



## OptiFert-P: niveles críticos y equivalente de fertilizante de fósforo en suelo para *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*

Robin Cuadro<sup>1</sup>, Andres Quincke<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>INIA Tacuarembó; <sup>2</sup>INIA La Estanzuela.

La competitividad de la producción de carne de Uruguay se basa en gran medida en la rentabilidad del sistema pastoril. Con frecuencia se entiende necesario complementar la productividad de las gramíneas con especies leguminosas forrajeras para aumentar la producción de forraje, tanto en cantidad como en calidad, y así lograr intensificar la producción pecuaria (Milot et al., 1987). Sin embargo, los suelos de nuestro país son naturalmente deficientes en su capacidad de suministro de fósforo (P) (Morón, 2008; Barbazán et al., 2007).

Las buenas prácticas de fertilización en Uruguay se rigen ampliamente por el criterio de “suficiencia”. Esto implica valorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de un análisis de laboratorio, y definir una dosis que permita alcanzar una disponibilidad total suficiente para la pastura. Una primera síntesis de la información generada sobre fertilización de pasturas en el país fue la “Guía de Fertilización de Pasturas” (Castro et al., 1981). La experimentación en el tema continuó una larga trayectoria (Morón, 2007; Bordoli, 1998), la cual llevó a concluir sobre la necesidad de disponer de una versión actualizada de la guía de recomendaciones para el adecuado manejo de la fertilización fosfatada de pasturas a nivel del país.

OptiFert-P es un sistema de soporte para la recomendación de fertilización fosfatada de pasturas, que contempla la variabilidad de suelos que caracteriza a nuestro país, así como también otras particularidades agronómicas relevantes. Las principales características del OptiFert-P son:

- ✓ Fácil acceso: el acceso al sistema es a través de internet, y es fácil, amigable y gratuito (“sistema on-line”);
- ✓ Suelo-específico: las respuestas del sistema contemplan particularidades agronómicas relevantes, como el tipo de suelo según grupo CONEAT (MGAP, 1994), la fertilidad actual (el resultado del análisis de suelo), historia de fertilización y tipo de pastura;
- ✓ Bases científicas: las respuestas del sistema están basadas en resultados de la investigación y experimentación científica;
- ✓ Actualización continua: la base de información puede y debe ser actualizable y mejorable, conforme se producen nuevos resultados relevantes y pertinentes.



**Figura 1.** OptiFert-P es una herramienta accesible, específica y robusta desarrollada por el equipo de Pasturas y Forrajes de INIA y disponible vía web. Permite definir la dosis de fertilización fosfatada para las pasturas sembradas. <https://pasturas.inia.org.uy/fertilidad/gui/>

### **Base experimental**

Entre los años 2008 y 2012 se llevó a cabo una red de experimentos de fertilización fosfatada de pasturas, ubicados sobre diversos suelos de las principales zonas pecuarias del país, los cuáles fueron instalados y manejados con un protocolo común de evaluaciones.

Se evaluaron dos tipos de fertilizantes (fuente soluble y roca fosfórica) sobre dos especies (*Trifolium repens* (trébol blanco) y *Lotus corniculatus*) y tres métodos de extracción de P (Bray-1, resinas catiónicas y ácido cítrico) como indicadores de disponibilidad de P en suelo. Los principales resultados de interés fueron obtener los niveles críticos y el equivalente fertilizante (EF) para los métodos de análisis de P extractable según tipo de suelo y fuente de P.

A partir de la información experimental de los 14 sitios estudiados, se generaron ecuaciones de pedotransferencia para estimar los niveles críticos y el equivalente fertilizante de otras unidades de mapeo del sistema CONEAT. Dichas ecuaciones se basan en propiedades fisicoquímicas del suelo como variables regresoras o explicativas, llegando de esa manera a comprender, aproximadamente, el 65% del territorio nacional. Fueron calculados todos los modelos posibles, seleccionándose aquellos que contenían el menor número de variables, mayor  $R^2$  ajustado y menor cuadrado medio del error.

