pueyrredón, Laprida, Lobería, Mar Chiquita, Necochea, Olavarría, Puán, San Cayetano, Tandil, Tornquist, Tres Arroyos.

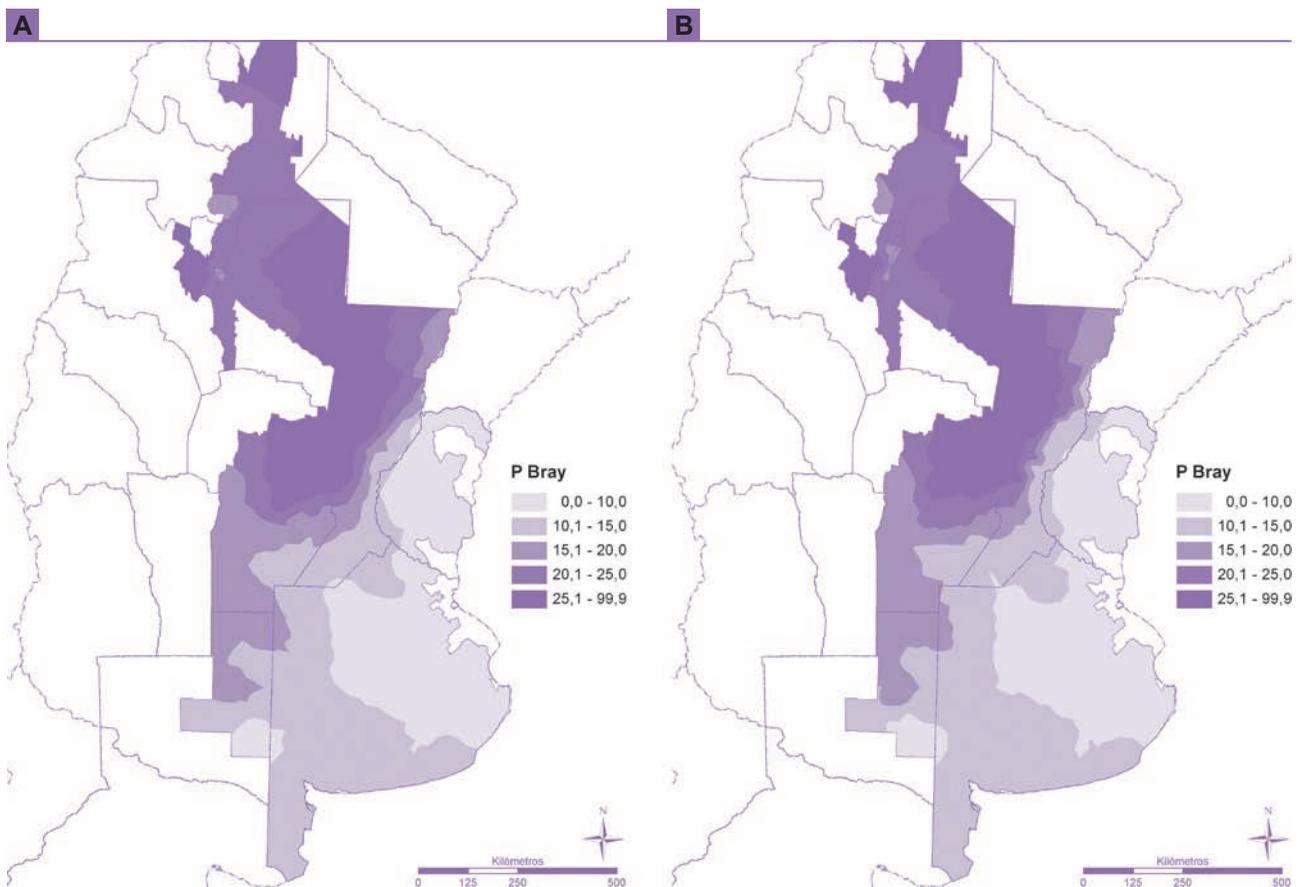
2: A. Alsina, Bolívar, C. Casares, C. Tejedor, Daireaux, Guaminí, Gral. Villegas, H. Irigoyen, 25 de Mayo, 9 de Julio, Rivadavia, Trenque Lauquen, Pellegrini.

