



Limitaciones de Fertilidad del Suelo para Praderas y Cultivos Forrajeros en la Zona Sur

Autores: Erika Vistoso Gacitúa / Josué Martínez-Lagos / INIA Remehue

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INFORMATIVO N° 225 - AÑO 2020

Introducción

La producción primaria de praderas requiere de cantidades variables y disponibles de recursos ambientales (luz solar, dióxido de carbono, agua y nutrientes esenciales) para que las plantas expresen su máximo potencial productivo. Las especies pratenses requieren 16 nutrientes esenciales (Cuadro 1), los cuales deben estar disponibles en cantidades adecuadas y balanceadas para optimizar el crecimiento, desarrollo y producción de las praderas y cultivos forrajeros. Los macronutrientes son requeridos en grandes cantidades y constituyen gran parte del tejido vegetal y animal, en cambio, los micronutrientes se requieren en pequeñas cantidades y forman partes del sistema enzimático de plantas y animales.

A través del tiempo, la producción de praderas y cultivos forrajeros extraen gran cantidad de nutrientes esenciales a través de los productos generados (forraje, leche, carne, lana, etc.) y, por las pérdidas que en forma natural se producen en los suelos, los cuales deben ser suplidos con la fertilización del suelo para obtener un balance y un adecuado reservorio de nutrientes en la matriz del suelo.

Limitaciones en la fertilidad del suelo

El P, K y S son los macronutrientes esenciales más limitantes de la fertilidad de los suelos en las Regiones de Los Ríos y Los Lagos; debido a que las plantas los requieren en mayor proporción, manifestándose su carencia antes que la de otros nutrientes esenciales. El Ca, el Mg y los otros

micronutrientes se requieren en menor cantidad pero son necesarios para mantener la fertilidad y el balance en el suelo.

Las principales limitaciones de fertilidad en los suelos Trumaos, Rojos Arcillosos y Ñadis, presentes en dichas regiones, están reguladas por sus condiciones de acidez natural (la cual implica bajo contenido de bases intercambiables, alto contenido de aluminio intercambiable y, por ende, alta saturación de aluminio) y alta capacidad de adsorción de P. Dichas limitaciones reducen la eficiencia de uso de los fertilizantes solubles, especialmente la de los fertilizantes fosforados. Además, la acidez natural de estos suelos genera fitotoxicidad por aluminio que produce efectos detrimentales en el establecimiento y producción de las especies pratenses y otros cultivos forrajeros, disminuyendo la actividad microbiana que mineraliza la materia orgánica que aporta nutrientes esenciales al suelo. Por ello, se debe corregir en primer lugar la acidez (tal como se indica en el Informativo Técnico INIA N° 220) y, posteriormente la deficiencia de P, K, S y micronutrientes como el B.

Los nutrientes extraídos por las praderas/cultivos forrajeros y/o que son perdidos en forma natural (ejemplo: P por escurrimiento, y/o K y S por lixiviación o drenaje libre del suelo), deben ser suplidos con prácticas de manejo como la fertilización (inorgánica u orgánica). Para ello, la aplicación de enmiendas calcáreas y fertilizantes, junto con el reciclaje de nutrientes a través de la deposición de fecas durante el pastoreo (en el caso de la producción animal), pueden ir generando y acumulando nuevas cantidades de nutrientes esenciales en el suelo, siendo

Cuadro 1. Nutrientes esenciales para las plantas.

Fuente	Suelo	Agua
Macronutrientes	Nitrógeno, N; Fósforo, P; Potasio, K; Azufre, S; Calcio, Ca; Magnesio, Mg	Carbono, C; Hidrógeno, H; Oxígeno, O
Macronutrientes	Boro, B; Molibdeno, Mo; Hierro, Fe; Manganeso, Mn; Cobre, Cu; Zinc, Zn; Cloro, Cl	

Fuente: Elaboración propia.

uno de los factores clave para desplazar la curva anual de producción de la pradera o cultivo forrajero desde una condición de baja fertilidad a otra de mediana o alta fertilidad de suelo. De este modo, un aumento en la curva de producción de la pradera, en un suelo de alta fertilidad, significa que el productor agropecuario puede generar un stock de forraje para ser usado en los periodos críticos, que por condiciones climáticas adversas (por ejemplo, en verano: alta temperatura y déficit hídrico, o en invierno: baja temperatura y alta humedad) pueden disminuir la producción de forraje.