### **Bases del sistema OptiFert-P para orientar recomendaciones de fertilización fosfatada de pasturas**

El funcionamiento general del sistema está resumido en la Figura 2. El usuario deberá ingresar información del grupo CONEAT, nivel actual de P en el suelo (especificando el método de análisis y profundidad de muestreo) y la pastura a fertilizar. También se requiere indicar tipo de fertilizante fosfatado empleado en la historia reciente (fuentes solubles o roca fosfórica), pues esto condiciona la interpretación de los análisis de suelos. La información de salida es una sugerencia de dosis (expresada en kg de  $P_2O_5$ /ha), una medida de la eficiencia de la fosforita natural (respecto a la fuente soluble), y una medida de la eficiencia de respuesta (expresada como los kg de materia seca producidos por cada kg de  $P_2O_5$  aplicado). Además, en caso de que corresponda, el sistema dará una advertencia de posibles excesos de P en el suelo.



**Figura 2.** Diagrama del funcionamiento general del sistema de soporte para la recomendación de fertilización fosfatada en pasturas.

## Resultados

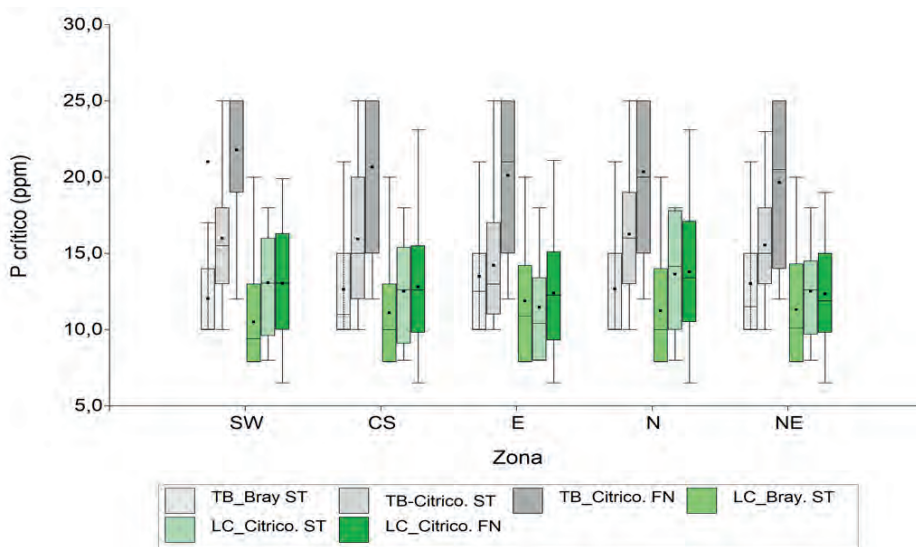
Como resultado de las estimaciones directas del nivel crítico de P en suelo y las realizadas través de las ecuaciones de pedotransferencia, se llegó a una estimación para el 65% de los suelos CONEAT (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Cantidad de grupos CONEAT y área comprendidos por el sistema OptiFert-P: extrapolación con “funciones de pedotransferencia”.

|   | Cantidad de grupos CONEAT | Área (miles de ha) | % del área |
|---|---------------------------|--------------------|------------|
| Representados por la red experimental       | 20                        | 5.096              | 30         |
| Extrapolados en base a propiedades químicas | 93                        | 6.074              | 35         |
| <i>Subtotal</i>                             | <i>113</i>                | <i>11.170</i>      | <i>65</i>  |
| No incluidos*                               | 75                        | 6.074              | 35         |
| <i>Total</i>                                | <i>188</i>                | <i>17.244</i>      | <i>100</i> |

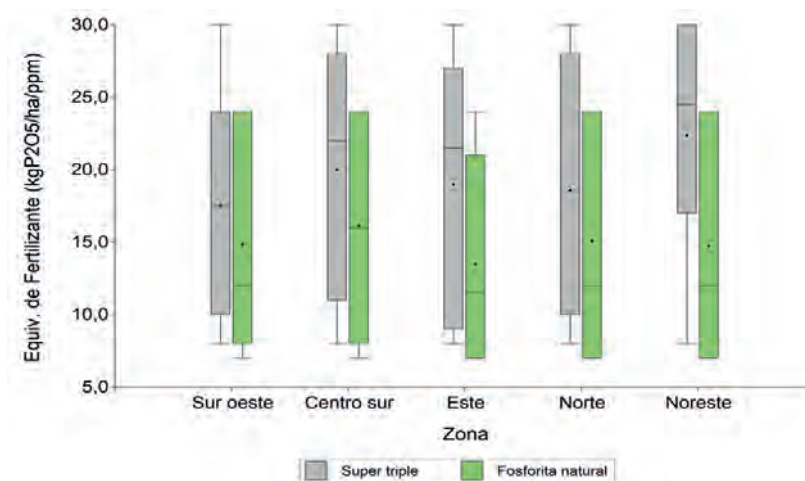
\*áreas de bañados, bajos inundables, suelos superficiales, arenosos.