3: Baradero, B. Mitre, Bragado, Cañuelas, Cap. Sarmiento, C. de Areco, Chacabuco, Chivilcoy, Colón, 25 de Mayo, Gral. Viamonte, Gral. Arenales, Junín, L.N. Alem,

Lincoln, Luján, Mercedes, Monte, Pergamino, Pilar, Ramallo, Rojas, Roque Pérez, Saladillo, Salto, S.A. de Giles, S.A. de Areco, San Nicolás, San Pedro, San Vicente, Suipacha, Zárate.

4: Caseros, Gral López, Gral. Belgrano, Castellanos, Constitución, Rosario, San Lorenzo, Iriondo, San Jerónimo, San Martín, San Justo, Las Colonias.

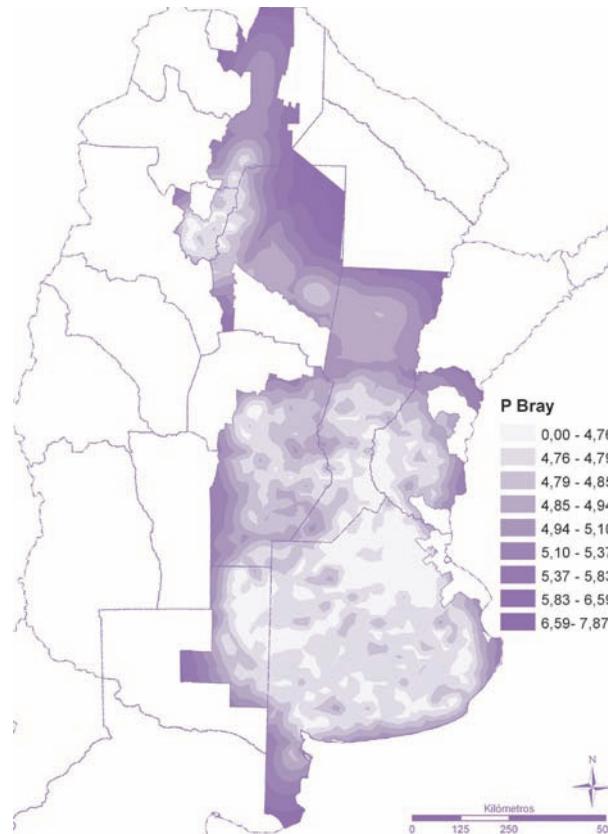
5: Gral. San Martín, Juárez Celman, Marcos Juárez, Roque Saenz Peña, Río Cuarto, Unión.



**Figura 1.** Rangos de valores de mediana de concentración ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de P-Bray (Bray & Kurtz, 1945) del horizonte superficial (0-20 cm) en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana. Interpolación realizada con el método de la inversa de la distancia ponderada y con Kriging ordinario (a y b).

críticos de P-Bray para soja y/o girasol, maíz y trigo son de 12 a 13, 15 a 16 y 18 a 20  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente (García *et al.*, 2007), estos resultados sugieren que el nivel actual

de P-Bray en los suelos de esta vasta región podría ser limitante para la producción de los cultivos. Esta situación se agravaría en algunas subregiones de la región Pampeana



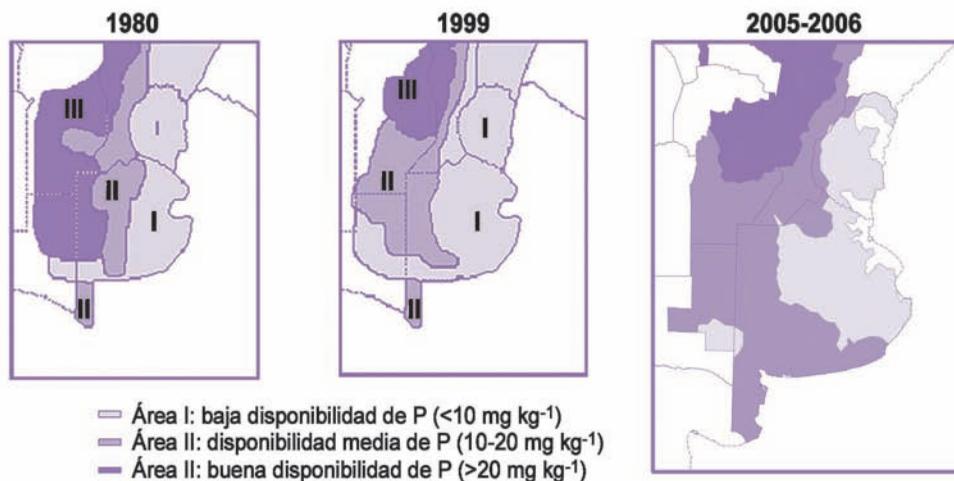
**Figura 2.** Rangos del error estándar del valor estimado de P-Bray ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por el método Kriging (error de predicción) en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana.

na como el sur, oeste y norte de Buenos Aires, donde el 75% de los lotes relevados presentaron valores de P-Bray menores a  $16,8 \text{ mg kg}^{-1}$  (tabla 2). Sin embargo, la disponibilidad de P no sería limitante para la producción agrícola en las provincias de Santiago del Estero, Tucumán y Salta, dado que la mayoría de los suelos de estas provincias presentaron niveles de P-Bray superiores a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  (fig. 1).

