

Actualización del umbral de fósforo Bray para el cultivo de alfalfa en Entre Ríos (Argentina)

Juan M. Pautasso^{1*} y Pedro A. Barbagelata²

- En Entre Ríos se cultivan alrededor de 270 mil hectáreas de pasturas base alfalfa.
- La baja disponibilidad de fósforo (P) en suelo es una de las limitantes principales para poder maximizar la producción de pasturas en la provincia.
- El presente trabajo pretende recalibrar, para Entre Ríos, el umbral de P-Bray para el cultivo de alfalfa sobre suelos Molisoles.

Introducción

En Entre Ríos se cultivan alrededor de 270 mil hectáreas de pasturas base alfalfa (INDEC, 2002), siendo uno de los recursos forrajeros de menor costo por kilogramo de materia seca cuando se logran buenos niveles de producción (Centeno et al., 2016).

En la provincia de Entre Ríos, la baja disponibilidad de fósforo (P) es una de las limitantes principales para poder maximizar la producción de pasturas (Quintero, 2000; García et al., 2002). Si bien la fertilización fosfatada en pasturas es la tecnología conceptualmente más reconocida, la correcta aplicación de esta tecnología ha sido casi irrelevante (Agnusdei, 2012).

La respuesta al agregado de P depende de la disponibilidad de este nutriente en el suelo, medida en Argentina a través del P extractable Bray-1 (P Bray). Con este índice de disponibilidad de P se han desarrollado métodos de diagnóstico de fertilidad fosfatada en pasturas que señalan un nivel umbral o rango crítico de P Bray del suelo por debajo del cual existe una alta probabilidad de respuesta a la fertilización, en tanto por encima del mismo la probabilidad de respuesta es baja.

El muestreo de suelos es el primero de una serie de pasos dentro del proceso que lleva a la recomendación de fertilización. La utilidad del valor obtenido en el laboratorio dependerá de cuán representativa sea la muestra del lote a implantar y, además, que el procedimiento involucrado sea similar al realizado en el estudio que definió el umbral o nivel crítico, como la profundidad de muestreo y momento del año, entre otros puntos críticos (Carretero et al., 2016)

Para la provincia de Entre Ríos, Quintero et al. (1995) definieron un modelo continuo para recomendar la fertilización fosfatada en pasturas. Los autores establecieron clases de fertilidad muy baja (MB), baja (B), media (M), alta (A) y muy alta (MA). Los límites de clases propuestos son 4.9, 10.2, 14.9 y 23.1 mg kg⁻¹ de P Bray que corresponden a los niveles de rendimiento relativo del 50%, 70%, 80% y 90% del máximo. Estos autores usaron muestreos de suelos a una profundidad

de 0-10 cm. En el resto de la Pampa Húmeda se estima un umbral para alfalfa de alrededor de 25 mg kg⁻¹ de P Bray, tomando una profundidad de muestreo de 0-20 cm (Díaz Zorita y Gambaudo, 2007; Rubio et al., 2013).

El objetivo del presente trabajo fue validar para Entre Ríos, el umbral de P Bray para el cultivo de alfalfa a partir de la información de ensayos de fertilización fosfatada realizados sobre suelos Molisoles.

Materiales y métodos

Los datos corresponden a muestreos de ensayos de fertilización fosfatada en pasturas de alfalfa diseñados en bloques completos al azar con tres repeticiones. Todos los ensayos se realizaron sobre suelos pertenecientes al Orden Molisol. Más detalles de cada ensayo se muestran en la **Tabla 1**.

Las dosis agregadas fueron 0 y 60 kg P por hectárea como superfosfato triple de calcio (SFT, 0-20-0), excepto en los ensayos 2 y 3 que fueron de 0 y 20 kg de P ha⁻¹. El análisis de suelos se realizó antes de la aplicación del fertilizante químico, previo al momento de la siembra. El análisis se repitió al año de la implantación de las pasturas (sólo se mostrarán datos de dos ensayos con P Bray contrastante). La profundidad de muestreo fue de 0-20 cm.

