

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

René Bernier Villarroel, Ing. Agrónomo M.Sc.
Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias
INIA
E-mail: rbernier@remehue.inia.cl

INTRODUCCION

La cantidad de fertilizante que se debe aplicar a un cultivo o pradera es una de las principales decisiones que tiene que tomar un productor antes de establecer un cultivo en el campo o aplicar la fertilización de mantención a una pradera establecida. La decisión que se tome debe asegurar que el cultivo o pradera tenga un resultado exitoso y económicamente rentable.

La inversión en fertilizantes representa una parte importante de los costos de producción. Por esto, una fertilización lo más próxima a las necesidades reales de las plantas, contribuirá, por una parte, a que éstas no se vean restringidas en su crecimiento por limitaciones de nutrientes, y por otra, que la inversión en fertilizantes sea sólo la necesaria para obtener un retorno adecuado.

Otra ventaja que se presenta, es que la dosis adecuada de fertilizantes asegura la estabilidad del recurso productivo (el suelo), sin provocar efectos no deseados en el medio ambiente.

El suelo es un medio natural de donde las plantas obtienen los elementos minerales (elementos esenciales) que requieren para su nutrición. Sin embargo, ocurre que por razones naturales, derivadas de la calidad de los materiales originales que dieron formación al suelo, o a situaciones inducidas, como son la extracción por los cultivos o praderas (sin la reposición correspondiente) y las pérdidas por erosión o mal manejo del recurso, éste no puede suministrar los elementos nutricionales en la cantidad adecuada.

La explotación agrícola de los suelos ha producido con el tiempo un desbalance entre las entradas y las salidas de algunos nutrientes esenciales. Como consecuencia de esto, se ha producido un déficit en el aporte de los elementos que es necesario suplir mediante la fertilización.

Este desbalance es posible evaluarlo, con cierta precisión, a través del **análisis químico de suelo**.

Muestreo de suelos.

El valor tecnológico del análisis de suelo depende de la exactitud de cada una de las siguientes fases :

- Toma de muestras de suelo
- Extracción y determinación de los nutrientes disponibles
- Interpretación de los resultados del análisis
- Recomendación de fertilizantes y/o enmiendas

En cada una de estas fases pueden ocurrir errores que pueden afectar el resultado del análisis y por consiguiente la recomendación de fertilizantes y/o enmiendas a aplicar.

Los errores debidos a muestras mal tomadas, son generalmente los más significativos, porque no se pueden corregir en las fases subsiguientes. Una muestra mal tomada puede causar errores de un 50% o más en el diagnóstico de la fertilidad de un suelo.

La recolección de una muestra representativa es esencial para una correcta recomendación de fertilizantes y/o enmiendas y posibilita la obtención de rendimientos económicos.

El muestreo es la fase más crítica de un programa de fertilización en base al análisis de suelo, por los siguientes motivos :

- el suelo es un cuerpo heterogéneo en sus propiedades químicas,
- la heterogeneidad química del suelo es acentuada por las prácticas de fertilización, encalado y por los cultivos,
- desconocimiento de los principios del muestreo de las personas que lo realizan,
- insuficiente información complementaria para la interpretación de los análisis, como : fertilización anterior, encalado, rendimiento de los cultivos anteriores, topografía, etc.

Muestra representativa.

Muestra de suelo se define como aquella cantidad de tierra compuesta por varias porciones de igual tamaño (submuestras), obtenidas de diversos puntos del área que se desea analizar y mezcladas en forma homogénea.

Equipo de muestreo.

El equipo básico de muestreo incluye un balde limpio, bolsas plásticas, barreno de tubo, barreno de fertilidad o pala (jardinera, recta).

Para la selección de la herramienta que se utilizará debe considerarse la textura del suelo, ya que algunas de éstas no pueden ser empleadas eficientemente. Por ejemplo, en suelos muy arenosos o muy arcillosos los barrenos resultan poco prácticos..

Para texturas medias es más aconsejable el uso del barreno de fertilidad, pudiendo ser reemplazado por el barreno de tubo o el barreno holandés, que cuentan con cuchillas cortantes, especiales para texturas finas.

La pala jardinera puede ser usada en un amplio rango de texturas, pero tiene el inconveniente de hacer más lento el muestreo al realizar una excavación para cada submuestra, dejando el suelo con un exceso de agujeros.



Fig.1. Elementos de muestreo

Toma de una muestra representativa.

Una muestra representativa es aquella que mejor refleja las condiciones de fertilidad de un área específica. Para que exista representatividad, la muestra de suelo debe ser compuesta de varias submuestras de igual tamaño.

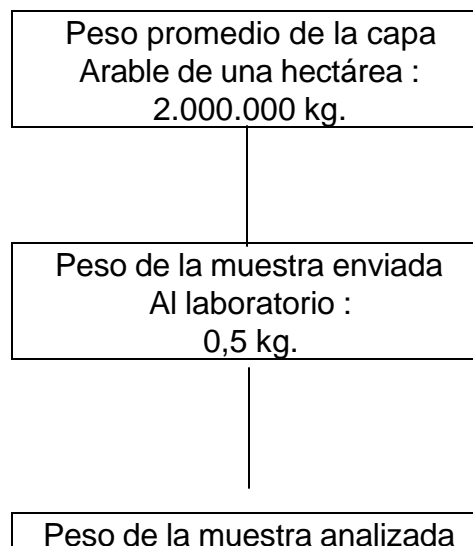
El número de submuestras por muestra está dado por la variabilidad que presenta el nutriente más móvil dentro de los que se desea analizar. Estudios realizados en la Décima Región, señalan que dicha variabilidad se compensa con 15 a 20 submuestras por unidad de muestreo.

Las unidades de muestreo deben separarse y representarse mediante un croquis de ubicación del predio, teniendo en cuenta características tales como pendiente, cultivos o manejo anteriores, textura, laboreo, antecedentes históricos, características del drenaje, etc.

La unidad de muestreo debe tener una superficie no mayor de 20 ha, dependiendo de las características de homogeneidad presentes. En los suelos de la Décima Región, que presentan una marcada variabilidad espacial, topográfica y de fisiografía hacen recomendable reducir el tamaño de la unidad de muestreo a no más de 10 ha. para asegurar una adecuada representatividad.

Por cada unidad de muestreo debe existir una muestra compuesta.

La cantidad de suelo que se utiliza en el análisis es de apenas 5 a 10 gramos, de acuerdo al esquema que se presenta, por lo tanto es necesario seguir rigurosamente todas las instrucciones para obtener muestras representativas.



<p>En el laboratorio : 0,005 - 0,01 kg.</p>

Considerando que normalmente una muestra de suelo compuesta corresponde de 10 a 20 ha. la representatividad de la muestra enviada al laboratorio se torna en un factor de suma importancia para una correcta recomendación de fertilizantes y/o enmiendas.



Fig. 2. Muestreo con pala recta

Al utilizar la pala es importante que la cantidad de tierra obtenida en cada punto sea similar de modo de que todos los sectores del área muestreada queden igualmente representados.

Una vez colectadas todas las submuestras, éstas se mezclan en el balde (o saco limpio). Después de homogeneizar la muestra de suelo, se extrae una pequeña cantidad de tierra y se introduce en una bolsa plástica nueva, que debe tener una capacidad de al menos medio litro, para su posterior envío al laboratorio.

En los potreros existen sectores que no se deben muestrear por no corresponder a la generalidad de la unidad de muestreo, evitando así afectar la representatividad de la muestra.

Se debe tener especial cuidado de no muestrear cerca de acequias, drenes o sectores inundados, cerca de la entrada de potreros o de construcciones, sectores en que se han acumulado residuos vegetales, tales como silos, parvas, etc. No colectar muestras sobre fecas o manchas de orina. Es recomendable distanciarse unos 10 metros de cercos vivos, árboles u otras barreras.

Epoca de muestreo.

En general, las muestras de suelo pueden ser colectadas en cualquier tiempo. Sin embargo, por razones prácticas es recomendable tomar las muestras 1 ó 2 meses antes

de la siembra de cultivos anuales. En cambio, para praderas es aconsejable colectarlas, por lo menos, 1 mes antes de la fertilización de otoño o primavera.

Es necesario tener en cuenta que el proceso de tratamiento de la muestra de suelo en el laboratorio, desde que es recepcionada hasta que se emite el informe y la recomendación, puede tardar hasta 15 días.

Profundidad de muestreo.

Las muestras de suelo para cultivos se deben obtener a una profundidad de 0 a 20 cm, es decir, explorando la fertilidad de la capa arable. Para praderas, la profundidad de la zona de muestreo debe ser entre 0 y 10 cm, puesto que a esa profundidad se registra la mayor densidad y actividad de raíces de las plantas forrajeras..

Envasado y almacenaje de la muestra de suelo.

Una vez mezclada y homogeneizada, la muestra de suelo debe ser envasada en una bolsa de polietileno nueva, con el objeto de evitar la contaminación de la misma. Cualquier elemento extraño a la muestra de tierra puede inducir a errores en el análisis químico, con la consecuente falla en su interpretación.

La muestra envasada (claramente identificada) debe ser remitida con prontitud al laboratorio para ser estabilizada y procesada.

El almacenaje de la muestra en condiciones de temperatura ambiente o superior y con la humedad que contiene, puede inducir el proceso de incubación, lo que provoca importantes transformaciones en la composición química de la muestra.

La materia orgánica presente en los suelos, en especial en la Décima Región, en condiciones de humedad y temperatura determinadas, es atacada por microorganismos provocando los procesos señalados.

Identificación de la muestra.

Cada muestra compuesta debe ser perfectamente identificada, en términos de su procedencia, fecha de colecta, profundidad a la cual fue colectada, potrero, sector y superficie que representa.

La muestra debe ir acompañada por la hoja de identificación, cuya información ayudará a la interpretación y recomendación producto del análisis químico.

ANALISIS DE SUELO. Metodología e interpretación.

Todas las plantas requieren de elementos nutritivos para completar su desarrollo normal. Estos elementos se denominan esenciales, y deben estar disponibles para los cultivos cuando éstos los requieran. En general, se estima que el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) representan probablemente el 80 a 90% de los problemas nutricionales del mundo, apareciendo con menos frecuencia deficiencias de los otros nutrientes.

Antes de decidir si es necesario aplicar un fertilizante y cuánto hay que aplicar, en caso que haya que hacerlo, es preciso demostrar que el suelo no es capaz de proporcionar un determinado nutriente en cantidad suficiente para alcanzar un rendimiento cercano al máximo posible en un agrosistema dado.

La función que debe desempeñar el profesional o técnico de terreno es diagnosticar la condición de suministro de los elementos esenciales del suelo y establecer las estrategias y soluciones para que el nivel de dichos nutrientes sea suficiente para el crecimiento óptimo de los cultivos.

Para cumplir con el diagnóstico se puede recurrir a diferentes métodos, entre los que destacan el análisis foliar, ensayos biológicos y el análisis de suelo.

Análisis de suelos.

El análisis químico de suelos consiste en extraer, mediante una solución química, una fracción del total del elemento esencial para el crecimiento de las plantas y luego medir la cantidad solubilizada con procedimientos químicos adecuados.

La interpretación agronómica del resultado de un análisis químico utilizado con fines de diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, requiere de otras informaciones adicionales, como la relación entre el resultado analítico y el porcentaje del rendimiento máximo que es posible alcanzar con ese nivel de disponibilidad, y la respuesta que se puede esperar al aplicar un fertilizante que contenga el elemento analizado.

Este procedimiento se denomina CALIBRACION y está fundamentado en numerosos experimentos de campo, sobre diferentes suelos, para diferentes elementos nutritivos y para diferentes cultivos.

A raíz de la puesta en marcha del Programa de Recuperación de Suelos Degradados, por el Ministerio de Agricultura, que dentro de su reglamentación establece el uso del análisis de suelos para postular a algunos subprogramas, fue necesario normalizar las metodologías analíticas utilizadas por los laboratorios de suelos del país y establecer un sistema de evaluación y posterior acreditación de los mismos.

Como resultado de dicho proceso se han acreditado 18 laboratorios de suelos en todo el país, de los cuales 5 corresponden a la Décima Región. El sentido de la acreditación es que todos los laboratorios registrados bajo esta norma ofrecen la misma confiabilidad en sus resultados, por lo que resulta indiferente la utilización de uno u otro servicio de análisis de suelo.

Recepción de la muestra.

La muestra de suelo debe ser colectada de acuerdo a las estrictas normas detalladas en el capítulo anterior, observando cuidadosamente todas las etapas.

Un vez cumplida la etapa el muestreo, la muestra de suelo es enviada al laboratorio respectivo en donde es recepcionada y registrada cuidadosamente, anotando todos antecedentes que describen el sitio de muestreo y su entorno, datos muy importantes al momento de la interpretación y posterior recomendación de fertilizantes. Cada muestra debe ir acompañada de un formulario debidamente llenado con los antecedentes que se solicitan en él.

Secado al aire.

Debido a que el suelo es un complejo de factores químicos, físicos y biológicos que interactúan en forma muy dinámica, es necesario estabilizar la muestra de suelo, de modo de que no se produzcan transformaciones indeseables, alterando la composición original de dicha muestra. Para esto se somete al secado (se debe moler si es necesario) al aire ambiente, forzándolo levemente para acelerar el proceso.

Tamizado de la muestra.

Los métodos convencionales de análisis de suelo establecen que la extracción de los nutrientes se debe realizar poniendo en contacto la tierra, cuyas partículas deben ser de un tamaño inferior a 2 mm, con la solución extractante química correspondiente.

Análisis químico.

El reglamento que regula el Programa de Recuperación de Suelos Degradados establece que para la aplicación del subprograma de fertilización fosfatada se requiere del análisis de suelo que establece el nivel de disponibilidad de dicho nutriente.

En cambio, para aplicar el subprograma de enmiendas calcáreas, se requiere conocer la acidez del suelo a través del pH al agua y/o el porcentaje de saturación de aluminio, para lo cual es necesario determinar el pH, los contenidos de bases de intercambio (calcio, magnesio, potasio y sodio) y el contenido de aluminio intercambiable.

Interpretación del análisis de suelo.

El dato que surge del análisis químico de un suelo no tiene sentido agronómico por sí mismo, porque su magnitud está asociada directamente con la solución extractante utilizada y no necesariamente con los contenidos reales de elementos esenciales en el suelo.

Es por esto que es necesario contar con información adicional del entorno, del clima, del cultivo, etc.

La interpretación del resultado analítico se basa en el estudio de antecedentes que se realiza fundamentalmente en tres etapas diferentes, en las cuales se van relacionando los análisis de suelo con los rendimientos y con las dosis de nutriente aplicadas.

Rendimiento relacionado con el análisis de suelo.

El resultado analítico va a tener diferente significado agronómico si se trata de un cultivo de cereal, de un cultivo de chacra o de un cultivo industrial.

Esto se debe a que las plantas difieren en sus requerimientos nutricionales, por lo tanto cada especie tiene diferente demanda de un determinado elemento para completar su normal desarrollo. Así un mismo resultado analítico puede tener distinta interpretación agronómica.

Lo mismo puede ocurrir entre diferentes suelos, toda vez que éstos presentan características químicas y físicas propias que hacen que la dinámica de los nutrientes en ellos sea particular, en términos de capacidad de suministro, de intensidad, de fijación o retención, etc.

De acuerdo a los rendimientos obtenidos en los diferentes suelos, sin aplicar el nutriente en estudio, estos sitios se califican de bajos, medios o altos .

Rendimiento relacionado a dosis de fertilizante.

En los sitios calificados como de bajo, medio y alto contenido del nutriente en estudio, se establecen los experimentos que permitirán determinar la respuesta del cultivo a dosis crecientes del elemento.

A medida que las dosis del nutriente son crecientes, los rendimientos relativos van aumentando a cualquier nivel del nutriente en el suelo. Sin embargo, las respuestas en los sitios experimentales son diferentes, siendo mayor en el sitio de menor disponibilidad del nutriente y menor en el de mayor disponibilidad.

Esto significa que en la medida de que el suelo contiene un mayor nivel de un nutriente determinado se requerirá una dosis menor para alcanzar un alto rendimiento.

Es decir, a nivel bajo mayor respuesta y menor respuesta a nivel alto de disponibilidad.

Dosis de fertilizante relacionada con análisis de suelo.

Para cada sitio (y cada nivel de disponibilidad) se obtendrá una curva de respuesta del cultivo en estudio, a dosis crecientes del nutriente. De este modo se establece a qué dosis de nutriente (o fertilizante) se obtiene un rendimiento óptimo. Este óptimo puede ser biológico o económico dependiendo de la forma del análisis de los datos.

Categorías de disponibilidad de nutrientes.

Los parámetros de suelo que se deben determinar son los siguientes:

- pH en agua
- pH en CaCl₂
- fósforo extractable
- calcio intercambiable
- magnesio intercambiable
- potasio intercambiable
- sodio intercambiable
- azufre extractable
- aluminio intercambiable
- microelementos (cobre, cinc, manganeso, hierro, boro).

Además, se deben calcular la suma de bases, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y porcentaje de saturación de aluminio.

Determinación de pH.

El pH del suelo se determina en agua, en una relación 1: 2,5 suelo:agua de acuerdo a la metodología convencional. Los índices o categorías de pH se señalan a continuación:

	Rango	Categoría
pH en Agua	£ 4.5	Extremadamente ácido
	4.6 – 5.0	Muy fuertemente ácido
	5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
	5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
	6.1 – 6.5	Débilmente ácido

Las categorías señaladas corresponden a los valores posibles de encontrar en suelos de la Décima Región, por lo tanto no se incluyen categorías del sector alcalino de la escala.

Determinación de fósforo (P).

El fósforo extractable se determina por el método de Olsen, utilizando bicarbonato de sodio, 1 M , a pH 8,5. Las categorías de disponibilidad corresponden a rangos expresados en partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg/kg).

	Rango	Categoría
Fósforo Olsen	£ 5.0	Muy Bajo
ppm (mg/kg)	5.1 – 10.0	Bajo
	10.1– 20.0	Medio
	20.1– 30.0	Alto
	³ 30.1	Muy alto

Determinación de bases de intercambio (Ca, Mg, K y Na).

