

EFFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO Y AGUA DE LOS SUELOS SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE FÓSFORO DEL MAÍZ

C.E. QUINTERO; A. GONZÁLEZ y NORMA G. BOSCHETTI¹

Recibido: 20/03/02

Aceptado: 15/08/02

RESUMEN

Se estudió el efecto de la disponibilidad de nitrógeno y agua sobre los requerimientos de fósforo del cultivo de maíz, en un experimento realizado en macetas. Se trabajó con 5 suelos en los que se generaron 5 niveles de disponibilidad de P, en tres condiciones: Seco, Húmedo y Húmedo más Nitrógeno. Se evaluó el P disponible por el método de Bray, el P en la solución del suelo, el rendimiento de materia seca del maíz, la concentración de P en las plantas y se estimó la cantidad de P absorbida por difusión y por flujo masal.

Se observó una marcada variación de los rendimientos en respuesta a la adición de P y a los distintos niveles de agua y nitrógeno. La menor disponibilidad de N y agua redujo los rendimientos potenciales entre un 15 y un 50%. La eficiencia en el uso de los recursos analizados fue superior cuando éstos se encontraron cerca del óptimo. Una expresión relativa del rendimiento permitió una mejor interpretación de los resultados. Los niveles críticos de P Bray, así como las dosis de P requeridas no variaron ante las distintas condiciones de disponibilidad de agua y nitrógeno. La interpretación del análisis de suelo, así como las dosis de recomendación fueron independientes del nivel de rendimiento potencial. La mayor disponibilidad de agua y N incrementó las cantidades de P absorbidas por las plantas, facilitando el flujo difusivo.

Palabras clave. Maíz, Fósforo, Nitrógeno, Riego, Fertilización, Análisis, Suelo.

EFFECT OF NITROGEN AND WATER AVAILABILITY OF SOILS ON PHOSPHOROUS REQUIREMENTS OF CORN

SUMMARY

The effect of nitrogen and water availability on the P requirements of corn was studied, in an experiment carried out in pots. We worked with 5 soils, 5 levels of P availability, under three conditions: Dry, Humid and Humid plus Nitrogen. The available P was evaluated by the Bray method, the P in the solution of soils, the yield of dry matter of the corn, the P concentration in the plants where evaluated too, and the quantity of P absorbed by diffusion and masal flow was estimated.

A wide variation of yields was observed in response to P addition and the different levels of water and nitrogen. The smallest availability in N and water reduced the potential yields between 15 and 50%. The efficiency in the use of the analyzed resource was superior when these were near the optimum. A relative expression of yield allowed a better interpretation of the results. P Bray critical levels, as well as the rates of P required didn't vary before the different conditions of water and nitrogen availability. The interpretation of the soil test P as well as the recommendation rates were independent of the potential yield level. The biggest availability of water and N increased the quantities of P absorbed by the plants, facilitating the diffusive flow.

Key words. Corn, Phosphorus, Nitrogen, Irrigation, Fertilization, Soil Test.

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. CC24 Paraná ER (3100). Te: 0343-4975075 <cquinter@arnet.com.ar>

INTRODUCCIÓN

Existen opiniones contradictorias con respecto al efecto de la disponibilidad de agua y de nitrógeno sobre los requerimientos de fósforo del cultivo de maíz. Algunos autores recomiendan el incremento de la dosis de fósforo en un 40% cuando se trata de un cultivo irrigado con respecto a un cultivo de secano. Basados en la ley del mínimo de Liebig, se sostiene que cuando hay buena disponibilidad de agua, cabe esperar mayor producción de biomasa y por ende un aumento en la cantidad demandada de P del suelo por parte del cultivo. Asimismo, se interpreta en forma diferente el análisis de suelo proponiendo un nivel crítico superior cuando el cultivo de maíz se encuentra regado (Lovera y Salas, 1997).