En la producción de praderas, el monitoreo y diagnóstico del nivel de fertilidad del suelo, a través del análisis químico, permitirá al productor agropecuario conocer el nivel de suministro de nutrientes esenciales del suelo (deficiente, medio, adecuado) y seleccionar el tipo de fertilización a aplicar (fertilización de corrección o mantención). Además, debe considerar la fuerte competencia entre las bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), tanto en el suelo como en la planta, por ello, el cálculo de las dosis de fertilización se debe basar en las relaciones adecuadas entre ellas (Ca/Mg: 5, K/Mg: 0,3 y Na/Mg: 0,1) más que en valores individuales. La Ley del Mínimo de Liebig, indica que la deficiencia de un solo nutriente esencial limitará la producción, incluso si el nivel de disponibilidad de los demás nutrientes esenciales es adecuado (Cuadro 2). Por ello, la fertilización debe tener un adecuado balance entre macronutrientes y micronutrientes.

Cuadro 2. Niveles de disponibilidad de nutrientes esenciales en praderas (0-10 cm).

Parámetro	Disponibilidad de nutrientes		
	Deficiente	Medio	Adecuado
pH en agua	< 5,5	5,6 - 5,9	6 - 6,5
P (mg kg ⁻¹)	< 10	10 - 20	> 20
S (mg kg ⁻¹)	< 12	12 - 20	> 20
Ca (cmol (+) kg ⁻¹)	< 5	5 - 9	> 9
Mg (cmol (+) kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
K (cmol (+) kg ⁻¹)	< 0,25	0,26 - 0,51	> 0,52
Na (cmol (+) kg ⁻¹)	< 0,20	0,21 - 0,30	> 0,31
Suma bases (cmol (+) kg ⁻¹)	< 6	6 - 11	> 11
Al int. (cmol (+) kg ⁻¹)	> 0,51	0,50 - 0,26	< 0,25
Saturación (%)	> 6	3 - 6	< 3
Cu (mg kg ⁻¹)	< 0,3	0,3 - 0,5	> 0,5
Zn (mg kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
B (mg kg ⁻¹)	< 1	1 - 3	3 - 5
Mo (mg kg ⁻¹)	< 0,1	0,1 - 0,2	> 0,2
Fe (mg kg ⁻¹)	< 2,5	2,5 - 4,5	> 4,5
Mn (mg kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0

Fuente: Adaptado de Teuber y Bernier Campillo (2006).
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR34837.pdf>

Estrategias de fertilización de suelo

Las estrategias de fertilización de suelo deben considerar el aporte de nutrientes esenciales disponible (suministro de nutrientes), la capacidad de adsorción de P del suelo (afecta la eficiencia de fertilización), la absorción de nutrientes esenciales de las especies pratenses (demanda de nutrientes), la utilización de la pradera o cultivo forrajero, el historial de manejo de la fertilización y las características edafoclimáticas de cada localidad en particular.

Con estos antecedentes, podemos considerar fertilizaciones de corrección o mantención para incorporar P, K y S y, corregir su déficit en los suelos. La aplicación de una **fertilización de corrección** incrementa la concentración de nutrientes disponibles para corregir su déficit en el suelo. En cambio, la **fertilización de mantención** mantiene el nivel de nutrientes disponibles alcanzados y repone la extracción de nutrientes para sostener la productividad en el tiempo, el suministro de alimento para el ganado y las pérdidas de nutrientes que se producen, en forma natural, en los suelos.

En la fertilización de corrección, los nutrientes esenciales todavía se están acumulando en el suelo, en cambio, en la fertilización de mantención, el nivel alcanzado de los nutrientes esenciales se mantiene constante en el suelo. Una estrategia de fertilización balanceada debe considerar alcanzar los niveles adecuados de disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo en forma paulatina y, su mantención en el tiempo. En este sentido es importante recalcar que la producción y calidad mineral y nutritiva de la pradera aumenta a medida que aumenta el suministro de los nutrientes esenciales en el suelo. Además, la calidad mineral y nutritiva del forraje que consume el ganado, en pastoreo y/o estabulación, es relevante en la conversión de materia seca a producto animal (leche, carne y/o lana).

El P se puede aplicarse en cualquier momento del año, sin embargo, desde un punto de vista medio ambiental, la aplicación de fertilizantes fosforados insolubles en meses de alta pluviometría reduce la pérdida de P por escorrentía (eutrofización cuerpos de agua superficial).