Las bases de intercambio se determinan por extracción con acetato de amonio y analizadas por absorción atómica. Las diferentes categorías de disponibilidad se señalan a continuación:

	Rango	Categoría
Calcio intercambiable Cmol (+)/kg	£ 2.0 2.01 – 5.00 5.01– 9.00 9.01 – 15.00 ≥ 15.01	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy alto

Magnesio intercambiable Cmol (+)/kg	£ 0.25 0.26 – 0.50 0.51– 1.00 1.01-2.00 ≥ 2.01	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy alto
Potasio intercambiable Cmol(+)/kg	£ 0.12 0.13 – 0.25 0.26 – 0.51 0.52 – 0.64 ≥ 0.65	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy alto
Sodio intercambiable Cmol (+)/kg	£ 0.15 0.16 – 0.20 0.21 – 0.30 0.31 – 0.40 0.41 – 0.51 ≥ 0.51	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy alto Muy Alto
Suma bases intercamb. Cmol (+)/kg	£ 3.00 3.01– 6.00 6.01 – 11.00 11.01 – 15.00 ≥ 15.01	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy alto

Cada catión (o base de intercambio) debe encontrarse en el complejo de intercambio entre ciertos límites relativos, que son los siguientes:

Calcio (Ca)

60 a 80 % de la CIC*

Magnesio (Mg)	10 a 20 % de la CIC
Potasio (K)	2 a 6 % de la CIC
Sodio (Na)	0 a 3 % de la CIC

* CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Estos cationes interactúan entre sí, por lo tanto deben encontrarse en determinadas relaciones, como las que se indican a continuación.

Relación calcio: magnesio (Ca / Mg).

Un exceso de calcio (Ca) intercambiable puede interferir la absorción del magnesio (Mg) y del potasio (K). Si la relación Ca/Mg, expresados ambos en cmol(+)/kg, es mayor de 10, es posible que se produzca una deficiencia de magnesio. La relación óptima Ca/Mg es alrededor de 5.

Relación potasio: magnesio (K/Mg).

La relación K/Mg debe estar comprendida entre 0,2 y 0,3. Si esta relación es mayor de 0,5 pueden producirse deficiencias de magnesio por efecto antagónico de potasio. En cambio, si la relación es de alrededor 0,1, se puede producir una deficiencia de potasio inducida por el magnesio.

Exceso de sodio (Na).

Un exceso de sodio produce deficiencias de calcio y de magnesio. Cuando el sodio está en una proporción mayor al 10% de la CIC pueden existir problemas de salinidad de tipo sódico.

Determinación de aluminio de intercambio (Al).

El Al de intercambio se determina por extracción con cloruro de potasio (KCl) y análisis por espectrofotometría de absorción atómica. Las categorías de disponibilidad y de porcentaje de saturación de aluminio, por tratarse de elementos agrónomicamente negativos, deben considerarse en forma inversa a la de los cationes de intercambio. Es decir, los valores bajos son más deseables que los altos.

El porcentaje de saturación de aluminio se calcula determinando la proporción de Al de intercambio que se encuentra en la CICE, siendo la CICE la suma de los cationes de intercambio más el Al intercambiable.

	Rango	Categoría
Aluminio intercambiable cmol (+)/kg	£ 0.10 0.11 – 0.25 0.26 – 0.50 0.51 – 0.80 ≧ 0.81	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy Alto
Saturación Aluminio %	£ 1.09 1.10 – 3.09 3.10 – 6.09 6.10 – 12.09 ≧ 12.10	Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy Alto

BIBLIOGRAFÍA

Bernier, R.L. 1979. Muestreo de suelos para análisis químico. Boletín Técnico N° 28 (17 Re). Estación Experimental Remehue. INIA. 12 p.

Bernier, R:L . 1980. Muestreo de suelos con pradera para análisis químico. XXXI Jornadas de la Sociedad Agronómica de Chile. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Julio - Agosto 1980.

Bernier, R:L : 1982. Profundidad de muestreo de suelos para determinación de la fertilidad actual en praderas permanentes. VII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Noviembre 1982.

Bernier, R:L : y N.G.Teuber. 1986. Relaciones entre tipos de praderas y fertilidad de suelos en la Décima Región. XI Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Octubre 1986.

- Etchevers, J.D. 1991. La función del Laboratorio de Diagnóstico de las necesidades de fertilizantes. Enfoques tradicionales y modernos del análisis químico de suelos. Adijal XIV (44) : 21 - 27 p.
- Etchevers B., J. P. Anzastiga, V. Volke y G. Etchevers. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del Estado de Puebla. Agrociencia 65: 161 – 178.
- Etchevers B. , J. 1991. La función del laboratorio en el diagnóstico de la necesidad de fertilizantes. Enfoques tradicionales y modernos del análisis químico de suelos. ADIFAL marzo – abril: 21 – 27.
- Etchevers B., J. J. Rodríguez y A. Galvis. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante el enfoque sistémico racional. Terra 9: 3 – 10.
- Guerrero, G., Andrés. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. 206 p.
- López Ritas, J. Y J. López Melida. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Mundi-Prensa, Madrid, España. 363 p.
- Peck, T :R : & W. Melsted. 1973. Field sampling for soil testing. p 67 - 75. In : Walsh, L. M. and J.D. Beaton (ed). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Rodríguez S., José. 1993. Manual de fertilización. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 362 p.
- Rojas, C. y N. Rodríguez. 1997. Manual de muestreo de suelos para análisis de fertilidad. Departamento de Protección de los Recursos Naturales Renovables, Servicio Agrícola y Ganadero. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 23 p.
- Rouse R. D. 1968. Soil test theory and calibration for cotton, corn, soybeans and coastal bermudagrass. Agricultural Experiment Station. Auburn University. Auburn, Alabama, U.S.A. Bulletin 375, 67 p.

CONCEPTOS DE FERTILIDAD RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN EN SUELOS DE LA Xa. REGIÓN

Pablo Undurraga Díaz, Ing. Agrónomo
Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias
INIA

E-mail: pundurra@remehue.inia.cl

INTRODUCCIÓN

A medida que la práctica de la agricultura ha pasado de ser una forma de vida a un sistema donde se debe considerar el aspecto técnico y económico en las decisiones de producción, con la incorporación de insumos que permitan obtener rendimientos altos por unidad de superficie, se ha hecho necesaria la dosificación adecuada de los fertilizantes, de manera de no causar daños en los ecosistemas y que se puedan utilizar en la forma y dosis precisa que requieren los cultivos y el suelo.

Se han desarrollado diversas formas para calcular las dosis de los fertilizantes y las enmiendas de acuerdo a las necesidades de los cultivos y del suelo. Pasando por la utilización de recomendaciones generales para una región determinada según el cultivo y llegando a modelos más afinados de cálculo de dosis como es el desarrollado por Rodríguez, 1990.

En los últimos cincuenta años se ha avanzado en el área del conocimiento de la fertilidad de los suelos y la nutrición de las plantas. Ya que antes se mantenían los conceptos originados a principios de siglo con la Ley del mínimo de Liebig, la de los rendimientos decrecientes de Mitscherlich, que prevalecieron por mucho tiempo. Luego vinieron los primeros acercamientos para considerar un ordenamiento en el tema y establecer a través de resultados una explicación a la respuesta de los cultivos a la fertilización, desarrollándose los modelos "Decide" por los australianos y el de Confort y Sinclair de Nueva Zelanda.

Todos estos van incorporando mayor información para lograr una decisión más precisa en la dosificación de la fertilización. Esto implica que de no tener la información que estos modelos requieren en forma detallada pueden arrojar resultados poco adecuados.

En nuestro país se han desarrollado diferentes experiencias para obtener formas de recomendación de fertilización adecuadas a la realidad nacional, entre éstos se destacan:

! **Método del Balance** (Rodríguez, 1990)

Se basa en un balance entre la demanda de nutrientes del cultivo y la oferta de nutrientes desde el suelo, medida a través de análisis químico, considerándose la eficiencia de uso del nutriente. Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Dosis} = (\text{demanda} - \text{oferta}) / \text{eficiencia}$$

Donde

Demanda	extracción del nutriente para un rendimiento dado en Kg/ha
Oferta	disponibilidad del nutriente en el suelo en Kg/ha
Eficiencia	proporción del nutriente absorbido por el cultivo por cada Kg aplicado.

! **Método de la Calibración.**

Este método relaciona la respuesta del cultivo a la fertilización y el nivel de fertilidad del suelo. Los aportes del suelo son clasificados en categorías de fertilidad y la recomendación de fertilizantes se realiza según la categoría de disponibilidad del nutriente. Sobre un nivel de suficiencia no se recomienda la aplicación de fertilizante, o es mínima de acuerdo al rendimiento.

En Chile, el INIA ha usado preferentemente este método, cuya principal desventaja es el costo para obtener la información para cada zona y tipo de suelo, puesto que requiere de mucha experimentación de terreno para realizar la calibración, la que se ha elaborado para los diferentes tipos de suelos y áreas edafoclimáticas por los distintos centros de Investigación que se distribuyen a lo largo del país.

La base de este método consiste en la realización de numerosos ensayos de terreno en suelos con diferente nivel de disponibilidad del nutriente que se está investigando. Con esto se determina el índice de disponibilidad del nutriente de acuerdo al rendimiento del cultivo. Esta asociación permitirá tener un índice de disponibilidad bajo el cual los rendimientos disminuyen y sobre el cual están cercanos al rendimiento máximo, teniendo un nivel crítico, bajo el cual se produce una caída en los rendimientos.

Basándose en el trabajo realizado durante muchos años de investigación en INIA-Remehue, se tienen tablas de dosis de nutrientes para praderas y cultivos de la Xª Región, según el tipo de suelo (Trumaos, Rojo arcillosos, Nadis y Transición) para obtener rendimientos altos según el nivel de disponibilidad de nutrientes del suelo medidos por análisis de suelos (categorías de disponibilidad).

Con esta información se pueden obtener recomendaciones de fertilización con una adecuada aproximación y actualmente se utilizan en el Laboratorio de Análisis de Suelos de INIA-Remehue, para entregar orientación a los profesionales y agricultores que demandan el servicio. Estas deben ser adaptadas de acuerdo al nivel de rendimiento y a las condiciones particulares de cada caso.

La información de los numerosos ensayos de calibración se maneja en bases de datos computacionales, la que cruza los antecedentes para lograr una recomendación de fertilización adecuada a las condiciones de los agricultores, se utilizarán diferentes tablas, que nos permiten determinar una dosis de nutrientes. Posteriormente, debemos adecuar la dosis de acuerdo al nivel tecnológico del agricultor, que estará determinado por el nivel de rendimiento y la tecnología de aplicación de la fertilización, además se ajustan algunos elementos, para generar un balance adecuado de la fertilización, que permita obtener una producción adecuada del cultivo y a la vez mejorar las condiciones químicas del suelo para futuros cultivos.

CONCEPTOS DE FERTILIDAD FOSFATADA Y ACIDEZ EN SUELOS VOLCÁNICOS

Las recomendaciones de fertilización no pasan por aplicaciones de modelos simples o complejos, o de múltiples ensayos, donde generamos un imput y esperamos un resultado (rendimiento) después de una temporada de cultivo, sin conocer la forma como funciona el sistema suelo, según la particularidad y origen. No podemos aplicar modelos o ensayos considerando el suelo como una caja negra, sin saber cómo se comporta y qué ocurre en su interior con las enmiendas o fertilizantes que agregamos.

Para reforzar este conocimiento, a continuación se resumen algunos conceptos de "Fertilidad Fosfatada" y de "Acidez de suelos", ya que son los temas más importantes en los suelos volcánicos de la Xª Región.

FERTILIDAD FOSFATADA

En los suelos volcánicos del sur del país, el fósforo (P) es uno de los elementos más deficitarios para una adecuada productividad de los cultivos y praderas, dado que por el origen de estos suelos, este elemento es retenido en gran parte, sin estar disponible para las plantas.

Las formas de asimilación por parte de la planta son el fosfato monobásico (PO_4H_2^-) y el dibásico (PO_4H^-); el primero es de mayor utilización que el segundo. A medida que va siendo extraído por las plantas el complejo del suelo lo va restituyendo a la solución. Estas formas de fosfatos se encuentran en una baja proporción en el suelo pero la

restitución es constante (en un ciclo normal de un cultivo la reposición del fósforo en dicha solución alcanza el número de 100 a 500 veces para cubrir las necesidades básicas del elemento), (Rodríguez, 1989).

El pH del suelo determina la disponibilidad de fosfatos asimilables por la planta. A medida que aumenta el pH la proporción de los fosfatos (pH>7, es decir alcalinidad) crece la proporción de fosfatos dibásicos y tribásicos.

El paso del fósforo asimilable a sus formas insolubles y no asimilables se conoce como "Fijación de fósforo" o sea su inmovilidad como nutriente vegetal. Esta inmovilidad la determinan las distintas reacciones químicas que se producen según el pH del suelo.

En suelos ácidos los fosfatos asimilables (monobásico y dibásico se combinan con el hierro (Fe^{++}) y el aluminio (Al^{+++}) y con los distintos hidróxidos (de Fe, Al, etc), formándose sales y complejos químicos insolubles.

En los suelos alcalinos se combinan principalmente con el calcio y el magnesio y se forman sales insolubles como el fosfato tricálcico. $[(PO_4)_2Ca_3]$

COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO EN EL SUELO.

El fósforo en el suelo, funcionalmente se presenta como tres fracciones. La **fracción en solución**, la cual es inmediatamente disponible para la absorción de las plantas y resultante del equilibrio entre los distintos componentes y mecanismos que dominan la fracción lábil. La **fracción lábil**, la que representa la cantidad de P que puede pasar a la solución en una temporada de cultivo y la **fracción no lábil** que representa todos aquellos compuestos fosforados en el suelo que no salen a la solución del suelo durante la temporada del cultivo.

Tres mecanismos de reacción del P en el suelo dominarían los componentes de las fracciones lábiles y no lábiles: el mecanismo de adsorción-desorción a través de las reacciones del fosfato con las arcillas del suelo, el mecanismo de precipitación - disolución en la formación de compuestos fosforados en el suelo, dependiente del pH del suelo y de la concentración de iones en la solución del suelo, y el tercer mecanismo es el de mineralización - inmovilización del P ligado a la materia orgánica del suelo. De esta forma, las fracciones lábiles y no lábiles estarían constituidas por P que ha reaccionado en el suelo a través de estos mecanismos y que constituyen los componentes de **P adsorbido**, **P precipitado** y **P orgánico**, tanto en fracciones lábiles como no lábiles. Además, se supone que el contenido de P en la solución resulta de un equilibrio rápido entre la cantidad de P presente en la fracción lábil y los mecanismos que determinan la labilidad del P. Es decir, para que exista P en solución es necesaria una cierta cantidad de P en la fracción lábil, que variaría de acuerdo a la intensidad con que los mecanismos de reacción actúan en el suelo.

Existe la hipótesis de que, a través de los mecanismos de reacción un equilibrio lento existe entre la fracción lábil y la fracción no lábil del P del suelo, de tal forma de que un crecimiento en los componentes lábiles induce a un crecimiento en los componentes no lábiles del suelo y que un decrecimiento en la fracción de P lábil induce un lento decrecimiento en la fracción de P no lábil del suelo.

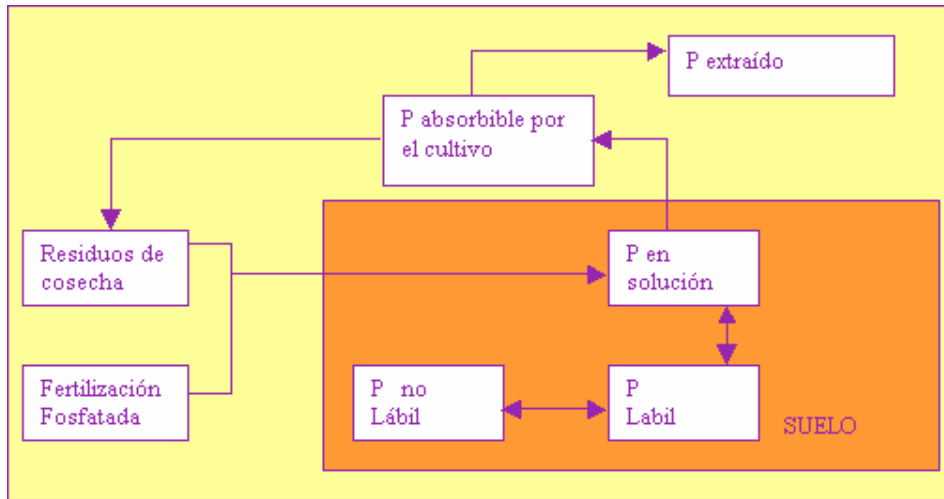


Figura 1: Esquema de fósforo en el suelo.

DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO EN EL SUELO

La disponibilidad de fósforo en el suelo, corresponde a una pequeña fracción del fósforo total contenido en el suelo, reflejando parte del fósforo de la solución suelo y aquella que se encuentra en la fase sólida, susceptible de ser asimilada por las plantas.

El fósforo forma compuestos débilmente solubles con cationes bivalentes y monovalentes. Por esta razón, la cantidad de fósforo de la solución suelo es muy pequeña. Las plantas que crecen en el suelo, absorben esta pequeña cantidad de la solución suelo, que a su vez se encuentra en equilibrio con el fósforo de la fase sólida. Así, cada una de las formas químicas del suelo contribuye de manera distinta a enriquecer el fósforo disponible para el cultivo.

La cantidad de fósforo disponible en el suelo no es un valor único y constante, ya que varía de acuerdo a las condiciones ambientales, que a su vez influyen sobre el suelo y el desarrollo de las plantas.

El análisis de suelo proporciona sólo un índice del fósforo disponible en el suelo para las plantas, o sea, este valor corresponde a un reflejo del suministro natural del suelo, lo que, por diferencia con los requerimientos de fósforo de la especie, permiten estimar las necesidades de fertilización.

FACTORES QUE INFLUENCIAN LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO

El contenido de fósforo disponible en el suelo es una variable dinámica, fuertemente influenciada por las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales.

Cualquier cambio en las propiedades del suelo se encuentra relacionada con la concentración de fósforo en solución (intensidad); la magnitud del fósforo de la fase sólida del suelo susceptible de pasar a la solución o fósforo lábil (cantidad); la capacidad del suelo de restablecer el fósforo de la solución (capacidad o poder tampón del fósforo) y las características del suelo que permiten el paso de iones fosfato desde las zonas de alta concentración a la superficie de las raíces (difusión), explican los cambios producidos en la cantidad de fósforo disponible.