Por otra parte, el agua es fundamental como vehículo para la difusión de fósforo hasta las raíces de la planta, independientemente del nivel de este nutriente en el suelo. El fósforo disuelto en la solución del suelo es transportado, observándose una relación directa entre el coeficiente de difusión en la fase líquida y la humedad del suelo (Wild, 1981). Dunham y Nye (1976) sugieren que a un menor tenor de humedad corresponde una menor absorción de fósforo, siendo este efecto más importante que el transporte de fósforo hasta la superficie de las raíces. Sin embargo, hay antecedentes en soja que evidencian que incorporando dosis menores de fósforo, pero con un manejo adecuado del agua, se aseguran mejores condiciones para la difusión que incorporando grandes cantidades de éste con oscilaciones pronunciadas en el contenido de agua (Ruiz, *et al.*, 1988). De este modo, a mayor disponibilidad de agua, mayor difusión en el suelo de este nutriente y mejor absorción del fósforo por la planta, con la reducción consiguiente en los niveles críticos y en la dosis requerida de P.

Para Fontanetto y Darwich (1995) existe una proporción inversa entre la respuesta al fósforo y la disponibilidad de agua. A igual nivel de fósforo en el suelo, la mayor respuesta a la fertilización fosfata da se da en años más secos. A idénticas condiciones hídricas e igual manejo, el nivel de fósforo asimilable es el que determina la respuesta a la fertilización.

El objetivo de este trabajo consistió en aportar antecedentes para conocer si la interpretación del análisis de P disponible en el suelo y las recomendaciones de fertilización se deben realizar de manera diferente en condiciones de alta productividad de maíz. Se puso a prueba la hipótesis que sostiene que a mayores rendimientos los niveles críticos de P en

suelo son más altos y se incrementa el fertilizante requerido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en invernadero utilizando 5 suelos de amplia variabilidad en sus características fisicoquímicas provenientes de la provincia de Entre Ríos (Cuadro N° 1). Se adicionaron 5 dosis de P (0, 25, 50, 100, 200 mg/dm³), junto con 36 mg de N y 151 mg de K por dm³ de suelo, y se lo dejó reaccionar durante 42 días manteniendo la humedad del suelo a capacidad de campo. Pasado este tiempo se tomó una muestra de suelo para dosar el P disponible por el método de Bray y se procedió a la siembra de 3 semillas de maíz (*Zea mays*, híbrido simple) en macetas de 2 dm³ sin drenaje. Previamente a la siembra se realizó una fertilización completa excluido el N y P.

Para generar distintos niveles de rendimiento en cada suelo se acondicionaron tres situaciones, denominadas:

- : SECO: el suelo se mantuvo por debajo del 50% de agua útil con riegos diarios.
- ▲ : HÚMEDO: el suelo se mantuvo entre 50% y 100% de agua útil con riegos diarios.
- : HÚMEDO + NITRÓGENO: igual al anterior más dos fertilizaciones de 50 mg de N por dm³ (a los 15 y 30 días después de sembrado).

El cultivo se dejó crecer por 6 semanas momento en el que se cosechó toda la biomasa aérea producida, por corte a 1 cm sobre el nivel del suelo. Las plantas fueron secadas a estufas, molidas y pasadas por un tamiz de 1 mm. Para luego de una calcinación a 500 °C por 4 horas, dosar el P colorimétricamente.

Para estimar la cantidad de P que absorbieron las plantas por flujo masal, en primer lugar se cuantificó la concentración de P en la solución del suelo por medio de una extracción con CaCl₂ (Quintero, *et al.*, 1999). Luego se determinó la cantidad de agua transpirada por las plantas mediante pesadas y riegos diarios. Para minimizar las pérdidas de agua por evaporación se colocó una capa de gravas de dos centímetros de espesor sobre la superficie del suelo. De esta manera, conociendo la cantidad de agua absorbida y la concentración de P en la solución del suelo, se estimó la cantidad de P que tomaron las plantas por flujo masal y por diferencia con el P total absorbido se estimó la cantidad proveniente del flujo difusivo.

Se utilizó un diseño factorial en bloques con dos repeticiones (5x5x3x2). Se realizó un ANOVA y una comparación de medias por Tukey. A partir de ecuaciones de regresión ajustadas se determinó la cantidad de fertilizante y de P disponible que permitió alcanzar el 90% del rendimiento máximo en cada situación.

Cuadro N° 1. Características físico-químicas de los suelos utilizados.