Para medir la producción de materia seca (MS) por tratamiento y por corte, antes del aprovechamiento que realizó el productor, se cortó una superficie de 0.25 m² por parcela. Luego de pesar las muestras se secaron en estufa a 60 °C durante 48 horas.

Para el cálculo de los umbrales se usó la metodología propuesta por Dyson y Conyers (2013) modificada por Correndo et al. (2017), denominado método del arcoseno-logaritmo (ALCC), que considera variables aleatorias tanto al rendimiento relativo (RR, %) como al valor del análisis de suelo P Bray (mg kg⁻¹, 0-20 cm). El RR se calculó como el cociente porcentual entre el rendimiento del tratamiento sin fertilizar y el rendimiento máximo medio observado. Para poder comparar, con igual método, la información obtenida en el presente trabajo con las recomendaciones existentes en la provincia, se obtuvieron los puntos de

¹ AER INTA Diamante

² EEA INTA Paraná. Entre Ríos, Argentina

* Autor de contacto. Correo electrónico: pautasso.juan@inta.gob.ar

la gráfica de Quintero et al. (1995). Para establecer si las dos series de datos pueden combinarse y representarse como una sola población o dos poblaciones diferentes, se probó un test de F (Mead et al., 1993).

Resultados y discusión

Umbral de P Bray

En la **Figura 1** se muestran las relaciones entre el nivel P Bray del suelo y el rendimiento relativo de alfalfa obtenido en el presente trabajo y por Quintero et al. (1995).

Los modelos obtenidos entre P Bray y RR son estadísticamente diferentes para los datos de Quintero et al. (1995) y los medidos en nuestros ensayos (**Tabla 2**).

La diferencia entre los niveles críticos encontrada entre estos dos sets de datos seguramente se debe a las distintas profundidades de muestreo de suelos utilizadas en ambos estudios. Mientras que para los datos propios se utilizaron muestras a 0-20 cm de profundidad, Quintero et al. (1995) tomaron muestras a 0-10 cm. Teniendo en cuenta la reconocida estratificación del P en

Tabla 1. Características generales de los ensayos de respuesta a fósforo en pasturas realizados en Entre Ríos entre 2013 y 2016.

| Ensayos | Latitud | Longitud | Año implantación | Cortes medidos | P Bray mg kg ⁻¹ , 0-20 cm |
|---------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------------------------------|
| 1 | 31°59'56.87"S | 60°23'25.10"O | 2013 | 13 | 5.3 |
| 2 | 32° 0'12.74"S | 60°23'47.64"O | 2014 | 3 | 90.0 |
| 3 | 32° 0'8.12"S | 60°23'53.60"O | 2014 | 3 | 13.9 |
| 4 | 32°12'4.99"S | 60°17'51.09"O | 2015 | 9 | 4.2 |
| 5 | 31°57'11.15"S | 60°26'14.75"O | 2015 | 8 | 24.1 |
| 6 | 32°12'27.03"S | 60°22'28.38"O | 2016 | 2 | 10.3 |
| 7 | 32° 1'39.20"S | 60°32'36.13"O | 2016 | 2 | 121.3 |
| 8 | 31°57'1.04"S | 60°26'18.30"O | 2016 | 2 | 93.2 |

Tabla 2. Análisis de la variación del error entre el modelo completo y el combinado y de la significancia de la diferencia entre los dos modelos.

| | SCE | GL | CME | Valor F | Valor p |
|--------------------------------------|-------|-----|------|---------|---------|
| A - Datos propios (0-20 cm) | 21.02 | 40 | | | |
| B - Quintero et al. (1995) (0-10 cm) | 10.65 | 77 | | | |
| Modelo Completo (dos modelos) | 31.67 | 117 | 0.27 | | |
| Modelo Combinado (un modelo) | 37.84 | 119 | | | |
| Diferencia entre Modelos | 6.17 | 2 | 3.09 | 11.40 | 0.00003 |

SCE: Suma de cuadrados del error del modelo; GL: grados de libertad de la SCE; CME: Cuadrado medio del error del modelo completo y de la diferencia entre modelos.