Las plantas también influyen la disponibilidad de fósforo. Los vegetales poseen sistemas radicales característicos de cada especie, diferenciándose por la longitud y densidad de los pebs radiculares, así como a la morfología de su sistema radicular, lo que afecta sensiblemente la capacidad de extracción de fósforo por las raíces de las plantas. En general, se puede afirmar que menos de un 1% del volumen total de suelo está ocupado por las raíces.

Otra de las características de la planta que afectan la capacidad de remoción del Fósforo disponible, se refiere a la capacidad individual de las especies de absorber este elemento por cm^2 de raíz o poder de absorción de fósforo. Además, ciertas condiciones ambientales afectan la capacidad específica de absorción de fósforo por las raíces, tales como la asociación con micorrizas activas (hongos del suelo), altas densidades de siembra, y otros.

Otros Factores que afectan la disponibilidad de Fósforo.

Existen factores que afectan la disponibilidad de Fósforo relacionados al suelo, que pueden ser numerosos y se consideran de tipo ambientales que modifican la disponibilidad del fósforo. Entre éstos, los más importantes son:

Acidez del suelo: el óptimo rango de pH del suelo dentro del cual se observa la máxima disponibilidad de fósforo se encuentra entre 6,5 y 7,5. Las causas de este comportamiento se asocian fundamentalmente a que en este rango ocurre la máxima solubilidad de las formas de fósforo inorgánico del suelo. Así, en rangos de pH ácido hasta 6,5, se reduce la solubilidad de fosfatos de hierro y

aluminio y aumenta la solubilidad de las formas ligadas al calcio. Pasado cierto nivel de pH alcalino (sobre 7,5) comienza a precipitar ciertas formas de fosfatos de calcio y nuevamente se reduce la disponibilidad del fósforo.

Contenido de Materia orgánica: la materia orgánica del suelo presenta predominantemente cargas negativas, por lo que los ácidos orgánicos forman con cationes hidroxilados tales como $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$ combinaciones complejas que inmovilizan estos iones dejando en libertad los iones fosfatos. Por esta razón, la agregación de estiércol y otros compuestos orgánicos favorecen la disponibilidad del fósforo de los suelos.

Relación Sílice/Sesquióxidos: Según la naturaleza mineralógica de los suelos, éstos varían en su contenido de Silicio, Hierro y Aluminio. Los suelos que contienen una más baja relación Sílice (SiO_2); Sesquióxidos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$), están generalmente más intemperizados y por lo tanto contienen más hierro y aluminio libres que pueden inmovilizar a los fosfatos; en cambio, una más alta eficiencia en el uso de fertilizantes fosfóricos se logra con una alta relación sílice/sesquióxidos incrementando rápidamente el P-disponible. Esta relación se puede afectar con el uso de la cal inmovilizando los sesquióxidos, lo que tiende a incrementar la disponibilidad del fósforo.

Relación con la humedad del suelo: el aumento de agua en el suelo induce a un incremento de iones fosfato en solución, lo que ocurre después de las lluvias o por el efecto del riego. Esto está ligado a las características de las formas inorgánicas de fósforo presentes en el suelo (P-Ca, P-Fe y P-Al) cuya naturaleza cristalina relativamente insoluble, tiene en realidad variables constantes de productos de solubilidad. Así, sólo una cierta cantidad del compuesto se disuelve alrededor de las partículas cristalinas, sin embargo, aunque la concentración se mantiene relativamente constante, la cantidad de iones fosfato solubles aumenta si se incrementa la cantidad de agua en la solución. La cantidad de fósforo absorbido por especies desarrolladas en condiciones de secano es menor en condiciones de sequía que en años lluviosos.

Fertilizantes fosfatados: Uno de los mayores efectos sobre el incremento del P-disponible, se ha logrado con la adición de fertilizantes fosfatados. La fijación del fósforo soluble ocurre rápidamente después de la aplicación de un fertilizante fosfatado, especialmente si el fertilizante se ha mezclado con el suelo. Después de varios días desde su aplicación en un cultivo, cualquier aplicación posterior de fosfatos probablemente originaría cambios mínimos debido al equilibrio alcanzado entre fosfatos solubles y el fósforo fijado. A través del tiempo, sin embargo, la disponibilidad del fósforo se ha incrementado debido a que la adición de fósforo fertilizante y la remoción de fósforo de la solución efectuada por las plantas, es reemplazada rápidamente por el fósforo fertilizante.

La aplicación de fósforo fertilizante al suelo, origina una reacción rápida en la superficie de los minerales arcillosos donde el fenómeno dominante es la adsorción, luego una reacción lenta de difusión de fósforo predomina hacia el interior de las partículas, generándose la fijación.

Esta última etapa define qué cantidad de P agregado permanece en el pool lábil sobre las partículas del suelo y este valor estima la efectividad residual del fósforo lábil.

Aunque se reconoce que el fósforo es retenido a la forma de aniones intercambiables por las arcillas, se cree que estas formas no son importantes para la nutrición directa de las plantas.

En otras palabras, las plantas obtienen directamente los aniones fosfatos de la solución suelo más bien que aquéllos adsorbidos por los coloides. En realidad, la cantidad de fosfato en la solución del suelo no es tan importante como la tasa en que este fosfato se disuelve o pasa a la solución.

Las plantas pueden crecer en forma satisfactoria con una pequeña concentración de fosfato en la solución a medida que esta concentración se puede mantener.

Deben producirse condiciones que favorezcan la rápida liberación de fosfatos desde las formas orgánicas y/o de las formas inorgánicas de modo de mantener un adecuado suministro de formas disponibles (Figura 2).

Figura 2: Transformaciones del fósforo en el suelo.



La pérdida del fósforo soluble de la solución suelo es un proceso continuo, por las raíces de las plantas, por los microorganismos y por mecanismos de adsorción y/o precipitación en la superficie de los coloides, quedando como fósforo insoluble.

Las formas de fósforo orgánico denominadas lábiles son aquéllas que se pasan a la solución suelo a través de la mineralización del fósforo orgánico; las formas más refractadas a la mineralización son las provenientes del humus y sólo se relacionan en el equilibrio con el fósforo orgánico lábil.

En la medida que se agite una cierta cantidad de fósforo soluble en contacto con el suelo, rápidamente una proporción de éste desaparece de la solución, debido a que queda retenido en la fase sólida, fenómeno que se conoce con el nombre de fijación. Una proporción importante de este fósforo evoluciona a formas insolubles por lo que vuelve con gran dificultad a la solución, y otra fracción queda retenida casi irreversiblemente con gran energía, lo que se considera prácticamente una pérdida de fósforo del suelo y se conoce también con el nombre de P insoluble

Existen diferentes mecanismos que explican la adsorción del fósforo en el suelo, tales Como:

- ! Reacciones de superficie no específica (intercambio de aniones),
- ! Fenómeno de oclusión o captura física de fosfatos como un iodo dentro de las partículas sólidas, y
- ! Reacciones de ligado, formando complejos, tales como el complejo humus - Aluminio característico de suelos Andisoles

En suelos calcáreos de la Zona Central, la fijación ocurre fundamentalmente sobre los carbonatos minerales que tienen una importante superficie específica. La precipitación de fósforo como fosfato de calcio es la principal causa de fijación de fósforo en este tipo de suelos.

Las reacciones de fijación de fósforo en los suelos Andisoles en cambio, son mucho más enérgicas y éstos adsorben apreciables cantidades a través del tiempo. Estas alcanzan al 80 a 90% como 'fósforo fijado" del total del fósforo aplicado como fertilizante. La fijación de fósforo ocurre en la superficie de algunos minerales tales como el alofán, la imogolita y complejos humus-Aluminio, especialmente en la estrata arable de los suelos

En los complejos humus-Aluminio, el Aluminio se encuentra a la forma de quelato sobre la superficie de las moléculas de humus, manteniendo cierta afinidad con el fósforo inmovilizándolo con gran energía.

En general, los iones fosfatos tienen alta afinidad por el Aluminio, Hierro y Calcio, elementos con que forman precipitados insolubles dependiendo de la acidez del suelo. Al respecto, en suelos con presencia de arcillas expansibles, al incrementarse el pH de la solución se produce la ruptura de las estructuras cristalinas y la liberación del Aluminio que se puede combinar con iones fosfatos y formar compuestos insolubles. En estos suelos, el encalado favorece el incremento de la disponibilidad del fósforo por la precipitación del Aluminio.

En los suelos derivados de cenizas antiguas (suelos rojo arcillosos) de la Zona Sur sometidos a procesos intensos de meteorización y condiciones de lavado de bases (alta pluviometría) clasificados como Ultisoles, las arcillas dominantes son los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Estas arcillas son estables hasta valores de pH tan bajos como 5 y en ellas la principal forma de pérdida de fósforo ocurre por adsorción sobre la superficie de los coloides.

CAPACIDAD TAMPON DE FOSFORO.

La capacidad tampón del suelo o CP corresponde a la resistencia de un suelo particular a elevar sus contenidos de P-disponible al incrementar la aplicación de P-fertilizante. En otras palabras, es la cantidad de P-fertilizante que es necesario agregar para elevar el Fósforo disponible en 1 mg/Kg o ppm de fosfato por Kg de fósforo aplicado. El CP es una característica química del suelo, que se refiere a la relación entre el P-disponible que éste es susceptible de mantener en equilibrio en la solución suelo por cada Kg de fósforo agregado como fertilizante soluble al agua, tal como el Superfosfato Triple.

Se ha observado que los suelos en general, muestran diferente efectividad inicial frente al fósforo aplicado como fertilizante, así los suelos, de acuerdo a esta característica, pueden dividirse en reactivos y poco reactivos. En un suelo poco reactivo, una mayor proporción del fósforo aplicado permanece lábil y en un suelo de alta reactividad, se requiere agregar una mayor cantidad de fósforo para lograr el mismo contenido de P lábil, el que puede expresarse por ejemplo en ppm de P-Olsen por Kg de P-fertilizante aplicado.

Cuadro 1: Capacidad tampón (CP) de las agrupaciones de suelos de la X^a Región, según la profundidad (Kg de P para subir 1 ppm Olsen).

Para 10	cm Prof.	Para 20 cm	Prof.
* Trumaos	14 -16	* Trumaos	24-26
* Trumao Chiloé	15 -18	* Trumao Chiloé	25-28
* Rojo Arcilloso	10 -12	* Rojo Arcilloso	17-20
* Transición	11 -13	* Transición	19 - 22
* Nadis	15 -17	* Nadis	25 -27

El CP permite predecir cuanto fósforo, en Kg por hectárea, es necesario aplicar a un suelo para subir el P-disponible desde un nivel inicial a un nivel esperado.

Para estimar este valor, debe considerarse la tasa de reducción en el largo plazo (paso de P lábil a no lábil) y la extracción individual de los cultivos en la rotación. De este modo, la cantidad de fósforo que permanece lábil en el suelo depende fundamentalmente de la cantidad de fósforo agregado, de la capacidad tampón de P del suelo y de la extracción efectuada por los cultivos.

Fertilización de corrección y mantención.

En la planificación de la fertilización fosfatada en los agro sistemas, debe considerar las características de fijación de fósforo del suelo o su reactividad, una estimación de la extracción efectuada por los cultivos, los contenidos de P-disponible del suelo y los antecedentes disponibles relativos al historial de fertilización tales como fuentes fertilizantes empleadas, formas y épocas de aplicación de fósforo.

En el caso de considerar un criterio de fertilización de mantención, se aplica una dosis equivalente a la Dosis Óptima Económica, que permite suplir los requerimientos del cultivo o pradera para lograr un rendimiento esperado rentable, con este criterio de fertilización se apunta a cubrir la cantidad de fósforo necesaria para corregir el déficit nutricional o diferencia entre los requerimientos del cultivo y el suministro de P disponible.

En cambio, la aplicación de un criterio conservacionista considera la aplicación de fósforo sobre los requerimientos del cultivo en dosis superiores a la dosis óptima económica, de modo de incrementar paulatinamente los contenidos de P-disponible del suelo y supliendo las necesidades del mismo suelo mediante la saturación de los sitios de más alta energía de retención hacia aquéllos más lábiles. En este caso, la relación entre la efectividad residual de la fertilización y el fósforo extraído por los sistemas de cultivo de la rotación, van a permitir obtener un balance positivo de acumulación de fósforo en el tiempo.

Un criterio conservacionista estratégico podría basarse en el empleo de una dosis de corrección basal, o sea la cantidad de fertilizante fosfatado necesaria para subir los contenidos de P-disponible presente en el suelo hasta un nivel determinado, más la dosis de producción, que será la cantidad total de fósforo necesaria para suplir los requerimientos del cultivo o pradera que dependerá del rendimiento esperado de la especie.

Luego de lograr estos objetivos, se podrá después de un cierto tiempo retornar al empleo de la dosis óptima económica.

Para cualquier alternativa que se elija, es necesario conocer los valores de disponibilidad de otros nutrientes, ya que la corrección de otras deficiencias favorecerá el aprovechamiento del fósforo por el cultivo alcanzando un mayor rendimiento.

Ejemplos de cálculo utilizando los CP.

La fertilización de corrección de fósforo para un suelo trumao que tiene 4 ppm de P Olsen, el cual está con pradera y se ha medido el Fósforo en una muestra tomada a 10 cm de profundidad. Se quiere llegar a las 15 ppm, utilizando dos estrategias, primero se considera realizar la corrección en un año y en segundo lugar se quiere realizar la corrección en tres años, de acuerdo a los criterios que permite aplicar el reglamento del PRSD.

Cuadro 2: Ejemplo de Cálculo de Dosis de Corrección P

$$\text{Dosis de P}_2\text{O}_5 - (\text{ppm a Alcanzar} - \text{ppm Inicial}) * \text{CP} * 2,29$$

P inicial = 4 ppm P a Alcanzar = 15 ppm CP = 16 Kg de P /ppm

Corrección en 1 año: Dosis = (15 - 4) * 16 * 2.29 = 403 Kg P₂O₅/ha (876 Kg SFT)

Corrección en 3 años: (se consideran disminuciones entre cada año)

8 ppm	Dosis = (8-4)*16*2.29=	147 Kg P ₂ O ₅		532Kg
12 ppm	Dosis = (12-6.5)*16*2.29 =	202 "		
15 ppm	Dosis = (15-10)*16*2.29=	183 "		

Al considerar la fertilización en un año, la dosis para alcanzar el nivel de 15 ppm es de 403 Kg/ha de P_2O_5 , de acuerdo al ejemplo. Ahora, si consideramos parcializar la corrección en un periodo de tres temporadas, debemos considerar que el suelo subirá en una primera etapa de 4 a 8 ppm, pero en el periodo las 8 ppm que estimamos llegar disminuirán por efecto de la reactividad particular del tipo de suelo y para calcular la dosis de la temporada siguiente, nuestro nuevo nivel inicial no serán 8 ppm sino que será menos. En este ejemplo consideramos una pérdida de 1.5 ppm, es decir, nuestro nuevo nivel inicial ahora es de 6,5 ppm y el final 12 ppm.

Al seguir el procedimiento interior tenemos que debemos aplicar 147 Kg/ha el primer año, 202 Kg/ha el segundo año y 183 Kg/ha el tercer año, lo que nos da un total de 532 Kg/ha de P_2O_5 , repartido en tres años. Superior a la corrección realizada en una sola temporada.

Este comportamiento está graficado en la figura 3, de acuerdo a lo presentado por Pinochet(1996).

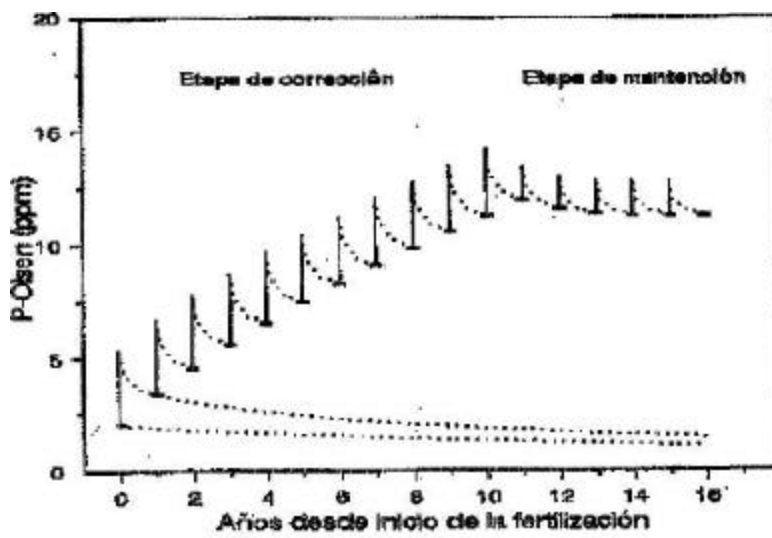


Figura 3: Efecto de la fertilización parcializada en el P-Olsen a través del tiempo.

ACIDEZ DE SUELO

La acidificación de los suelos es un problema que afecta amplias zonas de Chile, lo que se ve acentuado desde la VIII a la X Regiones. En rigor, la acidez corresponde más a un problema de los cultivos que de los suelos. Siempre existirá algún vegetal con tolerancia a determinado grado de acidez. Cuando ésta es superada se produce el problema.

Las diferentes especies vegetales tienen diferentes requerimientos de acidez de suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de pH críticos y suficientes para algunos cultivos y praderas de la X Región.

Especies	pH crítico	pH suficiente
Papa	5,0	5,5
Báltica	5,5	5,7
Avena	5,5	5,7
Trigo	5,5	5,8
Trébol blanco	5,6	5,8
Pradera mixta	5,6	5,8
Raps	5,7	5,9
Cebada	5,8	6,0
Trébol rosado	5,8	6,0
Remolacha	6,0	6,4
Alfalfa	6,2	6,6

Origen del problema.

Existen procesos naturales que provocan la acidificación de los suelos. Estos procesos pueden ser acelerados o retardados por acción del hombre, a través de las prácticas de manejo.