Clasificación Gran grupo (1)	Are.	Arc.	CO	CC	PMP	CIC	S	pH	CMAF	EAF
	-----		g/kg		-----	cmol(c)/kg		-	mg/kg	L/mg
1-Hapludert	34	294	42	409	220	31,8	20,7	5,4	488	0,246
2-Hapludert	67	473	41,8	422	250	38,3	28	5,8	408	0,121
3-Epiacualf	33	433	32	422	225	29,4	25,9	6,6	391	0,106
4-Hapludol	767	128	12,4	108	66	10,2	7,1	5,4	224	0,069
5-Udifluent	911	39	3,8	47	41	3,6	2	5,9	134	0,082

(1) Soil taxonomy (USDA, 1998). Are.: Arena; Arc: Arcilla (Pipeta de Robinson). CO: Carbono orgánico (Walkley y Black). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto Marchitez permanente (Richard). CIC: Capacidad de intercambio catiónico; S: Suma de bases (Acetato de amonio 1 N). CMAF: Capacidad de adsorción de fósforo; EAF: Energía de adsorción de fósforo (Quintero *et al.*, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de materia seca variaron entre 2,8 y 34,1 g/maceta, en respuesta al agregado de P y la mayor disponibilidad de N y agua. Se observó un efecto significativo del fósforo, el tipo de suelo y la disponibilidad de N y agua sobre la productividad del maíz, sin interacción significativa entre los factores analizados (Cuadro N° 2).

Cuadro N°2. Cuadro de análisis de la varianza para la variable rendimiento de materia seca. CV 23,7%.

Fuente de variación	G.L.	F	Valor p
SUELO	4	107,6	<0,0001
FÓSFORO	4	53,1	<0,0001
NITRÓGENO - AGUA	2	28,4	<0,0001
FÓSFORO x NITRÓGENO - AGUA	8	1,2	0,3021

Los rendimientos máximos alcanzados en cada suelo se relacionaron directamente con las características del suelo que hacen a su fertilidad natural, como la CIC y la materia orgánica (Cuadro N° 3).

La Figura 1 muestra la relación existente entre los rendimientos absolutos observados y el P disponible así como la relación que se presenta cuando los valores son transformados a una expresión relativa del rendimiento. Los resultados coinciden con el concepto de «porcentaje de suficiencia» de Bray (1954), quien sostiene que un determinado valor de disponibilidad siempre producirá un definido porcentaje de rendimiento, independientemente del rendimiento potencial del sitio o condición.

La respuesta al agregado de fósforo en las distintas situaciones respondió a la ley de actividad constante o de Mitscherlich (de Wit, 1992) que es adecuada para elementos poco solubles como el fósforo. Parece inapropiado pensar que la ley del mínimo podría explicar el comportamiento observado en la Figura 2. El estrés por agua y nitrógeno

Cuadro N° 3. Rendimientos máximos alcanzados en cada suelo y para cada condición de humedad y disponibilidad de nitrógeno impuesta.

Tratamiento Suelo	Seco	Húmedo g/maceta	Húmedo + Nitrógeno
1-Hapludert	23,4	28,5	32,3
2-Hapludert	21,6	25,3	31,9
3-Epiacualf	12,8	12,4	15,7
4-Hapludol	12,4	16,4	19,9
5-Udifluent	6,5	8,5	9,8

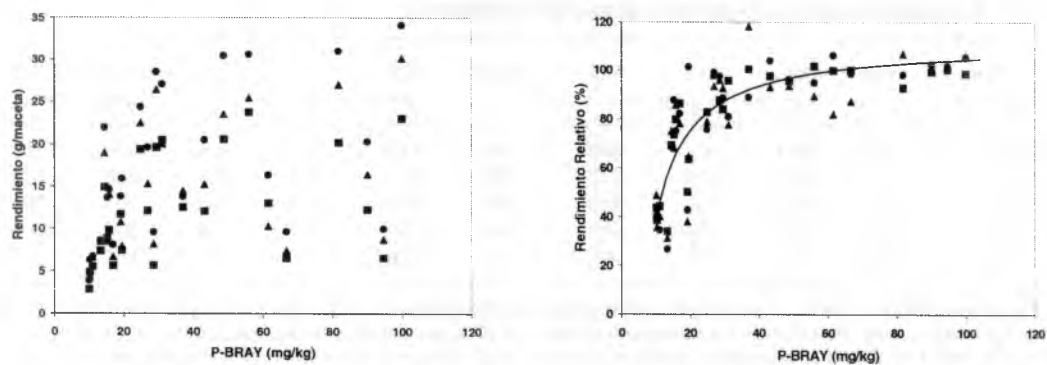


Figura 1. Relación entre el fósforo disponible y el rendimiento del maíz. ■: Seco; ▲: Húmedo; ●: Húmedo + Nitrógeno.