Se considera una dosis mínima de P de producción para praderas establecidas (cobertera) de 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ año⁻¹ y en el establecimiento y regeneración de praderas de 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ año⁻¹.

Cálculo de dosis de fertilización fosforada

La capacidad tampón de fósforo (Cuadro 3) predice cuánto P_2O_5 , en kg, es necesario aplicar a un suelo para subir el fósforo disponible en 1 mg kg^{-1} en praderas establecidas (0–10 cm) o al establecimiento de cultivos forrajeros y praderas (0–20 cm). Se considera aumentar el contenido de fósforo hasta el nivel mínimo técnico de hasta 20 mg kg^{-1} (**fertilización de corrección**), una vez alcanzado este nivel, sólo se requiere el aporte de fertilización fosforada para mantener la fertilidad alcanzada y reponer lo exportado desde el suelo (**fertilización de mantenimiento**).

La ecuación 1 predice cuántos $\text{kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$, necesito aplicar al suelo para aumentar el contenido de fósforo disponible desde un nivel inicial a un nivel esperado:

$$\text{Dosis } P_2O_5 \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (\text{mg kg}^{-1} \text{ a alcanzar} - \text{mg kg}^{-1} \text{ inicial}) * \text{CP} * 2,29 \quad \text{Ecuación 1}$$

Cálculo de dosis de fertilización potásica y azufrada

Para aumentar el contenido de potasio en $1 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ o azufre en 1 mg kg^{-1} (**fertilización de corrección**) se requieren aplicaciones de K_2O o S de acuerdo a lo que indica el Cuadro 4. Se recomienda aumentar el contenido de potasio y de azufre hasta el nivel mínimo técnico de hasta $0,52 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ y 20 mg kg^{-1} , respectivamente. Una vez alcanzado este nivel, se requiere el aporte de fertilización potásica o azufrada para mantener la fertilidad alcanzada y reponer lo exportado desde el suelo (**fertilización de mantenimiento**).

La ecuación 2 predice cuántos $\text{kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$ o $\text{kg } S \text{ ha}^{-1}$, se necesitan aplicar al suelo para aumentar el contenido de potasio o azufre disponible desde un nivel inicial a un nivel esperado:

$$\text{Dosis } K_2O \text{ o } S \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (\text{K o S a alcanzar} - \text{K o S inicial}) * \text{IKR o ISR} \quad \text{Ecuación 2}$$

Cuadro 3. Capacidad tampón de los suelos.

P inicial (mg kg^{-1})	0-10 cm		0-20 cm	
	≤ 9	≥ 10	≤ 9	≥ 10
Tipo de suelo	CP ($\text{kg } P_2O_5 / \text{mg kg}^{-1}$)			
Trumaos	16	14	26	24
Trumaos (Chiloé)	18	15	28	25
Rojos arcillosos	12	10	20	17
Transición	13	11	22	19
Ñadis	17	15	27	25

Fuente: Adaptado de Undurraga (2000).
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25010.pdf>

La dosis de fertilización fosforada no debe sobrepasar los $230 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en aplicación en cobertera sobre praderas y $450 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ incorporada al establecimiento de praderas, ya que favorece las pérdidas al medio ambiente e impacta la economía del agricultor.

Los fertilizantes fosforados solubles se deben aplicar: i) para incrementar rápidamente la concentración de P en el suelo, ii) cuando se requiere una rápida respuesta de la planta (ciclo vegetativo corto), iv) en suelos con

pH agua $> 5,8$ y $< 10 \text{ mg P kg}^{-1}$ y, v) cuando no existe riesgo de escurrimiento. Por otra parte, los fertilizantes fosforados insolubles se deben aplicar cuando: i) se desea incrementar lentamente la concentración de P en el suelo, ii) no se requiere rápida respuesta en la planta (ciclo vegetativo largo, especies pratenses), iv) se trata de suelos con pH agua $\leq 5,8$ y $> 10 \text{ mg P kg}^{-1}$ y, v) existe alto riesgo de escurrimiento.

Se considera una dosis mínima de K y S de producción para praderas de $30\text{--}40 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos Rojos Arcillosos, $40\text{--}50 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos Trumaos, $35\text{--}45 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos de Transición y $5\text{--}15 \text{ kg } S \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

La dosis de fertilización potásica y azufrada no debe ser $> 120 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $45 \text{ kg } S \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (corrección + producción o mantenimiento + producción).