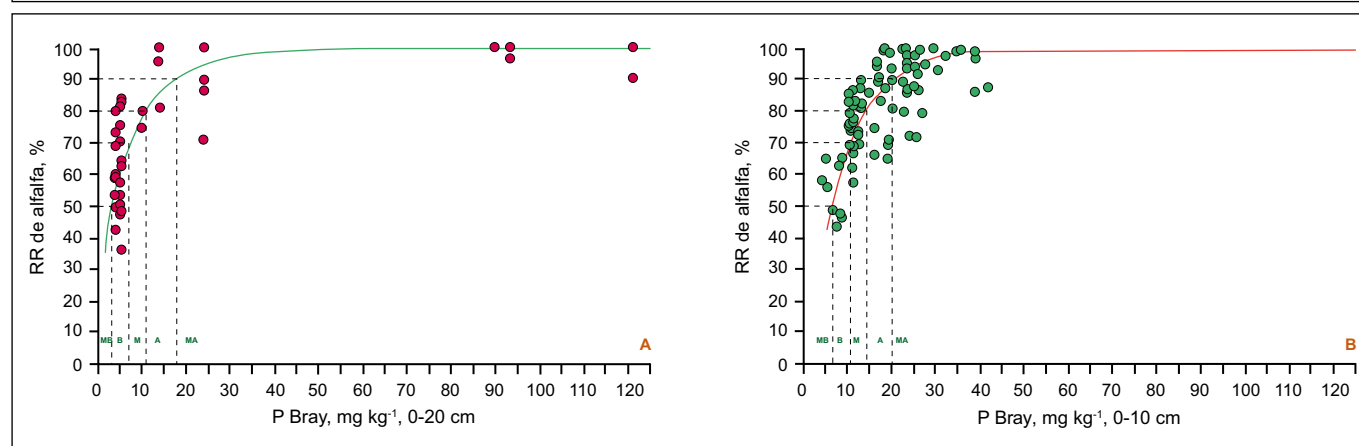


Figura 1. Relación entre el nivel de P Bray en el suelo y el rendimiento relativo (RR) de pasturas de alfalfa: A) Datos propios (n = 42; r = 0.80), cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones; B) Datos de Quintero et al. (1995) (n = 79; r = 0.72). Curvas de ajuste (líneas llenas) y clases de fertilidad (líneas punteadas) -muy baja (MB), baja (B), media (M), alta (A) y muy alta (MA)- según el método ALCC modificado.

Tabla 3. Niveles críticos (NC) de P Bray para el cultivo de alfalfa y sus respectivos intervalos de confianza (IC, $\alpha = 0.10$) para las distintas clases de fertilidad estimadas a partir de dos sets de datos: A) Datos propios con muestreo a 0-20 cm ($n = 42$; $r = 0.80$), B) Datos de Quintero et al. (1995) con muestreo a 0-10 cm ($n = 79$; $r = 0.72$).

| P Bray mg kg ⁻¹ | | RR % | | | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| | | 50 | 70 | 80 | 90 |
| A - Datos propios | NC | 3.2 | 6.9 | 10.6 | 18.1 |
| | IC _{90%} | (2.4-4.3) | (5.6-8.5) | (8.8-12.8) | (14.8-22.1) |
| B - Quintero et al. (1995) | NC | 6.8 | 11 | 14.4 | 20.2 |
| | IC _{90%} | (5.9-7.8) | (10.0-12.0) | (13.4-15.5) | (18.7-21.7) |

Tabla 4. Fósforo extractable (P Bray) y dosis de P para elevar una unidad de P Bray, según tratamiento al inicio y al año de la implantación del cultivo de alfalfa en dos sitios evaluados.

| P Bray inicial mg kg ⁻¹ | Tratamiento | P Bray al año mg kg ⁻¹ | Dosis para elevar 1 mg kg ⁻¹ kg P ha ⁻¹ |
|---------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--|
| 24.1 | Fertilizado | 36.4 | |
| | Testigo | 22.8 | 4.4 |
| 4.2 | Fertilizado | 5.9 | |
| | Testigo | 3.5 | 25.0 |

suelos, es esperable obtener niveles críticos mayores en muestreos de suelo más superficiales. Por otro lado, una posible explicación del menor umbral de P Bray obtenido en nuestro estudio respecto a lo informado para el resto de la Pampa Húmeda es que los Molisoles de Entre Ríos poseen un mayor porcentaje de arcilla en los horizontes superficiales. Melgar et al. (2011) informaron que la respuesta al agregado de P (y por lo tanto el cálculo del umbral) está condicionada por el contenido de arcilla de los suelos.