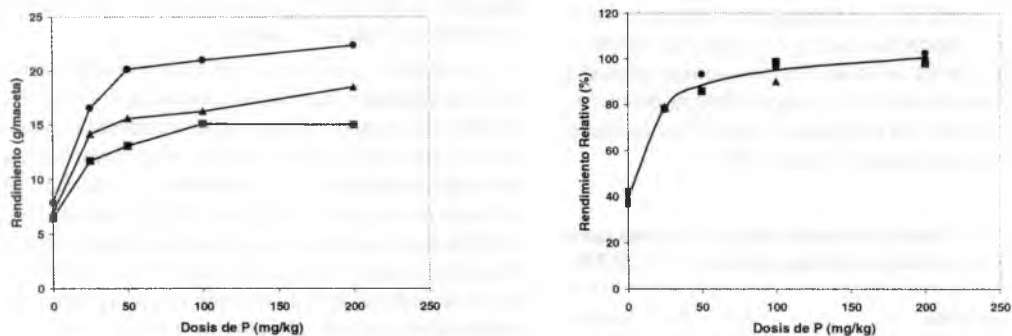


Figura 2. Relación entre la dosis de fósforo y el rendimiento promedio del maíz en cada situación. ■: Seco; ▲: Húmedo; ●: Húmedo + Nitrógeno.

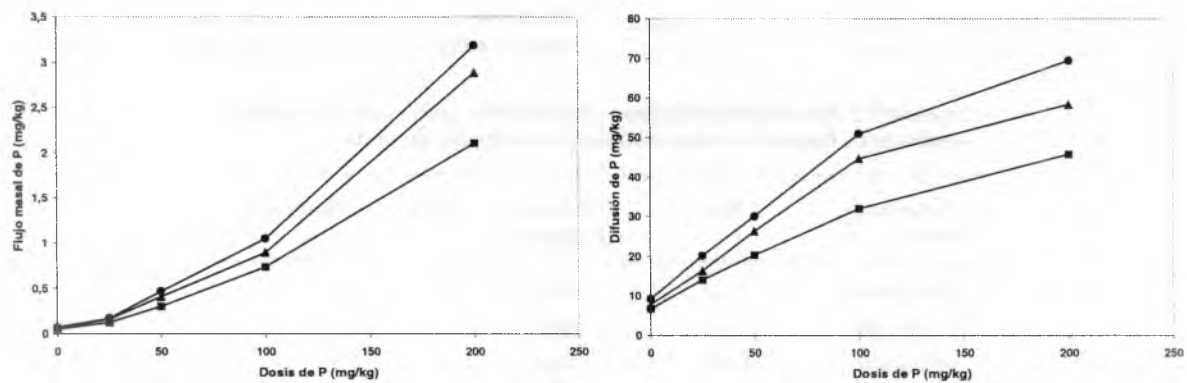


Figura 3. Relación entre la dosis de P y la cantidad de P absorbida por difusión y flujo masal. ■: Seco; ▲: Húmedo; ●: Húmedo + Nitrógeno.

redujo el rendimiento máximo del «plateau» entre un 15 y un 50% pero los requerimientos de P no difirieron significativamente, resultados similares fueron presentados por Bolland (1994).

El nivel crítico de P disponible por Bray estuvo en torno a los 30 mg/kg sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos impuestos. De manera similar, la dosis óptima requerida no presentó variaciones ni por el tipo de suelo ni por el nivel de rendimiento impuesto, rondando los 53 mg/kg.

La adición de fertilizante provocó un aumento de la concentración de P en la solución del suelo, que repercutió en un incremento del P absorbido por flujo masal. Sin embargo, la proporción de P que ingresó a la planta por este mecanismo fue inferior al 5% del total absorbido en todos los casos. El flujo difusivo se vio incrementado por el aumento del gradiente de concentración, por la mayor disponibilidad de agua y nitrógeno (Figura 3).