A modo ilustrativo, mediante un gráfico de cajas, se presenta el promedio y el rango de variación de los valores de P crítico para trébol blanco y *Lotus corniculatus* (Figura 3) para las distintas zonas geográficas del país y según la historia de fertilización (fertilizantes solubles o fosforita) y el método de análisis de P extractable (P-Bray o P-cítrico). Similarmente, se presenta el promedio y el rango de variación del equivalente fertilizante (Figura 4) para las distintas zonas geográficas y según tipo de fertilizante. El rango de variación representado con las cajas es debido a la amplia variación de grupos CONEAT dentro de cada zona geográfica.




**Figura 3.** Nivel crítico de fósforo (P; ppm), por zona geográfica, para trébol blanco (TB) y *Lotus corniculatus* (LC), considerando los métodos analíticos ácido cítrico (Cítrico) y Bray I (Bray), para super triple (ST) y fosforita natural (FN).

\* Zonas geográficas de Uruguay. Sur oeste: Colonia, Río Negro, Soriano; Centro sur: Flores, Florida, Durazno, San José, Canelones, Montevideo; Este: Treinta y Tres, Rocha, Lavalleja, Maldonado; Norte: Artigas, Salto, Paysandú; Noreste: Tacuarembó, Rivera, Cerro Largo.



**Figura 4.** Equivalente fertilizante, por zona geográfica, para super triple (ST) y fosforita natural (FN), para el método de P ácido cítrico.

\* Zonas geográficas de Uruguay. Sur oeste: Colonia, Río Negro, Soriano; Centro sur: Flores, Florida, Durazno, San José, Canelones, Montevideo; Este: Treinta y Tres, Rocha, Lavalleja, Maldonado; Norte: Artigas, Salto, Paysandú; Noreste: Tacuarembó, Rivera, Cerro Largo.



Los niveles críticos de P en suelo para, para trébol blanco (TB) y *Lotus corniculatus* (LC), presentaron una gran variabilidad dentro de cada zona. En general los niveles críticos para TB son más altos y con un rango mayor que los de LC. La generalización, a través del uso de un valor promedio por zona, llevaría a tener menor precisión en el ajuste de las fertilizaciones con relación a la demanda de la pastura, que se explican por la gran variabilidad de suelos. A su vez, la historia de fertilización con fosforita natural implica usar los niveles críticos de P para los resultados de análisis mediante el método ácido cítrico, debido a que es el método analítico que mejor determina los niveles de P extractable en suelo, cuando venimos usando fuentes poco solubles en las fertilizaciones. En cuanto a los valores de EF, la situación es similar a la descrita para los niveles críticos.

### **Consideraciones finales**

La variabilidad en los valores de P crítico y de equivalente fertilizante, dentro de cada una de las zonas evaluadas, es alta y mayor a la encontrada entre zonas. Esta realidad ratifica la importancia de ajustar las fertilizaciones fosfatadas para *Lotus corniculatus* y trébol blanco por tipo de suelo, lo que permite un manejo de la fertilidad más ajustada al potencial de producción de acuerdo con el ambiente donde se encuentren implantadas. El ajuste de la fertilización fosfatada en base a indicadores objetivos contribuye a mitigar los problemas de concentración excesiva de fósforo en el suelo, disminuyendo los riesgos de contaminación de aguas debido a dicho nutriente.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece, especialmente, a todo el equipo técnico y de apoyo de INIA que estuvo involucrado en la recolección y análisis de la información y al técnico en informática Peter Fernández, por la participación en el armado del sistema de soporte informático y diagramación de la página web para el funcionamiento del Optifert-P.