En la **Tabla 3** se informan los límites de las clases de fertilidad para ambos sets de datos y sus respectivos intervalos de confianza. Excepto para un RR del 90%, los límites ahora definidos son estadísticamente menores.

En la **Tabla 4** se informan los cambios en el P Bray del suelo (0-20 cm) al año de implantación para los tratamientos evaluados en dos sitios con P Bray contrastante con el agregado de 60 kg de P ha⁻¹.

A pesar de tratarse de dos suelos correspondientes al mismo subgrupo (Argiudol ácuico), la dosis necesaria para elevar una parte por millón el P Bray (denominada dosis equivalente), fue muy diferente entre ambos ensayos, requiriendo más cantidad de P para elevar una parte por millón en el suelo con bajo P Bray inicial. Rubio et al. (2008) calcularon el incremento en el P del suelo ante el agregado de fertilizante fosfatado e informan que el P Bray inicial del suelo y el contenido de arcilla del mismo influyen en la determinación de la dosis de P a agregar.

En la **Figura 2** se informan las producciones promedio por corte según los diferentes tratamientos. En un suelo donde la limitante principal fue el P (P Bray = 4.2 mg kg⁻¹),

la fertilización fosfatada incrementó un 70% la producción de MS de alfalfa por corte con respecto al tratamiento sin fertilización, llegando a niveles de producción similares a los logrados en un suelo bien provisto de P (P Bray 24.1 mg kg⁻¹), donde no se observó respuesta a la fertilización fosfatada.

Conclusiones

El umbral o nivel crítico de P Bray estimado para obtener el 90% del RR de alfalfa en Molisoles de Entre Ríos fue inferior (18.1 mg kg⁻¹) a lo informado previamente para la región (23 a 25 mg kg⁻¹). Asimismo, respecto de estudios previos en Entre Ríos, los niveles críticos de las

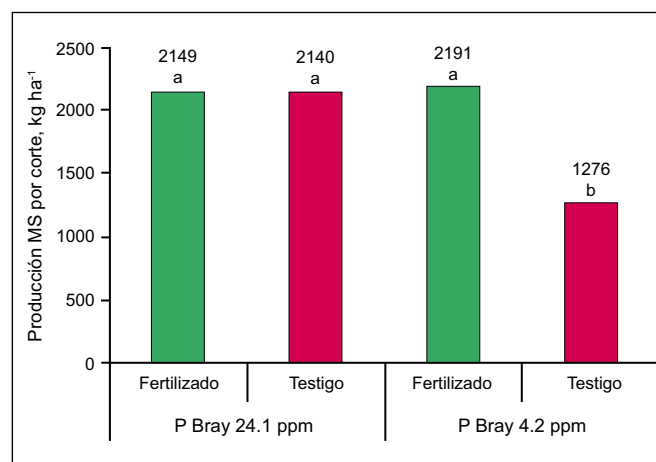


Figura 2. Producción de MS por corte de la pastura de alfalfa en función del agregado de 60 kg P ha⁻¹ para dos situaciones de disponibilidad inicial de P contrastantes. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Test Tukey; $p > 0.05$).

distintas clases de fertilidad de P Bray también resultaron inferiores en todos los casos. Por un lado, diferente profundidad de muestreo en estudios anteriores, y por otro lado, características inherentes a los suelos de la provincia (contenido y tipo de arcilla) pueden explicar estos resultados.