La ventaja de los experimentos en macetas radica en que permiten un simple y rápido estudio de diversos efectos que serían difíciles de analizar en

ensayos de campo. Sin embargo, la extrapolación de sus resultados a condiciones de campo debería hacerse con cuidado, dado que en las macetas el sistema radical está confinado a un volumen de suelo reducido.

CONCLUSIONES

A partir del experimento realizado se puede concluir que para el caso del fósforo, la interpretación de los índices químicos de disponibilidad como el de Bray es independiente del nivel de rendimiento potencial. La respuesta a la fertilización con P fue más alta en condiciones de mayor disponibilidad de agua y nitrógeno, mostrando una mayor eficiencia en el uso de los recursos cuando estos se encontraron cerca del óptimo. Sin embargo, la dosis que produjo el 90% del rendimiento máximo en cada condición fue la misma. Esto podría deberse a que las mejores condiciones de humedad y disponibilidad de nitrógeno facilitaron el flujo difusivo del fósforo en el suelo e incrementaron la superficie de absorción radical.

BIBLIOGRAFÍA

- BRAY, R.H. 1954. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.* 78: 9-22.
- BOLLAND, M.D.A. 1994. Effect of water supply on the response of wheat and triticale to applications of rock phosphate and superphosphate. *Fertilizer Research* 39:45-57.
- DUNHAM, R.J. and P.H. NYE. 1976 The influence of soil water content on the uptake of ions by roots. III. Phosphate, potassium, calcium and magnesium uptake and concentration gradient in soil. *J. Appl. Ecol., Oxford*, 13:967-984.
- FONTANETTO, H. y N. DARWICH. 1995. Efecto del método de aplicación del fósforo al maíz, a dos niveles de disponibilidad hídrica. *Ciencia del suelo* 13 (1) : 1-6.
- LOVERA, E. y H.P. SALAS. 1997. Guía práctica para el cultivo de maíz. INTA, SAGPyA. 220 pag.
- QUINTERO C.E.; N.G. BOSCHETTI y R.A. BENAVIDEZ. 1996. Estimación de la capacidad máxima de adsorción de fosfatos en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14(2):79-82.
- QUINTERO C.E.; N.G. BOSCHETTI and R.A. BENAVIDEZ. 1999. Phosphorus Retention in Some Soils of the Argentinian Mesopotamia. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 30(9&10):1449-1461.
- RUIZ, H.A.; B. FERNANDES; R.F. NOVAIS e V.H. ALVAREZ V. 1988. Efecto do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:43-48.
- USDA. 1998. Keys to Soil Taxonomy. Eighth Edition. United States Department of Agriculture. Soil Survey. 325 pag.
- WILD, A. 1981. Mass flow diffusion. In: Greenland, D.J.; Hayes, M.H.B., eds. The chemistry of soil processes. Chichester, Jhon Willey. p.37-80.
- de WIT, C.T. 1992. Resource Use Efficiency in Agriculture. *Agricultural Systems* 40:125-151.

INTRODUCCIÓN

En muchos trabajos ambientales y de conservación de suelos y en aquellos que relacionan producción de los cultivos y forrajeras con erosión hídrica, se requiere estimar las pérdidas de suelos. (Apezteguía, *et al.*, 1987; Marelli, 1990; Kinnell, 1993; Shaffer, *et al.*, 1995). Por otra parte, cuanto más preciso sea la determinación de la pérdida de suelo debido a la lluvia, más confiable será la transferencia de la investigación obtenida mediante ensayos (Lal Rattan, 1995; Shaffer, *et al.*, 1995; Rienzi y Genoves 1994; Smith, 1947). A tal fin es muy útil la EUPS (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos) propuesta por (Wischmeier y Smith, 1978); las modificaciones a la EUPS de (Gonzalez Del Tánago, 1991) y de (F.A.O. 1980), pero en todas ellas se requiere el valor de R. Aún cuando la EUPS no sea exacta (Risse, *et al.*, 1993; Renard, *et al.*, 1994) sigue siendo la metodología más utilizada para predecir pérdidas de suelo por erosión hídrica en la Argentina.