En un relevamiento realizado en 1980, se reportaron niveles de 10 a 20 y mayores a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de P-Bray hacia el oeste y norte de la región Pampeana e inferiores a  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  para el sudeste y noreste de Buenos Aires y para la provincia de Entre Ríos (Darwich, 1983). Estos resultados difieren de los actuales (fig. 3), dado que la mayor parte de los suelos del oeste de Buenos Aires, este de La Pampa, sur y sureste de Córdoba han disminuido notoriamente su concentración respecto del muestreo realizado en 1980, pasando de concentración alta ( $> 20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) al rango de concentración media ( $10\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Esta disminución se explicaría por el mayor uso agrícola de los suelos y por la baja reposición del P, la cual en promedio representa tan sólo el 40 al 50% del exportado (García, 2001). Esta caída también sería explicada por un aumento en la frecuencia del cultivo de soja en la rotación, debido al elevado requerimiento e índice de cosecha de esta especie (García, 2001). Además, los suelos del oeste de la región Pampeana se caracterizan por presentar bajos contenidos de MO y textura gruesa,

características que se asocian a un escaso poder de reposición de P (Tiessen *et al.*, 1984). En línea con estos resultados, en suelos de la región Pampeana Argentina, se determinó que la mineralización del P orgánico contribuyó positiva y significativamente al P disponible (Zubillaga & Giuffré, 1998). Por lo tanto, ante balances negativos de P, las mayores caídas en los niveles de P-Bray podrían ocurrir en suelos con textura más gruesa y con menores contenidos de MO. Sin embargo, en los suelos del sur y sudeste bonaerense, la concentración de P-Bray se ha mantenido o ha pasado de niveles bajos a medios de P-Bray (fig. 3), lo que puede ser atribuido a la amplia adopción de la práctica de fertilización y al uso de dosis de P más elevadas respecto de otras áreas con mayores niveles de P nativo (Echeverría y García, 1998).

De la superficie total cultivada en 2006-07 se estimó que el 54,4% presentó valores muy bajos a bajos y resto valores medios a altos (tabla 3). Según esta estimación sólo el 31% de los suelos destinados a la actividad agrícola no requerirían el aporte de P por fertilización, mientras que el resto de la superficie sembrada requeriría dosis de enriquecimiento y/o mantenimiento (tabla 3). Por lo tanto, para cubrir los requerimientos de P de los cultivos y aumentar gradualmente los contenidos de P-Bray se deberían aplicar aproximadamente  $424.220 \text{ Mg de P}$  ( $2,12 \times 10^8 \text{ Mg de P}$  de 0-46-0) (tabla 3), valor superior a las  $207.000 \text{ Mg de P}$  consumidos en el 2006



**Figura 3.** Rangos de concentración de P-Bray (Bray & Kurtz, 1945) en suelos de aptitud agrícola de la región Pampeana en 1980 (Darwich, 1983) y en 1999 (Darwich 1999, citado por García et al., 2007) y rangos de concentración de P-Bray en el muestreo realizado en 2005-06 (interpolado con el método Kriging).

Rango de concentración de P-Bray (mg kg <sup>-1</sup> )	Valoración agronómica	Superficie relevada (%)	(10 <sup>6</sup> has)	Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Cantidad de P a aplicar (Mg)
0 a 10	Muy bajo	28,3	7,916*	30	237.480**
10,1 a 15	Bajo	26,1	7,311	20	146,22
15,1 a 20	Medio	14,5	4,052	10	40,25
20,1 a 25	Alto	8,7	2,425	-	-
> 25	Muy alto	22,5	6,297	-	-

**Tabla 3.** Área estimada para cada rango de concentración de P disponible (Bray & Kurtz, 1945) y dosis de P estimadas (promedio para la mayoría de los cultivos) según Echeverría y García (1998) para que el P no limite la producción de los cultivos.