El proceso natural de mayor incidencia en la acidificación de los suelos es la lixiviación de los cationes básicos. La magnitud de esta pérdida y la aparición del Al^{3+} (tóxico), es debido a la cantidad e intensidad de las lluvias. En zonas áridas los pH son altos (alcalinos) y en zonas húmedas los pH son bajos (ácidos). (Figura 1).

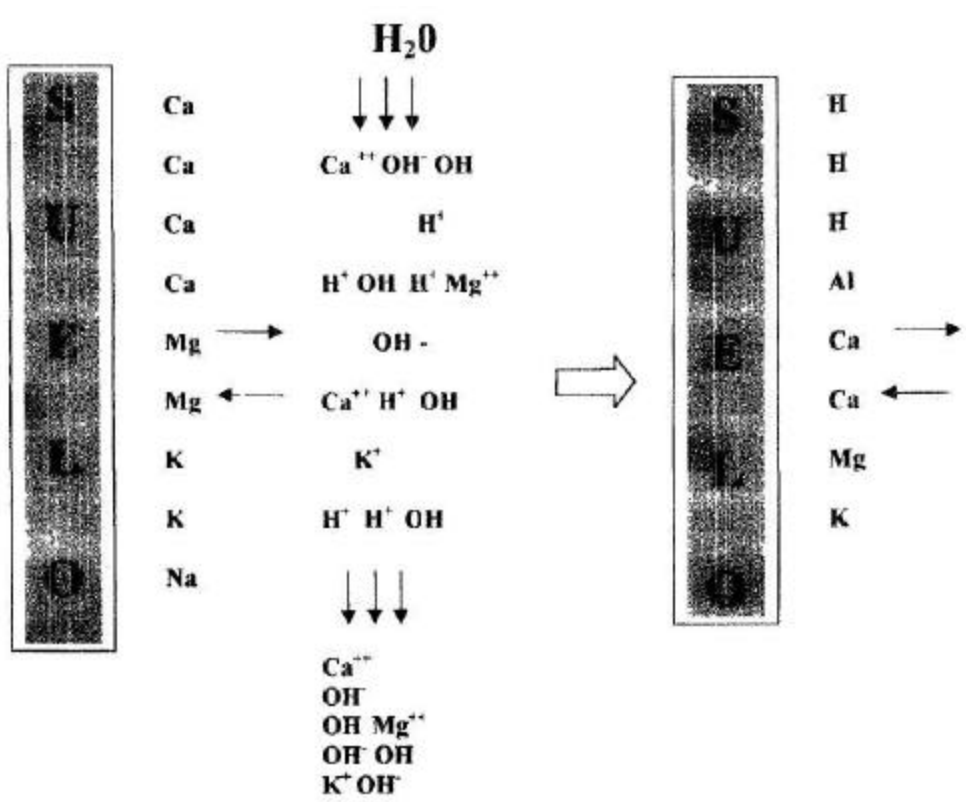


Figura 1. Esquema de la lixiviación de los cationes de intercambio.

El laboreo intenso del suelo y el uso de fertilizantes de reacción ácida constituyen los factores principales de acidificación por acción del hombre.

En la Décima Región de Los Lagos, debido a las características climáticas y a su material original, los suelos agrícolas presentan variadas condiciones de acidez, como se aprecia en la figura 2.

Distribución de frecuencia de muestras provenientes de cuatro agrupaciones de suelos según su pH.

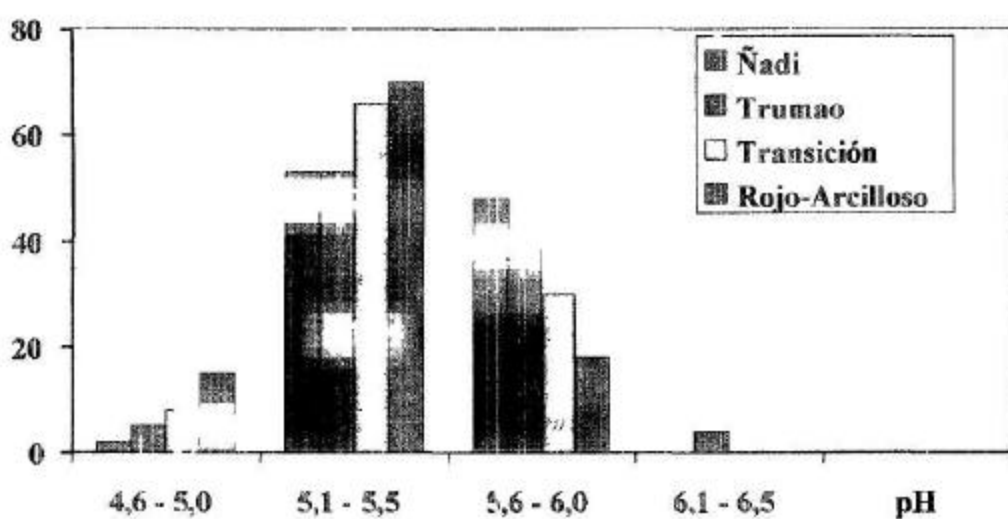


Figura 2., Distribución de frecuencia de muestras provenientes de cuatro agrupaciones de suelos según su pH

Actualmente, en el mercado de los fertilizantes se ofrecen productos que contienen nitrógeno en forma amoniacal (fertilizantes nitroamomacales o amoniacales) o amidada (urea) Estas formas de nitrógeno (amoniacal o amidada) pueden ser oxidadas a nitrito o nitrato, a través de la acción de microorganismos del suelo. Esta transformación es producto de una reacción que libera iones hidrógeno (H^+), produciéndose la acidificación de la solución del suelo. En el Cuadro 2, se señalan algunos fertilizantes ofrecidos en el mercado, incluyendo los que pueden presentar riesgos de acidificación.

Cuadro 2. Alternativas para la fertilización nitrogenada en suelos con riesgos de acidificación.

Productos	CaCO ₃ equivalente en exceso (E) o déficit (D)	
	Kg CaCO ₃ /kg N	Kg CattV100 kg fertilizante
Salitre Na	1,80 (E)	28,80 (E)
Nitrocal	1,57 (E)	24,30 (E)
Supernitro Mg (25% N4% MgO)	0,17 (E)	4,20 (E)
*Urea + Cal (3,6kg CaCO ₃ /kg N)	1,80 (E)	82,80 (E)
Nitroplus (22%N, 7,5% MgO, 12%CaO)	0(neutro)	0 (neutro)
*Urea + Cal (1,8kg CaCO ₃ /kg N)	0(neutro)	0 (neutro)
Supernitro (25%N)	0,14 (D)	3,50 (D)
Nitromag (27%N.5%MgO, 7%CaO)	0,87 (D)	23,60 (D)
Urea (46%N)	1,80 (D)	82,80 (D)

En el cuadro 2, se presenta los índices de acidez o basicidad que tienen los diferentes fertilizantes nitrogenados, expresados en kilogramos de carbonato de calcio puro por kilogramo de nitrógeno aportado por el fertilizante y cantidad de carbonato de calcio por 100 kilogramos de fertilizante. Ambas columnas son equivalentes. Por razones prácticas y debido a las diferentes solubilidades de los productos, se recomienda duplicar o triplicar las cantidades de carbonato de calcio indicadas en el cuadro 2.

Acidez y productividad.

A medida de que los suelos se acidifican se solubilizan minerales que liberan Al a la solución del suelo. Este Al puede alcanzar niveles tóxicos dependiendo de la sensibilidad o tolerancia de los cultivos o forrajeras.

El Al es liberado por el complejo de intercambio, debido a la disminución de las bases y al aumento de iones hidrógeno.

En el intercambio el Al pasa a formar parte de las bases, y sumado al Ca, K, Mg y Na, constituyen la capacidad de intercambio efectiva (CICE). Sin embargo, el índice de saturación de Al (% sat. Al), es más ilustrativo para dimensionar el problema, porque da cuenta de la proporción que este elemento ocupa en la CICE. Cuando el índice de saturación de Al es mayor a 10, se espera que se produzcan síntomas de toxicidad.

Otro aspecto importante que se afecta por la presencia de Al es la actividad microbiológica. Cuando los niveles de Al son altos, esta actividad disminuye, lo que limita o restringe la mineralización y la fijación biológica del N, la mineralización del S y la del P. Además, cuando el pH del suelo disminuye, la capacidad de retención de fósforo aumenta. Esto se debe a la presencia de iones H y de Al en la solución del suelo.

Grados de acidez.

El pH del suelo es el indicador más generalizado de su grado de acidez. Estrictamente mide la concentración de los iones H presentes en la solución del suelo. El pH de la solución medido en agua no es un indicador demasiado riguroso del nivel de la toxicidad de Al, siendo más adecuado utilizar el % de saturación de Al, o también el pH del suelo medido en CaCl_2 .

Corrección de la acidez

Una de las formas de corregir la acidez de los suelos es a través de la aplicación de enmiendas calcáreas, existiendo diferentes materiales de origen mineral que son eficaces para producir este efecto.

Entre las enmiendas calcáreas de uso agrícola se conocen las indicadas en el Cuadro 3. En éste se expresa el valor neutralizante de cada enmienda en relación a un valor de referencia del carbonato de calcio

Cuadro 3. Enmiendas calcáreas con diferente valor neutralizante.

Material	valor neutralizante
‡ carbonato de calcio	100
‡ carbonato de magnesio	119
/ óxido de calcio (cal viva)	178
‡ óxido de magnesio	250
‡ hidróxido de calcio (cal apagada)	135
‡ hidróxido de magnesio	172
‡ dolomita (carbonato de Ca y de Mg)	108
‡ hidróxido de dolomita	175

La elección de la enmienda más adecuada depende de dos factores determinantes:

- ‡ calidad de la enmienda
- ‡ costo de la enmienda.

La calidad de la enmienda se mide en base a :

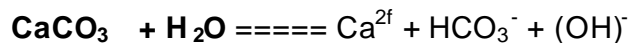
- ! su poder de **neutralización**
- / tamaño de partículas (grado de finura)
- / contenido de magnesio.

Como son productos de lenta solubilidad, el tamaño de las partículas adquiere gran importancia. A mayor finura hay mayor contacto entre la enmienda y las partículas de suelo.

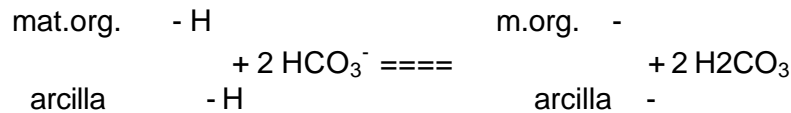
Reacciones de neutralización.

En general, todas las enmiendas tienen reacciones similares en el suelo. Para ilustrar el proceso de neutralización se considerará al carbonato de calcio, por ser la enmienda más utilizada en el medio :

! Hidrólisis del carbonato de calcio (CaCO₃)

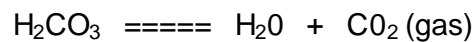


Captura de factores ácidos (H +)

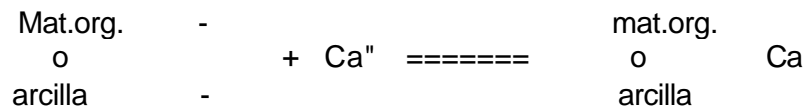


El ion bicarbonato (HCO₃⁻) captura 2 H⁺ que están en el coloide y producen acidez, dejando dos sitios vacíos (momentáneamente).

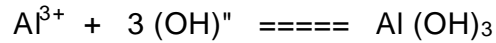
! Disociación del ácido carbónico (H₂CO₃)



! Ocupación de los sitios vacíos (por los iones Ca)



¡ Neutralización del Al



El ion Al activo es neutralizado por iones $(\text{OH})^-$ provenientes de la hidrólisis del carbonato de calcio, formando un producto estable y fisico-químicamente neutro.

Normas técnicas del uso de la cal.

Tiempo de incubación

Es el tiempo que la enmienda debe estar en contacto con el suelo, previo a una siembra. Este proceso se activa con la incorporación y mezcla del material con el suelo. Según las condiciones de temperatura y humedad, el tiempo de incubación puede variar de uno a varios meses.

Material encalante.

En el país no existe gran diversidad de materiales que se puedan utilizar para neutralizar la acidez del suelo. En la actualidad se pueden encontrar las enmiendas que se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido de carbonato de calcio equivalente y otras características

Producto Comercial	% CaCO_3 Equivalente	Otras características
Fango IANSA	40	Alta humedad, producto difícil de aplicar, heterogéneo, compactado
Cal IANSA	58	30% de humedad, presenta algunos terrones. Contiene N,P y otros elementos.
Magnecal	98	Contiene Mg (15 a 16% de MgO) Producto seco de alta finura
Soprocal	90	0,6 a 1,2% de $\text{Ca} (\text{OH})_2$ (más rápido) 0,6 a 1,2% de MgO. Seco de alta finura
Conchas molidas	95	Varios orígenes y características

! Dosis de cal

La dosis de cal depende fundamentalmente de los siguientes factores :

- ! acidez actual del suelo (pH y % de saturación de Al)
- ! contenido de materia orgánica del suelo
- ! tipo de suelo (contenido y calidad de arcilla)
- ! poder neutralizante del material
- ! mallaje o grado de finura del material encalante

El efecto del grado de finura del material se observa en el resultado experimental que se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Efectividad de la calcita según el grado de finura.

Tamaño	Efectividad
Partículas	%
> 2 mm	inefectiva
0,25 a 2 mm	50 %
<0,25mm	100%

R Campillo, 1996.

Para calcular la dosis de enmiendas calcáreas se puede hacer utilizando parámetros del suelos como el pH, para lo cual se debe conocer la capacidad tampón del suelo, esto significa la cantidad de Carbonato de Calcio necesaria para elevar el pH en 0,1 unidad. Esto se puede expresar en la siguiente fórmula:

Cálculo de Dosis de CaCO_3

$$? \text{ Dosis de CaCO}_3 = \frac{(\text{pH alcanzar} - \text{pH inicial})}{d \text{ pH}} / (\text{Kg de CaCO}_3/\text{ha})$$

para utilizar esta relación se requiere conocer el poder tampón de cada tipo de suelo y profundidad a que se quiere generar la corrección de pH, las que se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6: Dosis de CaCO_3 /ha para elevar el pH en 0,1 unidad para suelos de la Xª Región.

Tipo suelo	Profundidad (cm)		
	0 - 5	7,5 – 12,5	15 – 20
Ñadis	400	800	1200
Trumaos	360	730	1100
Transición	330	670	1000
Rojos	300	600	900

El mismo criterio de cálculo se puede utilizar para corregir la acidez medida como Saturación de Aluminio, según la siguiente fórmula:

$$? \text{ Dosis de } \text{CaCO}_3 = \frac{(\% \text{Sat Al inicial} - \% \text{Sat Al alcanzar})}{d \text{ Sat Al}} \text{ (Kg de } \text{CaCO}_3/\text{ha)}$$

Para este parámetro no se tiene una tabla directa de las cantidades de Cal para reducir la saturación de aluminio en un 1%, ya que éstas son variables según la Saturación inicial, ya que se comporta en forma exponencial o logarítmica, es decir, con una saturación de aluminio inicial alta (ej:40%), la cantidad de cal para baja en 1 % es baja (90 Kg/ha). En cambio para valores más bajos (ej: 10%) la cantidad de cal es alta (400 Kg/ha). Esto dependerá de la profundidad a que se quiere corregir y del tipo de suelo.

Dentro de las enmiendas calcáreas se incluye el sulfato de calcio o yeso. Este material se utiliza como enmienda en suelos salinos sódicos pero no tiene un efecto neutralizador de la acidez de los suelos, como se muestra en el siguiente experimento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del carbonato de calcio (yeso) sobre las características químicas de un suelo Osorno después de un año aplicación (profundidad de 0 a 20 cm).

Yeso Ton/ha	Ca Int. Cmol+/kg	pH agua	pH CaCl_2	Alint.
0	3,71	5,50	4,80	0,34
1,7	4,21	5,50	4,80	0,24
3,4	4,72	5,40	4,80	0,33
6,8	5,43	5,40	4,80	0,30

Fuente. R. Campillo, 1996.

Como se aprecia en el cuadro 7, las dosis crecientes de sulfato de calcio (yeso agrícola) producen un incremento en los niveles de calcio intercambiable del suelo, pero no tiene efecto sobre el pH ni sobre el aluminio de intercambio.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMPILLO, R. 1994. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la Décima Región. En: Campillo y Bortolameolli (ed). Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros. Serie Remehue N°53. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue, Osorno, Chile. 135 p.
- CAMPILLO, R. 1996. Encalado de suelos ácidos para producción de alfalfa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile, Ministerio de Agricultura. Tierra Adentro, N° 8. p. 41- 44.
- SADZAWKA, ANGÉLICA Y RICARDO CAMPILLO. 1999. Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. En: Alfaro, M. (ed). Curso de Capacitación para operadores del Programa de Recuperación de suelos degradados Zona Sur (Regiones IX y X). Serie Remehue N° 71, Centro Regional de investigación Remehue (INIA), Osorno, Chile, p. 93 - 103.
- SUAREZ, DOMINGO. 1991. Diagnóstico de las necesidades de encalado. En: Acidez y encalado de suelos en la Región de los Lagos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Estación Experimental Remehue (Osorno), Serie Remehue N° 15, p. 77 - 94.
- SUAREZ, DOMINGO. 1994. Uso de cales y fertilizantes en praderas de la zona sur. En: Latriile, L. (ed). Producción Animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal, Valdivia (Chile), Serie B-18, p. 39-65.
- SUAREZ, DOMINGO. 1996. Acidificación de suelos y uso de fertilizantes nitrogenados. En.: Latriile, L. (ed). Producción Animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal, Valdivia (Chile), Serie B- 20, p: 145 - 161.

SIEMBRA Y REGENERACION DE PRADERAS PERMANENTES.

Nolberto Teuber K.
Ing. Agrónomo, Ph.D.
CRI Remehue.
Osorno.

1. INTRODUCCION.

En la Décima Región se encuentra el 11% de la superficie total de praderas de Chile, siendo ésta la región de mayor importancia del país en el aspecto de praderas y en la implementación de sistemas de producción animal basados en su utilización a pastoreo. Aquí existen alrededor de 1,48 millones de hectáreas.