En contraste con P, el K y S se mueven rápidamente a través del suelo, sin embargo, el momento de la aplicación de K y S solo es importante cuando existe alta pluviometría ($> 1.500 \text{ mm}$); debido a pérdidas por el proceso de lixiviación o drenaje libre (aplicar S-elemental).

El S-elemental presenta un alto efecto acidificante y,

Cuadro 4. Índices de potasio y azufre residual de los suelos.

Tipo de suelo	Corrección	Mantención	Corrección	Mantención
	Índice de potasio residual (IKR)		Índice de azufre residual (ISR)	
	(kg K ₂ O ha ⁻¹ / 1 cmol(+)kg ⁻¹)		(kg S ha ⁻¹ / 1 mg kg ⁻¹)	
Trumaos	1.377	1.253	9,1	6,1
Rojos arcillosos	1.270	750	4,0	5,5

Fuente: Adaptado de Campillo (2014).
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40010.pdf>

además, requiere ser oxidado a sulfato por las bacterias del suelo previo a que esté disponible para las especies pratenses.

Recomendaciones para la aplicación de fertilizantes

Las condiciones que determinan el momento óptimo de la aplicación de fertilizantes dependen de la solubilidad del fertilizante y de las condiciones climáticas favorables de humedad y temperatura de suelo (falta de humedad impide la solubilización del fertilizante, alta pluviometría incentiva las pérdidas por escurrimiento superficial, y la baja temperatura reduce la actividad microbiana del suelo). Un inadecuado plan de fertilización y no considerar las condiciones climáticas adecuadas para su aplicación, no solo ocasionan problemas medio ambientales sino que también se generan efectos negativos en la fertilidad del suelo a largo plazo (desbalance de nutrientes esenciales, acumulación de sales, pérdidas por escurrimiento, etc.), lo cual incide en que no se logre alcanzar los potenciales productivos, aumentando los costos de producción y reduciendo, por ende, los beneficios económicos del agricultor.

Glosario.

Acidez del suelo: conjunto de procesos naturales y antropogénicos (provocados por el hombre) que

disminuyen el pH de un suelo, generando un suelo ácido (pH < 7,0).

Adsorción de fósforo: capacidad del suelo de inmovilizar el fósforo en la superficie de los coloides del suelo, quedando no disponible para las plantas.

Bases intercambiables: se refiere a la cantidad de Ca, Mg, K y Na que presenta un suelo e indica la disponibilidad de los nutrientes y la intensidad de uso del suelo.

Capacidad tampón de fósforo: es la cantidad de P₂O₅ (kg) que es necesario agregar para elevar el fósforo disponible en 1 mg kg⁻¹ por kg de fósforo aplicado.

Escorrentía: lámina de agua que circula sobre la superficie del suelo, cuando la lluvia supera la capacidad de infiltración, generando pérdidas de suelo (erosión) y arrastre de nutrientes.

Eutrofización: es el proceso de contaminación del agua (ríos, lagos, embalses, etc.) provocado por el exceso de nutrientes (P y N), generado por la actividad antropogénica.

Fitotoxicidad por aluminio: el efecto del aluminio en las plantas reduce el desarrollo de las raíces, disminuye su capacidad absorción de agua y nutrientes y, disminuye el rendimiento.

Lixiviación de nutrientes: proceso en que riegos excesivos o lluvias abundantes favorecen el arrastre del nutriente hacia capas profundas del suelo, generando pérdidas de este nutriente.



Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL

Agradecimientos:

Programa de "Transferencia tecnológica para el eslabón productivo de la cadena ovina, láctea y hortofrutícola", perteneciente a la Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario del Gobierno Regional de Los Ríos.

Permitida la reproducción total o parcial de esta publicación citando la fuente y el autor.

La mención o publicidad de productos no implica recomendación INIA.

Editores: Rodrigo De La Barra Ahumada, Ing. Agrónomo, Dr. Cs.; Ingrid Martínez González, Ing. Agrónomo, M. Sc., Dr. Cs.; Homero Barría Ojeda, Ing. Agrónomo y Luis Opazo, Periodista, M.C.E. / INIA Remehue.

INIA Remehue, Ruta 5, km 8, Osorno, Chile. Fono +5664 2334819

www.inia.cl