El P limita fuertemente la producción de alfalfa en la provincia de Entre Ríos. Sin una adecuada provisión de este nutriente mediante fertilización en suelos con bajo P Bray, el cultivo de alfalfa puede rendir la mitad que un cultivo fertilizado o que se siembra en suelos con buena disponibilidad de P.

Es necesario continuar con estos ensayos para incorporar mayor cantidad de datos, explorando rangos intermedios de P Bray para lograr un mejor ajuste de los modelos de fertilización fosfatada para alfalfa en Entre Ríos.

Agradecimientos

A Rubén Isaurralde, Silvestre Cabaña y Javier Kühn por la colaboración en los cortes de las pasturas. A los productores Ricardo Farall, Néstor Lell, Ángel Olivero y Germán Bierig por su predisposición a apoyar las actividades del INTA en sus establecimientos.

Bibliografía

Agnusdei, M. 2012. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. En Pasturas 2012: hacia una ganadería competitiva y sustentable. Jornada técnica. Síntesis de material de conferencias. Mar del Plata 23 de marzo 2012. pp. 13-28.

Carretero, C., P. Marasas, E. Souza, y A. Rocha. 2016. Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos. Archivo Agronómico N° 15. IPNI. Disponible [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/7712B35AB30A440303257F880046ABB5/\\$FILE/AA%2015.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/7712B35AB30A440303257F880046ABB5/$FILE/AA%2015.pdf) [Verificación: febrero de 2017].

Centeno, A., I. Esnaola, G. Almada, P. Engler, L. Gastaldi, y M. Suero. 2016. "La alimentación en el tambo y el impacto económico del nuevo escenario". Disponible http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_boletin_lecheria_sustentable_nro1_1.pdf [Verificación: febrero de 2017].

Correndo, A.A., F. Salvagiotti, y F.O. García, y F.H. Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analyzing soil test value–relative yield relationships. *Crop & Pasture Science* 68(3):297-304, doi:10.1071/CP16444.

Díaz-Zorita, M., y S. Gambaudo. 2007. Capítulo 11: Fertilización y enclado en alfalfa. En *El Cultivo de la Alfalfa en Argentina*. Basigalup (Editor). INTA Manfredi. ISBN 978-987-521-242-8. pp. 227-246. Disponible http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el_cultivo_de_la_alfalfa_en_la_argentina.pdf [Verificación: febrero de 2017].

Dyson, C.B., y M.K. Conyers. 2013. Methodology for online biometric analysis of soil test-crop response datasets. *Crop & Pasture Science* 64, 435-441.

García, F.O., F. Micucci, G. Rubio, M. Ruffo, e I. Deverede. 2002. Fertilización de forrajeras en la región pampeana. Edición INPOFOS. ISBN 987-20486-0-6. 72 p.

INDEC. 2002. Encuesta Nacional agropecuaria 2002. Ministerio de Economía, obras y servicios públicos. Buenos Aires, Argentina.

Mead, R., R.N. Curnow, y A.M. Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415 p.

Melgar, R., G. Vitti, y V. De Melo Benites. 2011. Fertilizando para altos rendimientos. Soja en Latinoamérica. IIP Boletín No 20. Instituto Internacional de la Potasa. ISBN 978-3-9523243-7-0. DOI 10.3235/978-3-9523243-7-0. 180 p.

Quintero, C., N. Boschetti, y R. Benavidez. 1995. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos. *Ciencia del Suelo* 13:60-65. Disponible http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_13n2/Quintero.pdf [Verificación: febrero de 2017].

Quintero, C. 2000. Estado de fertilidad de los suelos de Entre Ríos. Principales Limitaciones. En: *Revista Facultad de Agronomía*. UBA, 20:15-19.

Rubio, G., M.J. Cabello, F.H. Gutiérrez-Boem, y E. Munaro. 2008. Estimating available soil P increases after P additions in Mollisols. *Soil Science Soc. Amer. J.* 72:1721-1727.

Rubio, G., F. Micucci, y F.O. García. 2013. Capítulo 14: Ciclado de nutrientes y fertilización de pasturas. En *Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la región pampeana*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. ISBN 978-987-27793-7-5. pp. 263-292.