Las praderas naturalizadas (49%), tienen especies de bajo valor forrajero, presentan bajo rendimiento de materia seca, son muy estacionales en su crecimiento y se desarrollan en suelos de baja fertilidad. En cambio las praderas mejoradas (38%) y sembradas (13%), presentan mejores especies botánicas y consecuentemente mayor rendimiento y calidad nutritiva.

Por resultados de investigación, se sabe que la aplicación de fertilizantes en cantidad y en balance adecuado entre los macro y micronutrientes, posibilita la recuperación de una pradera degradada en el tiempo.

El establecimiento directo de una pradera permanente en un suelo de alta fertilidad es una inversión biológica y económicamente rentable. En la misma dirección se plantea la regeneración, como una tecnología disponible que permite incrementar la productividad y calidad de las praderas.

2. ESTABLECIMIENTO DE PRADERAS PERMANENTES.

El éxito en el establecimiento directo de una pradera permanente debe considerar la atención, supervisión, ejecución y el control de los diferentes aspectos técnicos involucrados en el proceso por parte del propietario o del administrador del predio.

Los aspectos más importantes a considerar para tener éxito en el establecimiento de praderas se destacan a continuación:

- **Nivel de fertilidad del suelo.**

Las características físicas del suelo (textura, estructura, profundidad efectiva, pendiente, drenaje interno y externo, capacidad de retención de humedad, etc.), además de las características químicas (macro y micronutrientes, acidez, contenido de materia orgánica, aluminio disponible entre otros), debe tenerse en cuenta para elegir las especies forrajeras y/o cultivares más adecuados a cada caso.

Las principales limitaciones químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas del sur del país, comúnmente denominados "trumaos" son:

- Bajo nivel de fósforo disponible,
- alta acidez (o pH muy bajo),
- bajo contenido de calcio,
- reducida suma de bases y
- alto contenido de aluminio de intercambio.

Los aspectos químicos antes indicados deben ser mejorados para lograr una pradera permanente altamente productiva y persistente.

En el Cuadro 1 se indica el nivel de fertilidad promedio de los suelos de la Décima Región en muestras obtenidas en los primeros 15 cm de profundidad.

Cuadro 1. Nivel de fertilidad promedio, categoría y la meta a lograr en suelos volcánicos de la Décima Región.

	Región	Categoría	Meta
Fósforo (ppm)	4	Muy bajo	Sobre 20
pH (al agua)	5,4	Fuertemente ácido	5,8
Calcio (cmol(+)/kg)	2	Muy bajo	Sobre 9
Potasio (cmol(+)/kg)	0,3	Medio	0,5
Magnesio (cmol(+)/kg)	0,5	Medio	Sobre 1
Suma de bases (cmol(+)/kg)	3	Bajo	Sobre 11
Aluminio de intercambio (cmol(+)/kg)	0,6	Alto	Menor a 0,2
Saturación de aluminio (%)	17	Muy alto	Menor a 3

Fuente: Adaptado de Campillo (1994).

El nivel de fertilidad indicado como promedio regional del Cuadro 1, debe corregirse para alcanzar o superar el nivel de fertilidad indicado como meta. Esto puede lograrse a través de uno o más cultivos antes de establecer la pradera definitiva o iniciar un plan de mejoramiento de la pradera establecida a través de diferentes normas técnicas de manejo y de fertilización.

Un detalle esquemático de mejoramiento de la condición del suelo y de las praderas se indica en la Figura 1 del Anexo, donde se mencionan dos caminos de mejoramiento definidos como “vía rápida” y “vía lenta”.

- **Cultivos de rotación o manejo precedente.**

La recuperación del nivel de fertilidad del suelo es una tarea que requiere alta inversión en fertilizantes, servicio de maquinarias y otros insumos. Una forma de incrementarse es a través de diferentes cultivos precedentes a la pradera definitiva en un programa de rotaciones, con el objeto de lograr al menos dos cosas:

- **Incrementar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y**
- **recuperar la inversión realizada al vender el producto de los cultivos.**

Como ejemplo, la recuperación de un suelo degradado por medio de cultivos en rotación, podría iniciarse con papas o remolacha, seguir con un cereal y terminar la rotación con una pradera anual (ballica anual y/o avena), para finalmente establecer la pradera permanente definitiva en un suelo corregido de deficiencias nutricionales.

Es pertinente considerar otros cultivos anuales y las secuencias de rotaciones que sean más adecuadas a cada situación particular, siempre que se cumpla con la premisa de aumentar la fertilidad.

El número de cultivos anuales que precederá al establecimiento de la pradera definitiva, dependerá del nivel de fertilidad inicial del suelo y del incremento en la disponibilidad de nutrientes que se obtenga a través de los distintos cultivos.

El mejoramiento obtenido dentro de la rotación de cultivos puede ser conocido sólo mediante el análisis de suelo realizado periódicamente en el sector a mejorar.

- **Preparación de la “cama de semillas”.**

La “cama de semillas” (o barbecho) para recibir una siembra directa de praderas debe ser mullida, firme y libre de terrones, con el fin de permitir un íntimo contacto entre el suelo y las semillas forrajeras, evitando la posibilidad de que semillas queden ubicadas en espacios de aire en el suelo.

Una buena “cama de semillas” se logra compactando el suelo con un rodillo antes y después de la labor de siembra. Esto significa que al caminar en el barbecho el zapato no debe enterrarse más allá de su taco y suela. Un suelo idealmente preparado se observa en la Figura 2 del Anexo.

Una buena “cama de semillas” además de lo anterior, debe contemplar la reparación de imperfecciones en el microrelieve del potrero. Esta labor es sencilla, pudiéndose usar un “cuartón” de madera (alrededor de 8x8 pulgadas) lo suficientemente pesado y largo, aplicado casi perpendicularmente a la línea de avance de la tracción (animal o tractor).

- **Tamaño de semillas.**

Las semillas de las especies forrajeras son de tamaño muy pequeño, si se las compara con otras semillas como los cereales.

En el Cuadro 2 se indica el peso, tamaño y número de semillas por unidad de peso en las principales especies forrajeras (leguminosas y gramíneas), comparándolas con los cereales tradicionales.

Cuadro 2. Peso, tamaño y cantidad de semillas en diferentes especies forrajeras y cereales.

Especies	Peso de 1.000 semillas	Tamaño de semillas	Cantidad de semillas
	(mg)	Ancho x largo (mm)	(N°/kg)
Leguminosas:			
Trébol blanco	710	1x2	1.500.000
Trébol rosado	1.900	1x2,5	500.000
Alfalfa	2.000	1,1x2,5	500.000
Alfalfa chilota	500	0,5x0,6	2.000.000
Gramíneas:			
Ballica perenne	2.000	1x5	500.000
Ballica anual	4.000	1,3x6	500.000
Pasto ovillo	900	1x4	1.000.000
Festuca	2.600	1x6	400.000
Cereales:			
Avena	41.000	3x10	24.000
Trigo	48.000	3x5	21.000
Cebada	51.000	3x9	20.000

El tamaño tan pequeño de las semillas forrajeras exige especial cuidado en la preparación de la cama de semillas y en la profundidad de siembra. Como referencia se debería tener en cuenta que una

semilla de trigo es casi 70 veces más pesada que una semilla de trébol blanco o 24 veces más pesada que una semilla de ballica perenne.

- **Especies y cultivares.**

Las gramíneas y las leguminosas son los dos grupos de especies forrajeras más importantes en la producción animal en el sur de Chile.

Las gramíneas forrajeras más comúnmente usadas son: ballica (perenne o inglesa, bianual o de rotación corta y anual o italiana), el pasto ovilla y la festuca, siendo ballica la especie de mayor importancia entre los productores en nuestro medio. Las leguminosas forrajeras importantes son el trébol blanco, trébol rosado y alfalfa.

Los cultivares forrajeros que han tenido mayor preferencia comercial en los años 1998 y 1999 en la Xa. Región, se indican en el listado siguiente:

Gramíneas:

- Ballica perenne: Nui(I), Yatsyn 1(I), Impact(T), Samson(I), Ellet(I), Embassy(P).
- Ballica bianual: Concord, Montblanc, Flanker.
- Ballica anual: Tama.
- Pasto ovilla: Wana, Kara.
- Festuca: Manade, Fawn.

La precocidad se define por la aparición de espiga en ballica perenne. Existen cultivares de ballica: precoz (P), intermedia (I) y tardía (T).

Leguminosas:

- Trébol blanco*: Huia(I), Pitau(I), Sustain(I), Aran(HG), Kopu(HG).
- Trébol rosado: Quiñequeli.
- Alfalfa: WL318, WL320, WL323, WL325 HQ.
- Lotera: Maku.

*: (I)=hoja intermedia, (HG)=hoja grande.

Además de los cultivares de gramíneas y leguminosas antes indicados; en el comercio regional existen los que se señalan en la siguiente lista:

- **Gramíneas.**

- Ballica perenne: Aries, Anita, Bronsyn, Dobson, Jumbo, Marathon(I), Meridian, Napoleón, Nevis, Quartet, Revital100, Tetrelite, Vedette(P).
- Ballica híbrida: Galaxy, Geysler, Greenstone, Maverick.
- Ballica bianual:.... Ajax, Conker, Dominó, Forranet 100, Sabalan, Sikem, Tetraflorum, Tetrone.
- Ballica anual: Abercomo, Barspectra.
- Pasto ovilla: Apanui, Potomac, Tekapo.
- Festuca: Advance, Dovey, Fuego, K-31.

- **Leguminosas.**

- Trébol blanco* : Challenge, Lebons, Prestige, Prop(HP), Tahora(HP), Will.

Alfalfa : Agressiva, Joya, Pionner5472.
Lotería : San Gabriel.

En el trébol blanco hay tres grupos que se diferencian por el tamaño de sus folíolos.

*: : Tipos de hoja grande (HG), de hojas pequeñas (HP) e intermedios.

Nota: Los antecedentes sobre especies y cultivares fueron entregados por las empresas comerciales: AGROSORNO, ANASAC, ECSA, COOPRINSEM Y FEROSOR.

- **Tolerancia a la sequía.**

Hay diferencias entre especies en la tolerancia a condiciones de déficit hídrico o a la sequía. Dentro de las gramíneas el pasto ovillo y la festuca toleran mejor que las ballicas una condición de estrés hídrico, mientras que entre las leguminosas destacan la alfalfa y el trébol rosado por ser más tolerantes a la sequía que el trébol blanco.

- **Calidad de semillas.**

Las semillas forrajeras certificadas deben comercializarse con al menos un 85% de germinación y sobre un 95% de semillas puras. Certificado o antecedentes que el cliente debe exigir al momento de su adquisición en las casas comerciales.

Es frecuente encontrar una siembra técnicamente bien realizada (excelente preparación de la cama de semillas, una fertilización adecuada en cantidad y nutrientes, etc.), pero un pobre establecimiento. Esto muchas veces se debe al uso de semillas de mala calidad (bajo poder germinativo), en circunstancias en que las semillas forrajeras no representan más del 12 a 14% del costo total, comparado con el ítem fertilizantes que es responsable del 50% del costo de establecimiento de la pradera.

- **Mezclas de especies forrajeras.**

Normalmente las especies forrajeras se siembran en mezcla entre gramíneas y leguminosas. También existe la posibilidad de mezclar más de un cultivar de cada especie.

Actualmente es común sembrar praderas permanentes empleando dos cultivares de gramíneas y dos cultivares de leguminosas. De hecho existen mezclas comerciales a la venta. Ejemplo: ballica perenne (cultivar Dobson y Vedette) en mezcla con trébol blanco (cultivar Aran y Sustain), completando alrededor de 20 y 4 kg/ha de semillas de ballicas y trébol, respectivamente.

Las diferentes modalidades de configurar una mezcla dependerán de los objetivos del productor, es decir si la pradera se utilizará exclusivamente en pastoreo o eventualmente se cortará para su conservación como ensilaje. Si se realiza esta última alternativa, nunca rezagar por un período mayor a 60 días, porque períodos de rezago excesivamente largos retardan el rebrote y degradan la calidad botánica y el rendimiento de materia seca de la pradera (Teuber *et al.* 1994).

- **Siembras asociadas a cereales.**

El establecimiento de una mezcla forrajera con especies perennes, nunca debe realizarse asociada a cereales. Los cereales son especies anuales de rápido crecimiento y por lo tanto muy competitivos con las especies forrajeras.

La siembra entre cereales y especies forrajeras siempre afectan el rendimiento, tanto del cereal como de las forrajeras.

Según los resultados obtenidos por Teuber (1981), el rendimiento anual de materia seca de una pradera permanente asociada a trigo de invierno fue un 40% y la pradera en asociación a trigo de primavera fue tan sólo un 20% del rendimiento obtenido en la siembra de la pradera sola (Figura 3 del Anexo). Además, la siembra asociada a trigo posterga la utilización de la pradera por largo tiempo después de la cosecha del grano.

- **Epoca de siembra.**

Las épocas tradicionales de siembra de forrajeras son al final del verano (febrero a marzo) y al final del invierno (agosto a septiembre), las que comúnmente se conocen como siembra de otoño y de primavera, respectivamente.

El establecimiento de las especies forrajeras perennes es mejor en siembra de otoño. Sin embargo, ambas épocas tienen ventajas y desventajas:

Siembra de otoño. La ventaja es la existencia de temperaturas adecuadas para la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas. Además hay menor competencia de malezas.

La desventaja es que bajo una condición de verano y otoño secos, no hay suficiente humedad disponible en el suelo para la germinación. Además la siembra tardía en otoño (abril) podría ocasionar descalce en las leguminosas como consecuencia de las heladas al comienzo de otoño e invierno.

Siembra de primavera. La ventaja es que en esa época existe suficiente humedad disponible en el suelo para la germinación de las semillas. Además la temperatura comienza a incrementarse, favoreciéndose el proceso de germinación y la emergencia de las plántulas.

La desventaja es la mayor incidencia de malezas, se posterga la primera utilización de la pradera en la temporada de crecimiento. Además en una siembra muy tardía de primavera podría existir baja disponibilidad de humedad en el suelo para la germinación, reduciéndose la población de plantas de las especies sembradas.

- **Método y profundidad de siembra.**

En la Xa. Región se conoce la siembra “al voleo” y en líneas (o hileras) separadas a 18 o 20cm de distancia al usar una máquina regeneradora o cerealera, respectivamente.

Es ideal la siembra al voleo, porque permite la distribución al azar de las semillas en el suelo. Si el nivel de fertilidad del suelo es alto, la siembra al voleo es una excelente alternativa ya que ofrece la opción de similar competencia entre las especies gramíneas y leguminosas.

En una siembra al voleo, es perfecta la máquina sembradora Brillion (Anexo Figura 2). Ésta consiste de dos rodillos corrugados que permiten una distribución y profundidad uniforme de las semillas en el suelo, como se indica en las Figuras 4 y 5 del Anexo.

La siembra en líneas es el método tradicional en el sur de Chile, ya que se realiza con la máquina cerealera (con o sin cajón anexo para semillas forrajeras), disponible en muchos predios de esta zona. También se utilizan distintos tipos de máquinas regeneradoras.

La mezcla de las semillas con el fertilizante es una práctica no recomendable, porque al usar una máquina sin cajón forrajero, ambos insumos quedan localizados en el mismo sitio y profundidad. Esto podría producir daño por toxicidad en la germinación de las semillas y consecuentemente en la población inicial de plántulas y en el establecimiento de la pradera.

Antecedentes sobre el efecto de la profundidad de siembra en el establecimiento de diferentes especies forrajeras son entregados por Cullen (1966), en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Efecto de diferente profundidad de siembra en el porcentaje de establecimiento de gramíneas y leguminosas forrajeras.

Profundidad de siembra (cm)	Ballica perenne	Trébol blanco	Pasto ovilla	Trébol subterráneo
0,6	81	94	33	79
1,3	81	91	25	96
2,5	76	83	19	96
3,8	65	72	7	96

En relación a la profundidad de siembra Langer (1981) recomienda profundidades de 1 a 1,5cm para las semillas más pequeñas y entre 1,5 a 2,5cm para las especies leguminosas y gramíneas forrajeras que tienen semillas de mayor tamaño.

Otra posibilidad es la sembradora portátil tipo “ciclón” de muy bajo costo y de gran utilidad para distribuir las pequeñas semillas de leguminosas forrajeras. Esta siembra también exige un suelo fértil y el tapado de las semillas con una rastra de sacos, de ramas y/o cadenas para localizar las semillas a una profundidad no mayor a 2 cm, de lo contrario se deteriora la población de gramíneas como se indicó en el Cuadro 3.

- **Dosis de semillas.**

Para definir la dosis de semillas a sembrar es necesario tener en cuenta el tamaño de las semillas y el número de semillas contenidas en un kilogramo. Esto permite estimar el número de plántulas que potencialmente se podrían lograr al sembrar una cantidad conocida de semillas por unidad de superficie.

Cuadro 4. Dosis de semillas y población de plántulas.

Población de plántulas (Nº/m²)
--

Especies	Dosis (kg/ha)	Potencial	A los 60 días
Ballica perenne	15 a 20	675 a 900	400
Pasto ovilla	10 a 12	800 a 960	360
Festuca	20 a 25	680 a 850	310
Trébol blanco	3 a 4	405 a 540	110
Trébol rosado	8 a 10	360 a 450	150
Alfalfa	20 a 25	900 a 1125	200

La dosis de semillas indicada en el Cuadro 4 se presenta en un rango, cuyo valor más alto debería considerarse cuando la preparación de la cama de semillas, sistema de siembra u otros factores inherentes a la siembra no son ideales para la germinación.

La población potencial de plántulas se calculó en base de semillas certificadas con un 90% de germinación en ballica perenne, trébol blanco, trébol rosado y alfalfa; con un 85% en festuca y con un 80% en pasto ovilla.

La población de plántulas a los 60 días posteriores a la fecha de siembra (Cuadro 4), corresponde a resultados promedios obtenidos en los jardines de introducción de especies y cultivares forrajeros evaluados en el CRI Remehue, bajo óptimas condiciones agronómicas.

El trébol rosado, siendo una especie leguminosa perenne, no se recomienda sembrarlo con especies gramíneas perennes. Es más pertinente mezclarlo con 25 a 30 kg/ha de ballicas de rotación corta para lograr un excelente volumen y calidad de forraje.