Si bien existe numerosa bibliografía de como estimar el valor R (Arnoldus, 1978; Díaz y Maseiro, 1984; Fournier, 1960; Yu y Rosewell, 1996; Mikhailova, *et al.*, 1997), en la Argentina no se desarrolló una forma de estimarlo cuando no existe ningún dato pluviográfico. En algunas localidades a menudo este dato es difícil de conseguir y es interpolado en forma gráfica de las curvas de isoerosividad publicadas por INTA (Codromaz de Rojas, y Conde, 1985; Codromaz de Rojas y Saluso, 1991). El factor de erosividad surge de las precipitaciones y su intensidad. Estas presentan una gran variabilidad tanto en el espacio como en el tiempo, como lo demuestran diversos autores (Ponce de León, 1987; Sierra *et al.*, 1995); es por ello que para disminuir los efectos de la variabilidad temporal, se utilizaron registros que fueran promedio de varios años y que además coincidieran con el período de registros que el INTA utilizó para la valoración de R.

Si bien existen numerosas localidades en la Argentina que poseen estaciones que registran datos meteorológicos, sólo en algunas de ellas se han realizado mediciones con pluviógrafo. Por otra parte, para la estimación de pérdida de suelos en la EUPS (ecuación universal de pérdida de suelos), el valor de R es imprescindible.

El objetivo de este trabajo fue encontrar las ecuaciones de predicción del valor de R, que pueden ser usadas en aquellas localidades de la Argentina que carecen de datos pluviográficos, para calcularlo en forma directa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las estadísticas climáticas varias del Servicio Meteorológico Nacional del período 1961-1990. A partir de datos sencillos y de los valores de R medidos en distintas localidades del país y publicados por el INTA (Codromaz de Rojas y Saluso, 1991; Scotta y Paporotti, 1989; Marelli, 1990), se determinaron cuales eran las variables que se relacionaban mejor con el factor R en las regiones húmedas y semiáridas del centro y norte de la Argentina. Para ello se consideraron las mismas variables que utilizaron otros autores en otras regiones del mundo, ya que ellas en muchos casos pueden relacionarse con la intensidad de la precipitación, con las clases de lluvias (ciclónicas o frontales, de relieve u orográficas y las llamadas lluvias convectivas) y el tipo de régimen (monzónico, mediterráneo, ecuatorial etc). Se consideró la P (precipitación promedio anual) obtenida a partir de estadísticas climáticas del período 1961-1990, y además se calculó el índice de Fournier, $\sum_{i=1}^{12} P_i^2/P$; precipitación media mensual en mm y P: precipitación media anual en mm. (Bergsma, 1981; Arnoldus, 1980; Fournier, 1960) para 44 localidades de la Argentina. Estas fueron ajustadas y relacionadas con los registros de R calculados por (Codromaz de Rojas y Saluso, 1991), quienes usaron la metodología propuesta por (Wischmeier y Smith, 1958, 1978) a partir de los registros de fajas pluviográficas.

Las localidades incluidas fueron:

Región Pampeana

Prov. de Buenos Aires: Junín, Pehuajó, Suárez, Pigüé, Barrow, Bordenabe, B. Blanca, Las Flores, Dolores, Pergamino, Azul, La Plata, P. Indio, El Palomar.

Prov. Córdoba: M. Juárez, Laboulaye, Bell Ville, Córdoba.

Prov. E. Ríos: Paraná Concordia, Gualeguaychú, Villaguay, Concepción del Uruguay, Federal.

Prov. Sta. Fe: Reconquista, Sauce Viejo, Ceres, Rafaela, Rosario.

Prov. de La Pampa: Gral Pico.

N.E.A.

Prov. Corrientes: Corrientes, Bella Vista, Mercedes.

Prov. Misiones: Iguazú, Cerro Azul, Posadas.

Prov. Formosa: Formosa, Las Lomitas

Prov. Chaco: Resistencia, Castelli, Villa Angela, Las Breñas, Colonia Benítez, P. Roque Sáenz Peña

Prov. Sgo. del Estero: Campo Gallo, La Banda.

Este análisis no incluye provincias de la Región Patagónica ni de la Región Cuyana, por no existir hasta la fecha registros de R medidos o estimados. Tampoco se