Epígrafe: \* Producto del área sembrada estimada en 2006-07 (28 x 10<sup>6</sup> has) reportada por Ramirez y Porstman (2009) y del porcentaje ocupado por cada rango.

\*\* Producto de área por dosis de P ha<sup>-1</sup>.

según García y Ciampitti (2007). Estos resultados sugieren que para algunas zonas y cultivos sería necesario incrementar las dosis de P a fin lograr una adecuada nutrición de los cultivos. No obstante, las mismas deben surgir de una adecuada evaluación del P disponible, condición indispensable para un uso racional de los fertilizantes.

## CONCLUSIONES

1. La mayor parte de los suelos del oeste, norte y sur de la región Pampeana presentan rangos de P-Bray de muy bajos a bajos, por lo que este nutriente podría ser limitante para la producción de los cultivos. Por el contrario, la mayoría de los suelos de la región ExtraPampeana presentan contenidos de P disponible altos o muy altos.
2. La disminución de los contenidos de P-Bray en los últimos 25 años ha sido más importante hacia el oeste y norte que al sur de la región Pampeana.

3. Los mapas generados por el IDP y de KO fueron similares, como así también los valores de EP obtenidos, por lo que cualquiera de los métodos de interpolación podría ser usado para generar mapas a escalas regionales.

## AGRADECIMIENTOS

A los que aportaron información sobre los análisis de suelos: José Lamelas y Luis Berasategui (Tecnoagro), Roberto Rotondaro (Suelofertil), Graciela Cordone (INTA Casilda), Carlos Galarza (INTA Marcos Juárez), Alfredo Bono (INTA Anguil), Juan Galantini (UNS), Luis Ventimiglia (INTA 9 de Julio), Sebastián Gambaudo (INTA Rafaela) y Laboratorio Tecnosuelo del NOA. A la responsable del Laboratorio de Geomática del INTA Balcarce, Karina Zelaya.

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto INTA AERN 295561 y AGR 319/10 de la UNMP.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci* (59), 360-361
- DARWICH, N.A. 1983. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. *IDIA* enero-abril: 1-5.
- ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* 149. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 18pp.
- ECHEVERRÍA, H.E.; FERRARIS, G.; Gerster, G; GUTIÉRREZ BOEM, F.H.; SALVAGIOTTI, F. 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la región Pampeana. Resultados de la red de ensayos del proyecto Fertilizar – INTA Campaña 2000/2001 y 2001/2002. *Fertilizar – INTA*. (<http://www.fertilizar.org.ar>).
- GARCÍA, F.O.; FABRIZZI, K.P.; RUFFO, M.; SCARABICCHI, P. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Buenos Aires. Tomo III: 137-143.
- GARCÍA, F.O. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región Pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* (9), 1-3.
- GARCÍA, F.O.; CIAMPITTI, I.A. 2007. Requerimientos nutricionales y balances de nutrientes. *Agromercado Temático*. Año 27. Bs. As., Argentina. 2-6 pp.
- GARCÍA, F.O.; PICONE, L.I.; BERARDO, A. 2007. Fósforo. En: ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 99-121.
- KRAVCHENCO, A. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American J.* (67), 1564-1571.
- MONTOYA, J.; BONO, A.; SUÁREZ, A, DARWICH, N.; BABINEC, F. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en los suelos del este de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ciencia del Suelo*. (17), 45-48.
- MURPHY, J; RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem.* (27), 31–36.
- RAMÍREZ, L.; PORSTMANN, J.C. 2008. Evolución de la frontera agrícola. Campañas 80/81-06/07. [Online]. *Revista Agromensajes de la Facultad*. (<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extensión/Agromensajes> verificado: febrero 2011).
- SAS Institute, 1996. The SAS System release 6.12 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- SCHLOEDER, C.A; ZIMMERMAN, N.E.; JACOBS, M.J. 2001. Comparison of methods for interpolating soils properties using limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (65), 470-479.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (48), 853-858.
- VILLATORO, M.; ENRÍQUEZ, C.; SANCHO, F. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense* (32), 95-105.
- WHITE, J.G.; WELCH, R.M.; NORVELL, W.A. 1997. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (61), 185-194.
- ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; ECHEVERRÍA, H.E. 2006. Comparison of phosphorus fertilization diagnostic methods for wheat under no-tillage. *Soil and Tillage Research* (89), 70-77.
- ZUBILLAGA, M.; GIUFFRÉ, L. 1998. Pathways of native and fertilizer phosphorus in Argentine soils. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 51: 101-105.