La alfalfa siempre se establece como especie pura en siembra directa, en cambio las gramíneas forrajeras perennes tienen mayor afinidad con el trébol blanco.

En el Cuadro 4, además se observa el gran deterioro que ocurre entre el potencial de semillas depositadas en el suelo y la población de plantas que finalmente se logra. Exceptuando a la ballica perenne, la población de plántulas de las restantes especies a los 60 días de la siembra, está alrededor del 40% del potencial.

- **Inoculación y peletización de leguminosas.**

Las leguminosas se inoculan con una bacteria que fija el nitrógeno del aire, comúnmente conocida como rizobio. Estas bacterias fijadoras de nitrógeno se comercializan bajo el nombre genérico de “inoculante” para trébol o alfalfa.

El trébol blanco y el rosado se inoculan con un rizobio específico (*Rhizobium trifolii*) y la alfalfa se inocula con otro rizobio específico (*Rhizobium meliloti*).

La inoculación de leguminosas es una práctica necesaria en toda siembra de praderas mixtas donde se incluyen tréboles o en siembras de alfalfa, especialmente en sitios donde nunca antes se ha incluido inoculantes. Es una labor fácil de realizar y de bajo costo.

La peletización consiste en cubrir la semilla inoculada con el fin de proporcionar el mejor ambiente para la sobrevivencia de los rizobios y establecer la simbiosis entre el microorganismo y la planta.

Inoculación y peletización de leguminosas y desinfección de semillas gramíneas es un servicio que hoy día ofrecen las empresas comerciales, con un costo agregado insignificante.

Cuadro 5. Ingredientes en inoculación y peletización de semillas de trébol.

Ingredientes	Trébol blanco	Trébol rosado
Semillas (kg)	10	20
Cal (kg)	4	8
Adherentes posibles:		
- Tylose (g) ó	24	40
- Agua azucarada (%) ó	40	40
- Goma arábiga (%)	20	20
Agua (litro)	1,2	2
Inoculante:	Usar el doble de la dosis indicada por el fabricante.	

Las cantidades de semillas a inocular y peletizar pueden variar en forma proporcional a las indicadas en el Cuadro 5. Además se recomienda una dosis mayor de inoculante debido al deterioro o pérdida de efectividad del inoculante por almacenaje prolongado y/o en malas condiciones ambientales para la sobrevivencia de los rizobios.

Las semillas recién inoculadas y peletizadas deben secarse a la sombra durante un mínimo de 12 horas, para lo cual se extiende una delgada capa sobre una superficie plana, limpia y seca. Antecedentes del procedimiento de inoculación y peletización se indican en Torres (1993).

- **Fertilización.**

Se enfatiza que un exitoso establecimiento de praderas debe considerar adecuados niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y microelementos. Además de reducir la acidez (pH) y eliminar el contenido de aluminio disponible en el suelo.

- **Control de malezas.**

Antes de realizar la siembra de la pradera definitiva, la rotación de cultivos anuales es un manejo que permite el control de las malezas que presentan fuerte competencia a las especies pratenses. El uso de semillas puras o libres de malezas es otra medida que evita la competencia innecesaria de plantas no deseables.

Durante la labor de siembra es necesario estar permanentemente atento al funcionamiento de la máquina sembradora, evitando cualquier anomalía tanto en la dosificación de semillas como de los fertilizantes.

Durante la etapa de establecimiento existen tres formas de controlar las malezas:

- Animales.** El pastoreo con animales livianos (terneros) es una práctica recomendable, siempre y cuando no se produzca daño por pisoteo en la pradera y/o las plantas sean arrancadas durante su utilización.
- Mecánico.** Mediante el uso de una barra segadora o rana. Cualquier equipo podría utilizarse luego del primer pastoreo, con el objeto de controlar las especies indeseables y consecuentemente eliminar la vegetación no consumida por los animales, además de desparramar parte de las bostas.
- Químico.** Esta práctica debería evitarse hasta donde sea posible, debido al conocido deterioro ambiental que ocasionan los herbicidas y en general los pesticidas.

- **Control de plagas y enfermedades.**

En el período de establecimiento de la pradera no debería presentarse problemas de plagas, debido a que un alto control de la población insectil ocurre con el laboreo del suelo, tanto en los cultivos previos a la siembra de la pradera como en la preparación del suelo para el establecimiento de la pradera permanente. En ambas circunstancias las aves silvestres realizan alto consumo de larvas y adultos de insectos.

Una vez que la pradera se ha establecido y especialmente en su segundo año, es necesario revisar en forma periódica y oportuna el número y tamaño de las larvas de los distintos insectos plagas de las praderas, especialmente en lo referente a gusanos blancos y cuncunillas negras. Cisternas (1987 y 1992) publica antecedentes de muestreo, identificación y control de cuncunilla negra y otras plagas en praderas.

- **Drenaje y riego.**

En un predio es bastante común encontrarse con problemas de diferente magnitud en cuanto al drenaje, incluso dentro de un potrero puede existir distinto grado de mal drenaje.

Al decidir el establecimiento de una pradera permanente es necesario solucionar tales problemas, mejorando las vías de drenaje, limpiando los canales, aplicando el arado topo y solucionando el microrelieve del terreno. Lo anterior es muy importante, especialmente en una región donde en promedio precipitan más de 1.200 mm al año y con alta concentración de lluvias entre mayo y agosto, con un incremento significativo de norte a sur, al tiempo que ocurren déficit hídricos o períodos muy secos en otras épocas del año.

El riego es una alternativa tecnológica para solucionar una eventual falta de humedad disponible en el suelo.

El riego por aspersión es prácticamente la única alternativa en el sur de Chile. Sin embargo, es una tecnología de alto costo para ser usada en praderas a pesar de jugar un papel muy importante en el rendimiento, composición botánica y persistencia de las praderas, como lo indican los resultados de Ortega (1992), señalados en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Efecto del riego en el rendimiento y composición botánica de una pradera permanente.

	Riego	Incremento por
--	-------	----------------

	Sin	Con	riego (%)
Rendimiento anual (ton ms/ha)	7,8	11,5	47
Composición botánica (%bps)			
Ballica perenne	1	26	2.600
Trébol blanco	10	34	340
Otras gramíneas	63	33	- 48
Material muerto	17	4	- 76

El riego tiene un gran efecto en la persistencia de las especies forrajeras sembradas. En el Cuadro 6 se aprecia el fuerte incremento en el aporte de ballica perenne y de trébol blanco en la pradera, además de un aumento cercano al 50% en el rendimiento de materia seca que por efecto del riego, se produce preferentemente en los meses estivales.

3. REGENERACION DE PRADERAS.

La regeneración de praderas es una tecnología que permite incorporar fertilizantes y semillas forrajeras de mejores características productivas y nutritivas en una comunidad vegetal existente, con mínima alteración del suelo.

El establecimiento exitoso de las especies forrajeras a través de la regeneración exige un suelo sin limitaciones de fertilidad, principalmente en macronutrientes, acidez y toxicidad de aluminio.

- **Características de regeneración y siembra directa.**

En el Cuadro 7 se indican algunas características cualitativas y comparativas de la regeneración en relación con la siembra directa o establecimiento convencional.

Cuadro 7. Principales características cualitativas de la regeneración y de la siembra directa.

	Regeneración	Siembra directa
Costo	Menor	Mayor
Labor	Rápida	Lenta
Posibilidad de erosión	Menor	Mayor
Población de plantas establecidas	Menor	Mayor
Ataque de plagas	Mayor	Menor
Posibilidad de descalce	Menor	Mayor
Suelos	Arables y no arables	Sólo arables
Posibilidad de éxito en el establecimiento	Menor	Mayor

- **Métodos de regeneración.**

Balocchi y Cuevas (1982) indican cuatro métodos de regeneración de praderas:

Al voleo. Las semillas y el fertilizante se esparcen lo más homogéneamente posible en el suelo. Puede realizarse a mano o con una máquina manual tipo ciclón y/o tolva o trompo fertilizador.

Potrero de sacrificio. Contempla la destrucción de la vegetación existente por pisoteo intenso de los animales en el invierno, lo que se produce al suministrar alimentos en sitios o potreros reducidos y alta concentración de animales. Esta práctica incrementa la fertilidad del suelo y hacia el final del invierno el suelo se empareja con rastrajes y rodillo, para incorporar las semillas y los fertilizantes con máquina (cerealera o regeneradora) o al voleo.

A través del animal: Consiste en incluir semillas en el alimento de los animales (heno, concentrado, etc.), quienes las ingieren y eliminan en las fecas por lo que es conveniente desparramar las bostas. Tiene mejor respuesta en leguminosas que en gramíneas.

Con máquina. Deja las semillas y el fertilizante localizado en líneas. La máquina deja las semillas cubiertas por el suelo o la champa, hay menor consumo de semillas por aves silvestres, se obtiene una germinación más homogénea, se puede disminuir la dosis de semillas y se logra mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes.

- **Tipos de máquinas regeneradoras.**

Las máquinas regeneradoras se diferencian por las características del implemento que realiza la labor. Existen diferentes tipos:

De cincel. Posee un cultivador que forma un surco más ancho subsuperficialmente, donde se localizan las semillas y el fertilizante. Hay poca pérdida de humedad y las semillas quedan cubiertas por la champa que se mantiene casi sin alteración. Su empleo es recomendable en suelos con baja capacidad de retención de humedad.

De zapata. Contiene un implemento que abre un surco de unos 7 cm de ancho y las semillas se localizan más superficialmente que los fertilizantes. Sobre cada surco se arrastra una cadena que remueve el suelo y las semillas.

De discos. Tiene discos independientes que cortan la champa y abren una ranura donde caen las semillas y los fertilizantes. Cuando la ranura queda muy abierta, hay muchas semillas expuestas a las aves y deshidratación. Esta máquina requiere baja fuerza de tracción.

De disco rotativo. Dispone de un pequeño disco rotativo que prepara una angosta franja de suelo (alrededor de 5 cm de ancho), donde caen las semillas y el fertilizante, que son tapados por un rodillo liso individual para cada surco.

De disco triple. Tiene un disco frontal que corta la champa. Posteriormente hay un cuerpo con dos discos juntos que abren el surco en forma de "V", donde caen las semillas y el fertilizante. Esta máquina compacta el surco, quedando mucha semilla

- **Suelo y topografía.**

En la regeneración de praderas, al igual que en una siembra directa, hay que tener en cuenta las características físicas del suelo, principalmente que tengan buen drenaje y buena capacidad de retención

de humedad. En un suelo muy liviano existe el peligro de perder humedad fácilmente y ocasionar problemas en la germinación de las semillas.

La labor de regeneración es factible de ejecutarla en suelos de fuertes pendientes, incluso en lugares inaccesibles para una máquina a tracción mecánica, donde es aplicable la siembra al voleo (a mano o con el tipo ciclón).

El límite topográfico o pendiente para realizar una faena de regeneración con una máquina a tracción mecánica está definido por el punto en que la inclinación del terreno no ponga en riesgo la estabilidad del tractor.

- **Epoca de regeneración.**

La época en que se realiza esta labor es de gran importancia, ya que la humedad y la temperatura son los dos factores que definen el proceso de germinación de las semillas.

En la Xa Región el mes de marzo (época de otoño) es el mejor momento para regenerar praderas, incluso es posible realizar la labor en un suelo seco (siembra en polvo), teniendo la seguridad de que hacia el final de marzo comienzan las precipitaciones efectivas y la temperatura aún es adecuada para estimular el proceso de germinación y emergencia de las plántulas.

En situaciones especiales es pertinente la regeneración en primavera (agosto a septiembre). Ejemplo, cuando la regeneración se realiza con ballicas anuales y bianuales, que compiten bien con la pradera residente durante el crecimiento primaveral o cuando existe la posibilidad de anegamiento prolongado durante el invierno (suelos de vegas o Ñadi), circunstancias en las que una siembra de otoño podría tener alto riesgo de perderse. También la regeneración en un potrero de sacrificio debe realizarse en la primavera.

- **Especies y cultivares.**

Las especies y cultivares de las forrajeras a emplear en una regeneración deben ser agresivas y con buen vigor de plántulas para lograr un rápido desarrollo y puedan competir en buena forma con la vegetación residente.

Entre las gramíneas, las ballicas anuales y las de rotación corta o bianuales cumplen con las características anteriores. Sin embargo, con las ballicas perennes también es posible lograr un buen resultado, pero no con pasto ovillo y festucas que son especies de establecimiento más lento.

Generalmente, las leguminosas forrajeras no son tan exitosas para establecerse en siembras a través de la regeneración. A pesar de ello, casi siempre son incluidas en mezcla con las gramíneas.

- **Inoculación y peletización.**

Al igual que en la siembra directa de praderas, la inoculación y peletización de las semillas leguminosas es una práctica recomendable, útil y de bajo costo. Igual que la desinfección de las semillas.

Los ingredientes y cantidades a utilizar en la inoculación y peletización son los mismos que se usan en la siembra directa (Cuadro 5). En Torres (1993), se indica el procedimiento para inocular y peletizar semillas de leguminosas.

- **Fertilidad y fertilizantes.**

El éxito de una regeneración es directamente dependiente de la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo. Al igual que en una siembra directa, se debe conocer el nivel inicial de disponibilidad del suelo y corregir los problemas existentes, especialmente en relación con macronutrientes, acidez y toxicidad del aluminio.

Al regenerar en un suelo de baja fertilidad es posible obtener buen establecimiento, pero seguramente menor persistencia de las especies introducidas; aún aplicando suficiente cantidad de fertilizantes al momento de la siembra.

- **Profundidad de siembra.**

La profundidad a la que se localizan las semillas es un problema en la regeneración. Normalmente los potreros presentan irregularidades en su superficie (microrelieve), lo que se traduce en sectores del potrero donde las semillas quedan muy profundas y otros con semillas descubiertas. Esto es especialmente válido al utilizar máquinas de zapatas o de discos fijos, las cuales no siguen el microrelieve del potrero.

- **Velocidad de trabajo.**

La velocidad de trabajo debe estar entre 3 y 10 km/h (o entre 50 y 160 m por minuto), con lo que se obtiene un flujo uniforme de semillas y fertilizantes. Velocidades mayores dejan muchas semillas descubiertas y desparramadas en las entre hileras.

- **Manejo previo a la regeneración.**

La pradera existente debe tener un mínimo residuo antes de efectuar la regeneración, en lo posible menor a 3 cm. lo que se logra al pastorear con ovinos y/o caballos, de lo contrario utilizar alta presión de pastoreo con bovinos.

El uso del cerco eléctrico es una herramienta de gran utilidad para obtener el residuo que se desea para ejecutar una buena labor de regeneración y en general, para mejorar la utilización de las praderas.

Otra alternativa es el uso de herbicida sistémico (3 a 4 l/ha de Roundup) o de contacto (Gramoxone 2 a 3 l/ha) para quemar la vegetación existente, ejerciendo un efecto prolongado sobre la vegetación activa y evitando de este modo la competencia con las nuevas plantas forrajeras introducidas.

- **Manejo posterior a la regeneración.**

El manejo de la pradera posterior a la siembra es otra etapa decisiva en el éxito de la regeneración.

Es necesario controlar la altura de la pradera residente para reducir la competencia, lo que se logra a través de un pastoreo controlado, esto es, sacar los animales del potrero si las nuevas plantas son arrancadas.

La utilización con animales debe realizarse con alta presión de pastoreo para evitar la selección del forraje. Similar manejo debe aplicarse al menos durante el primer año.

- **Población de plantas.**

En un establecimiento de praderas mediante regeneración con máquina se espera que a los 20 o 30 días posteriores a la siembra, se observen las hileras de siembra con nitidez.

Se estima que alrededor de 150 a 200 plantas/m² sería recomendable en una regeneración con gramíneas forrajeras. Lo anterior significa obtener como promedio de 30 a 40 plantas por metro lineal (sobre la hilera) o una planta cada 2 a 3cm de distancia sobre la hilera de siembra.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BALOCCHI, O. y CUEVAS, E. 1982. Regeneración de praderas. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal, Valdivia, Serie C9, p9.

CAMPILLO, R. 1994. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la Décima Región. En: Seminario "Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros". Serie Remehue N° 53, Estación Experimental Remehue (INIA), Osorno, Chile, p.23-40.

CISTERNAS, E. 1987. Biología, hábitos, ciclo y control de cuncunilla negra. Boletín Técnico N°120, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile, 15 pp.

CISTERNAS, E. 1992. Biología y control de insectos plagas en praderas. En: Seminario Manejo de praderas permanentes, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile, -117.

CULLEN, N.A. 1966. Invernary trials show importance of competition between pasture species. New Zealand Journal Agriculture. 112:131-133.

LANGER, R.H.M. 1981. Las pasturas y sus plantas. Edit. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay, 519 pp.

ORTEGA, L. 1992. Drenaje y riego en praderas permanentes. En: Seminario "Manejo de praderas permanentes", Estación Experimental Remehue (INIA), Osorno, Chile, pp: 37-55.

TEUBER, N. 1981. Establecimientos de praderas asociadas a trigo de primavera. Boletín Técnico N°44 (46 Re), Estación Experimental Remehue (INIA), Osorno, Chile, 8 pp.

TEUBER, N.; KLEIN, F. y URIBE, C. 1994. Efecto del corte en primavera en el desarrollo del trébol blanco (Trifolium repens L.) utilizado rotativamente con vacas lecheras. En: XIX Reunión Anual de Producción Animal (SOCHIPA), p.25-26.

TORRES, A. 1993. Establecimiento de praderas. Boletín Técnico N°197, Estación Experimental Remehue (INIA), Osorno, Chile, 18 pp.

ANEXOS.

EJERCICIOS. Cálculo de la dosis de siembra.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Centro Regional de Investigación Remehue
Serie Actas N° 4

Ejemplo 1. Cálculo de la dosis de siembra en una mezcla de ballica perenne y trébol blanco.

	B. perenne	T. blanco
Dosis de semillas (kg/ha)	15	3
Germinación exigida (%)	90	90
Semillas viables (kg/ha)	13,5	2,7
Cantidad de semillas (Nº/kg)	5×10^5	$1,5 \times 10^6$
Semillas totales (Nº/ha)	7.500.000	4.500.000
Semillas totales (Nº/m ²)	750	450
Semillas totales viables (Nº/m ²)	675	405
Relación de semillas BP:TB	1,7	1
Plantas a los 60 días (Nº/m ²) *	400	110
Relación de plantas Ballica:Trébol	3,6	1
Eficiencia de establecimiento (%)	53	24

*: Información obtenida en el CRI Remehue.

Ejemplo 2. Establecimiento directo de una mezcla simple de pasto ovillo y trébol blanco.

	Pasto ovillo	T. blanco
Dosis de semillas (kg/ha)	10	3
Germinación (%)	80	90
Semillas viables (kg/ha)	8	2,7
Cantidad de semillas (Nº/kg)	$1,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$
Semillas totales (Nº/ha)	10.000.000	4.500.000
Semillas totales (Nº/m ²)	1.000	450
Semillas totales viables (Nº/m ²)	800	405
Relación de semillas PO:TB	2	1
Plantas a los 60 días (Nº/m ²) *	360	110
Relación de plantas P.ovilloTrébol	3,3	1
Eficiencia de establecimiento (%)	36	24

*: Información obtenida en el CRI Remehue.



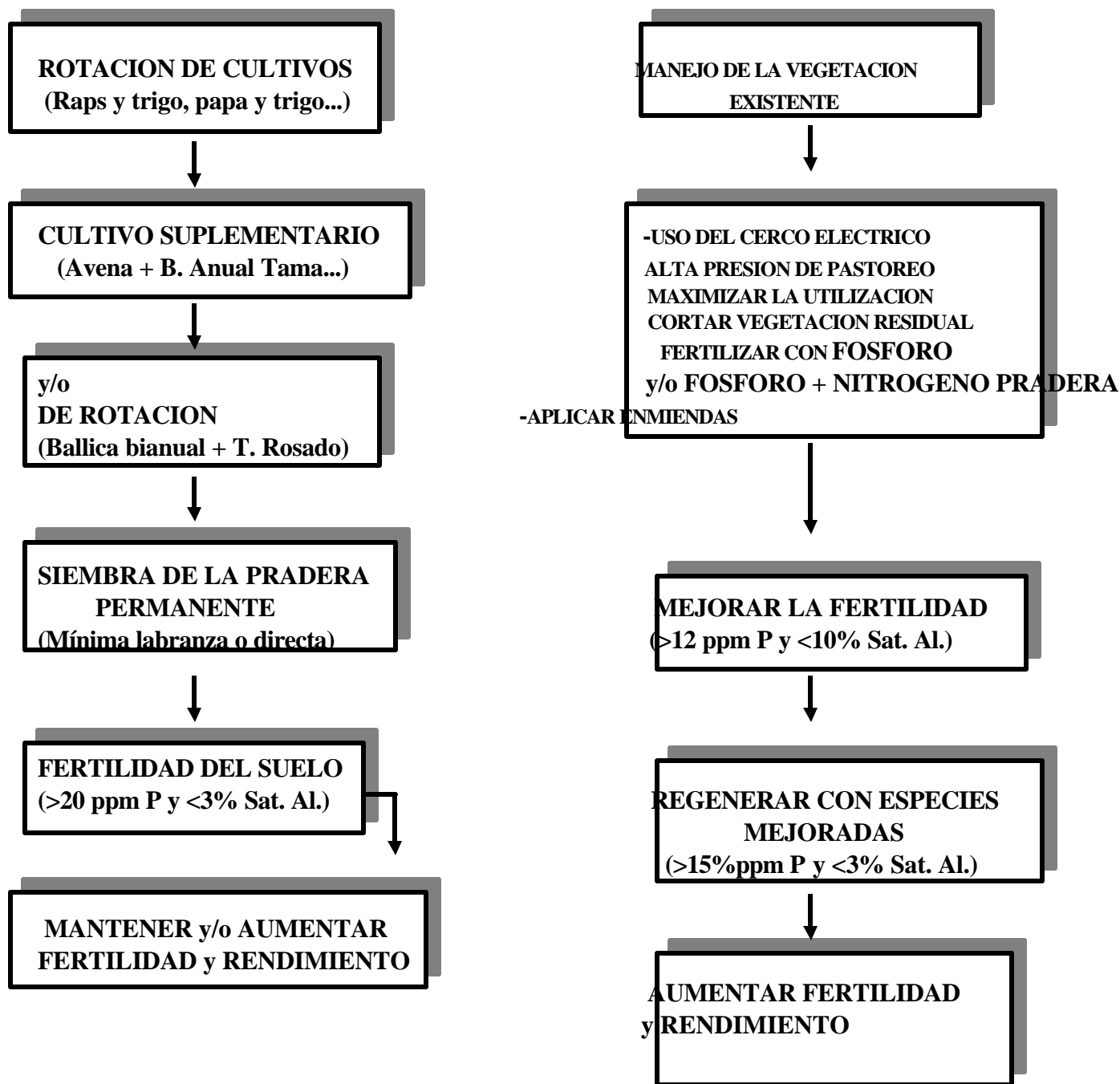


Figura 1. Vías de mejoramiento de praderas.



In
Se

Figura 2: Cama de semillas y siembra de forrajeras

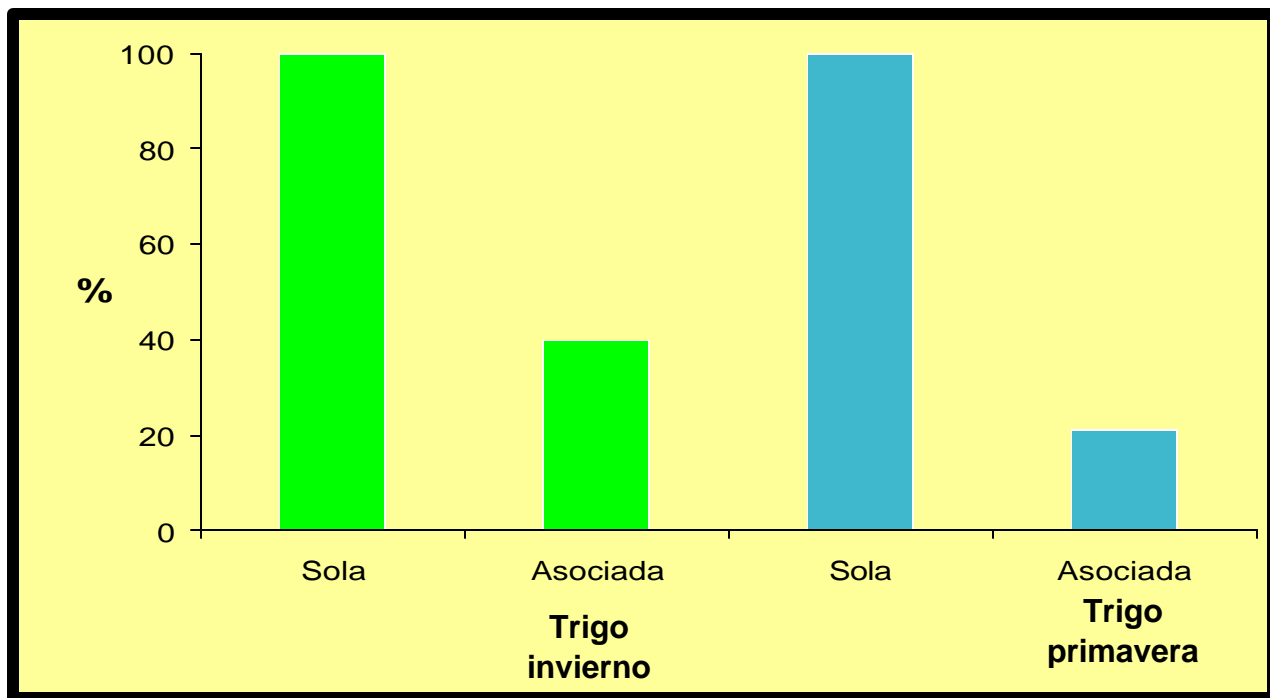
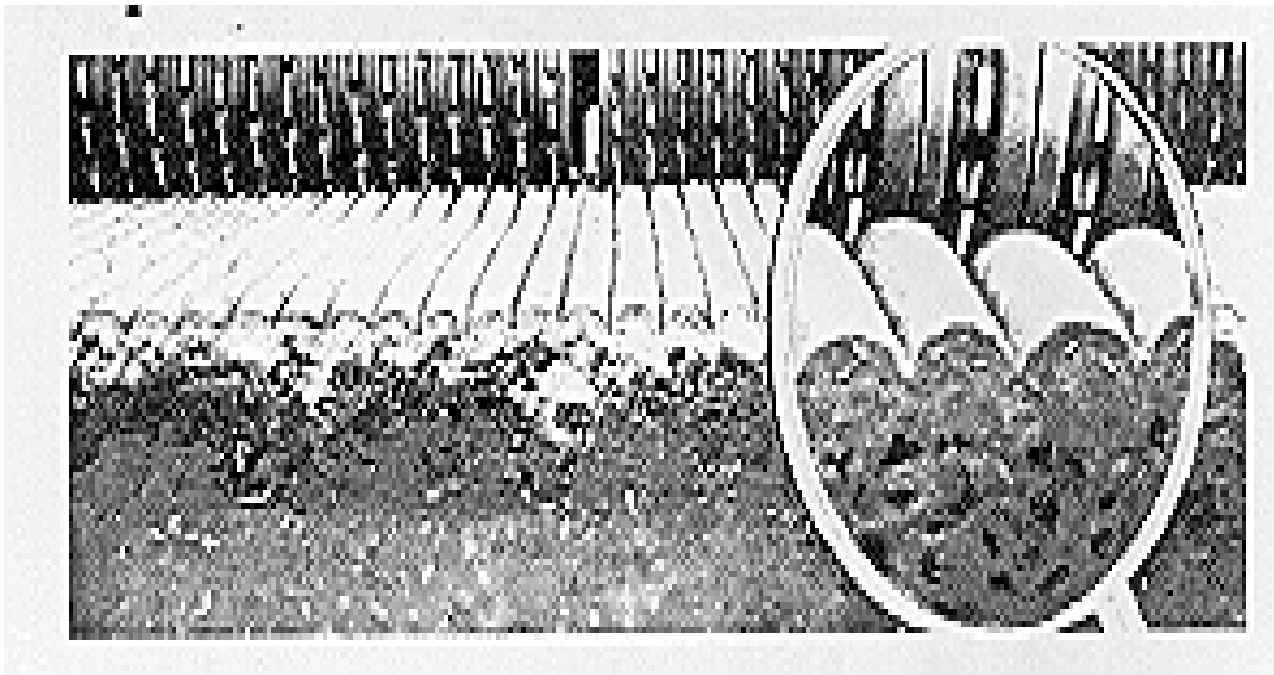
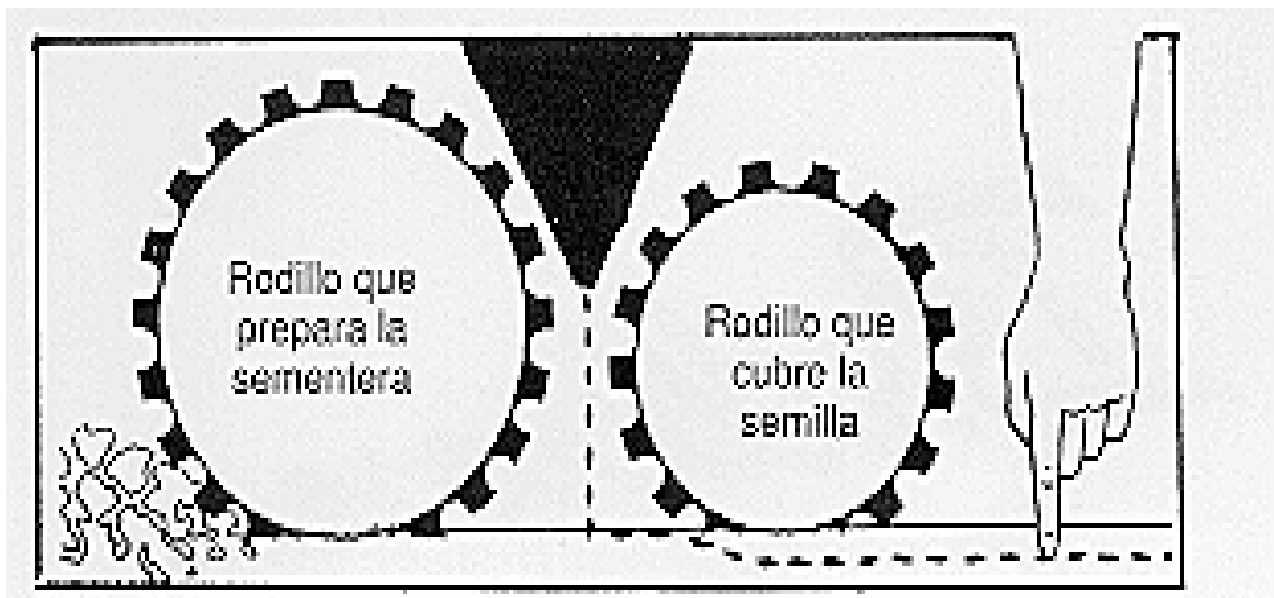


Figura 3. Rendimiento relativo de la pradera en siembra sola y asociada a trigo



Máquina Brillón sembrando, vista posterior

Figura 4. Acercamiento faena de siembra con máquina Brillón



Sembradora Brillion, corte transversal

Figura 5. Profundidad y ubicación de las semillas en el suelo

ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA FERTILIZACIÓN DE PRADERAS Y CULTIVOS

Marcelo Ponce Vyhmeister, Ing Agrónomo M.Sc

Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias
INIA

E-mail: mponce@remehue.inia.cl

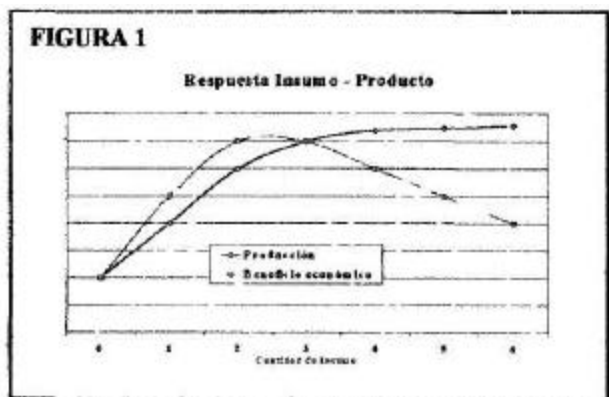
INTRODUCCIÓN.

La situación económica que vive la agricultura y ganadería del centro sur y sur de Chile parece ser más una situación permanente que una mera coyuntura de precios, esto por efecto de la globalización de los mercados y el aumento de las transferencias de mercancías entre los países. La apertura de los mercados exige al sector productor máxima eficiencia en sus procesos con el objetivo de lograr competitividad que, en términos generales, significa entregar al mercado productos que compitan en forma exitosa con aquellos provenientes de otras áreas, compatibilizando el menor costo posible con una adecuada rentabilidad para el empresario. Dentro del proceso de producción de leche, carne y cultivos existe un factor común y que engloba la fertilidad y los fertilizantes. El ítem fertilizantes no siempre será el de mayor envergadura, dentro de los distintos costos, para llevar a cabo la producción. Sin embargo, la relación fertilidad y dosis pueden ser determinantes a la hora de ser o no competitivos en el mercado.

EL CONCEPTO DE COSTO.

En el último período, la palabra costo de producción ha sido probablemente una de las más utilizadas a la hora de abordar la situación de la agricultura y ganadería nacional y regional, sin embargo, no siempre se entiende de la misma forma. En economía, por una parte, corresponde al equivalente en dinero de la suma de todos los insumos o factores de producción usados hasta la venta misma de un producto. Por otra parte, el costo unitario equivale a la suma final de los costos dividido por la cantidad de producto

obtenido y se expresa, comúnmente, como \$ por litro de leche, \$ por kilo de carne o \$ por quintal de grano. Ahora bien, para ser competitivos es clave reducir ese costo unitario y para lograrlo existen tres alternativas básicas:



1. Aumento de la productividad. Esta estrategia buscará incrementar la producción por factor y generalmente se asocia a la superficie, es decir, más litros de leche o carne por hectárea.

En algunas situaciones ese incremento de producción se logrará sólo con un mejor manejo y no demandará mayor gasto en dinero, como por ejemplo, una óptima fecha de fertilización, un adecuado plan de pastoreo, la selección de una variedad más productiva, etc. En otros casos, será necesario aumentar el gasto para elevar el nivel productivo. Esta estrategia no es fácil de llevar a cabo ya que se debe conocer muy bien la estructura de los costos (importancia relativa) y el grado de respuesta económica del insumo (relación insumo-producto) que es modificado dentro del proceso productivo (Figura 1). Por ejemplo, una fertilización más alta o la inclusión de concentrados estratégicos aumentarán la producción de leche o carne, sin embargo, la respuesta económica y biológica se moverán independientemente dentro de ciertos límites. De hecho, es común encontrar factores de producción que al ser agregados en exceso sólo aumentan la producción física (litros o kilos de producto) pero no el resultado económico ya que incrementan el costo en igual proporción. Por otra parte, también es común encontrar casos en que la obsesión de reducir los "costos" termina en un resultado poco relevante e incluso, a veces, inverso. El típico ejemplo de ello ocurre cuando el productor deja de fertilizar adecuadamente sus praderas o cultivos y donde el resultado final será un incremento del costo unitario provocado por una fuerte caída de la productividad.

En definitiva la reducción de los costos de producción puede ser obtenida a través de la racionalización de algunos insumos. Sin embargo, el productor debe tener presente que también puede ser necesario lo contrario, es decir, el aumento del uso de algún insumo que impacte positivamente la producción, reduciendo el costo unitario e incrementando las utilidades del negocio.

2. Reducir los gastos generales. Los gastos, generales son aquellos que no son asignables a un rubro en particular y que por lo tanto, corresponden a aquellos que se distribuyen proporcionalmente a todos los procesos de producción existentes. En este caso, el grado de maniobra es estrecho ya que uno de los más importantes de ellos es el retiro personal es decir, el "sueldo" del propietario. Su reducción se puede lograr mediante dos alternativas: el ajuste del retiro personal a la capacidad real del negocio o el crecimiento del tamaño de la explotación. La racionalización de otros gastos generales como movilización, electricidad, etc. pueden tener un efecto variable aunque generalmente muy bajo.

FERTILIDAD DE SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y CARNE.

Si bien el gasto que representan los fertilizantes en la producción de leche y carne no constituyen el ítem más importante, ello no significa que sean poco relevantes. De hecho, la carga animal es indicada como el factor más importante a la hora de explicar las diferencias de rentabilidad entre predios lecheros (Figura 2). Lo anterior ocurre porque las cargas animales más altas se asocian con un mayor grado de intensificación del sistema productivo, con una fuerte dilución de los costos fijos y una base de alimentación muy económica como es la pradera. Por lo tanto, al relacionar una alta

Importancia Relativa de Diferentes Factores que explican Diferencias de Rentabilidad entre Explotaciones Lecheras	CONTRIBUCIÓN (%)
MAYOR CARGA ANIMAL	39
MAYOR RENDIMIENTO/VACA	35
MAYOR PRECIO DE LA LECHE	3
MENOR COSTO COMPRA ALIMENTOS	-3
MENOR COSTO PRODUCCIÓN DE	1
OTROS FACTORES	4
Fuente Anrique, R , 1990	

fertilidad de suelos - alta producción de la pradera - alta carga animal, obtenemos el primer argumento que da la trascendencia a la fertilidad y la fertilización de los suelos dentro de los sistemas ganaderos. Cabe señalar que lo señalado anteriormente también es válido para la producción de carne ya que su rentabilidad está ligada fuertemente a la producción por hectárea y por lo tanto, también, a la capacidad talajera de las praderas.

El segundo factor que explica las diferencias de rentabilidad corresponde a la producción por vaca, lo que también se relaciona técnicamente al manejo de la fertilidad de los suelos. Por ejemplo, una alta fertilidad y/o fertilizaciones tempranas permiten la obtención de forrajes tiernos de altísimo valor nutricional y de eficiente conversión en leche o carne. Lo mismo ocurre con la conservación de forrajes, en que la obtención de ensilaje de corte temprano permitirá maximizar la producción, sin la necesidad de recurrir a concentrados de alto costo.

La respuesta productiva de un ensilaje de alta calidad en producción de carne, puede alcanzar los 900 gramos diarios de ganancia de peso vivo (GPV) sin suplementos, mientras que un ensilaje tardío sólo alcanzará los 350 gr/día. Obviamente, y como es de conocimiento de los ganaderos, para efectuar ensilajes tempranos es básico contar con un adecuado nivel de fertilidad de los suelos y así hacer posibles rezagos de corta duración (< 50 días). La respuesta económica de esta técnica es alta, siendo aconsejable su práctica por parte del productor; tanto de leche como de carne.

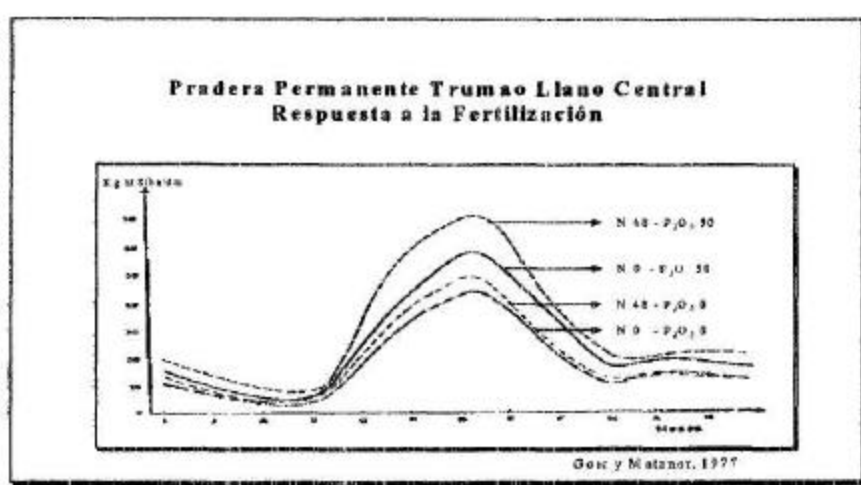
Otro elemento que afecta la calidad del forraje que consumen los animales es el azufre contenido en el suelo. La escasez de este mineral acelera la pérdida de digestibilidad del forraje y esto conlleva a un menor potencial de transformación en leche o carne. Lo anterior se agrava por el hecho que los suelos de la zona sur son regularmente deficitarios en azufre.

La respuesta de la pradera a la fertilización, medida como el incremento del rendimiento de materia seca, está sujeta a múltiples variables tanto climáticas como de manejo. Sin embargo, siempre una mayor fertilidad permitirá un mejor desempeño de la pradera bajo condiciones adversas, incluso, una fertilización adecuada es capaz de atenuar la estacionalidad de la producción y disminuir el efecto del ataque de diferentes plagas (gusano blanco, cuncunilla negra, etc.).

En la Figura 3, se muestra el efecto de la fertilización en una pradera permanente, combinando nitrógeno y fósforo, en la acumulación diaria de materia seca. En ella se observa la modificación de la curva de producción de pastos, respecto de aquella no fertilizada, notándose cómo se produce una importante respuesta sobre todo en la primavera. En predios bajo sistemas de seguimiento se han detectado fuertes impactos en la producción de leche y carne producto de cambios en la estrategia de fertilización de praderas, sin embargo, también se han detectado problemas.

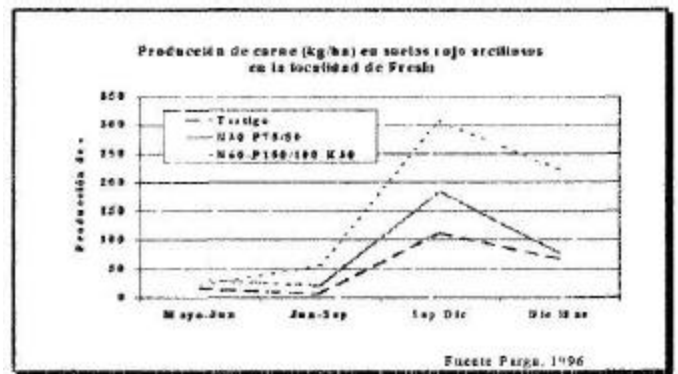
Las complicaciones que surgen luego de un rápido mejoramiento de las praderas se relacionan con los requerimientos de mayor cantidad de ganado (ajuste de carga) lo que no siempre será posible de hacer oportunamente y lo que significará un aumento notorio de forraje a nivel de potrero. Cabe recordar que para que las fertilizaciones se traduzcan en un mejoramiento también económico, necesariamente debe haber un impacto productivo a nivel animal el que generalmente va asociado a un aumento de la carga animal por hectárea. Además, en el caso de las explotaciones lecheras debe ocurrir un proceso paralelo al mejoramiento de praderas, que consiste en la modificación de las proporciones de partos de invierno y primavera, de lo contrario estos predios sufrirán fuertes inconvenientes sobre la relación invierno - verano, debido al incremento de la producción de primavera.

Figura 3



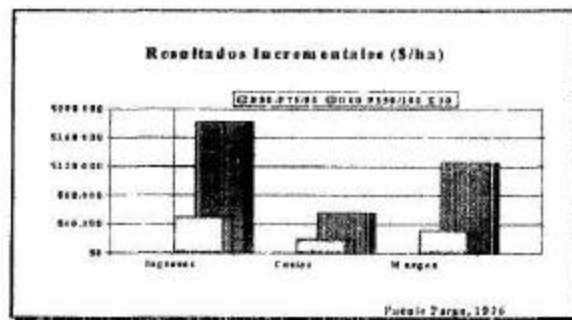
Como se señaló anteriormente, la producción de leche o carne por hectárea está sujeta, en los sistemas productivos de la zona sur, a la productividad de la pradera. Como equivalencia entre la producción de forraje y la producción animal se citan: 10 kilos de materia seca de forraje necesarios para 1 kilo de ganancia de peso vivo en la producción de carne y 1,1 kilos de materia seca por producir 1 litro de leche. Estas cifras obedecen a un promedio que puede ser utilizado en terreno para estimar la productividad del suelo, siempre y cuando el sistema de pastoreo utilizado permita un adecuado aprovechamiento del forraje disponible.

Figura 4



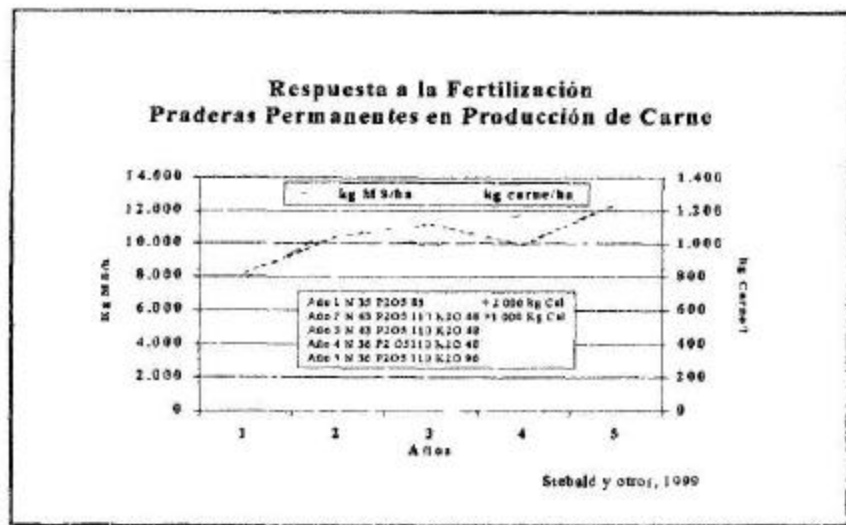
En ensayos realizados por INIA - Remehue se han podido establecer los impactos de la fertilización sobre la producción animal. Un primer caso se puede observar en la Figura 4 en que se muestra la producción de carne obtenida luego de fertilizar durante dos años continuados sobre una pradera permanente y en un suelo rojo arcilloso (al 2º año fueron disminuidas las dosis de fósforo). En este caso, el tratamiento con N-P-K triplicó la producción de carne del tratamiento testigo. Por otra parte, la Figura 5 muestra en el mismo ensayo el cambio en los resultados económicos lo que se tradujo en margen superior en más de \$120 mil por hectárea para el tratamiento fertilizado sobre el testigo.

Figura 5



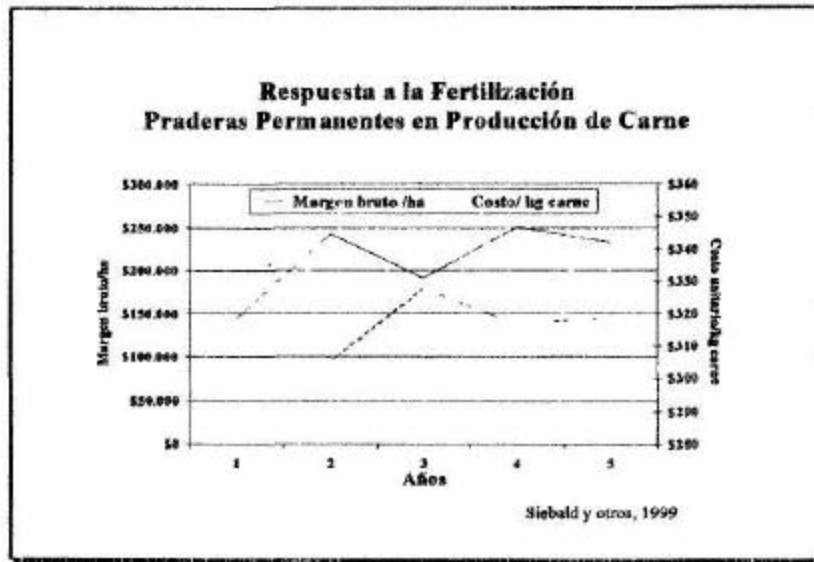
En otro ensayo realizado en un trunco del llano central y bajo una evaluación de 5 años, también fueron demostrados los beneficios de la fertilización en praderas. En este caso la pradera ya contaba con un importante nivel productivo, reflejado en las 8 toneladas de materia seca anual producidas al inicio del ensayo. No obstante lo anterior, la pradera continuó aumentando su productividad superando las 12 ton/año lo cual se tradujo en un aumento del rendimiento en producción de carne de 800 kg de peso vivo/ha a 1.200 kg anuales, aproximadamente (Figura 8).

Figura 6

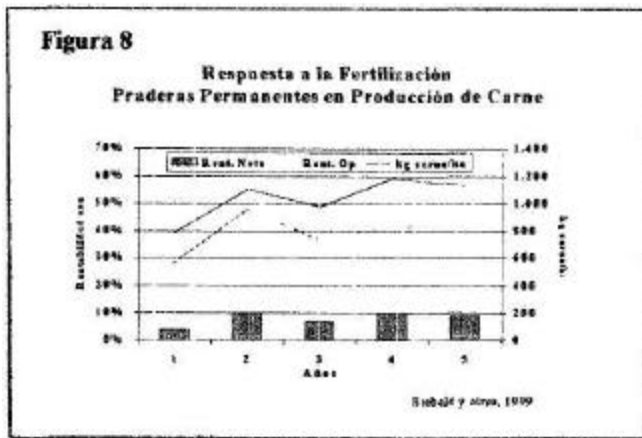


Como se observa, las dosis utilizadas no fueron muy elevadas y bastaron para incrementar de manera importante la producción de carne. Lo anterior, sin embargo, sólo está indicando hasta ahora un aumento en el producto provocado por un aumento en el gasto en fertilizaciones y como es razonable, deberíamos preguntarnos si dicho cambio en el manejo del sistema se transforme o no en mayores utilidades para el empresario. Como se señaló en párrafos anteriores, no siempre un aumento en el uso de insumos será sinónimo de mayor beneficio económico. Para contestar esta pregunta se expone la Figura 7 donde se puede observar el cambio en el margen bruto y además, las variaciones en el costo unitario de la carne generada en este sistema de producción por efecto de las fertilizaciones aplicadas dentro del plan de mejoramiento. En este cuadro se hace evidente la disminución del costo unitario de producción de carne debido al fuerte impacto de la fertilización sobre la productividad de la pradera, lo que al ser acompañado de un buen manejo del pastoreo hace posible una eficiente transformación del forraje en carne. Al hacer un análisis más profundo del impacto económico de la fertilización, se puede obtener información sobre su efecto en la rentabilidad del negocio. Así, el mismo ensayo analizado anteriormente demostró poder mejorar de manera importante la eficiencia económica de los capitales invertidos, es decir; suelo, ganado, mano de obra etc. Esto se expone en la Figura 8 donde están graficadas las curvas de rentabilidad operacional (sin incluir el valor del suelo y tampoco las depreciaciones), la rentabilidad neta y su relación con la productividad de carne/ha.

Figura 7



En Figura 8 se exponen algunos parámetros que hacen evidente el estrecho margen dentro del cual se mueve la rentabilidad de la actividad ganadera de carne. Esto no sólo delata que



no es un rubro difícil, en términos comerciales, sino que también exige un eficiente manejo de los recursos si se pretenden tener utilidades acordes a los capitales que están en uso.

El efecto ocurrido en este ensayo también puede desarrollarse de manera inversa, por ejemplo, si un productor que ya tiene una producción de 1.200 kg de carne por hectárea deja de fertilizar, sufrirá en el mediano plazo una importante baja en su producción de carne, elevando sus costos unitarios (aunque el gasto total disminuya) y deteriorando

notoriamente la rentabilidad de su negocio. La recuperación de la fertilidad del suelo y la productividad de las praderas son procesos de mediano y largo plazo.

FERTILIDAD DE SUELOS EN LOS CULTIVOS.

La fertilidad y los fertilizantes conforman uno de los principales factores de éxito o fracaso en el negocio de los cultivos. Además, los fertilizantes constituyen uno de los ítemes de costo más importantes. Estos dos problemas demandan al productor un máximo cuidado al momento de establecer las dosis de fertilización que se van a aplicar.

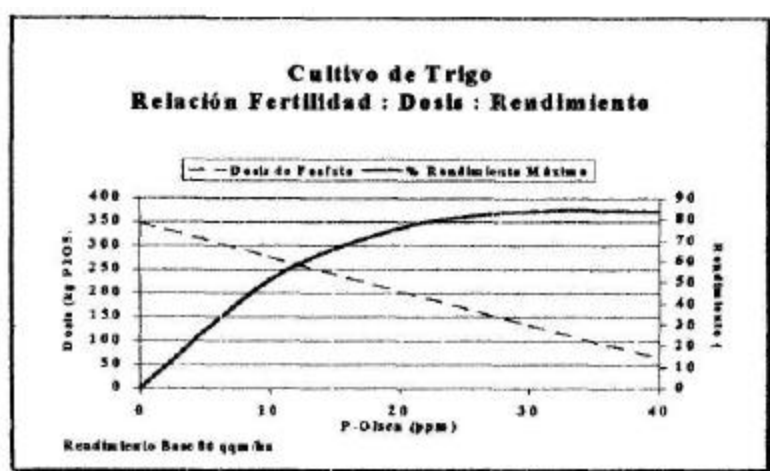


Entre ellos destacan los gastos por concepto de maquinarias (preparación de suelos, aplicación de productos, etc.). El segundo en importancia lo conforman los fertilizantes utilizados y en este caso corresponde a una dosificación de 150 kg de Nitrógeno, 180 kg de

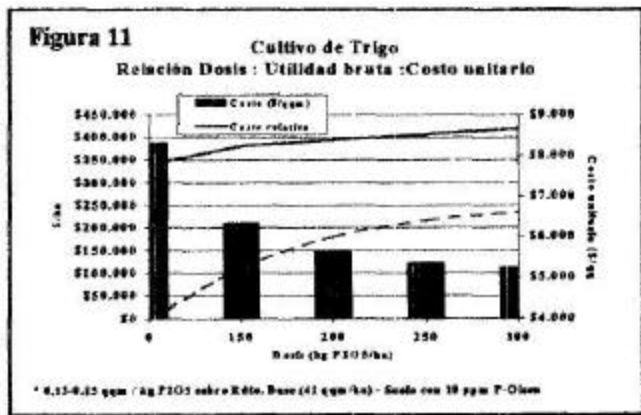
Fósforo y 80 kg de Potasio como una dosis estándar para este cultivo. En el caso de las fertilizaciones utilizadas en cultivos, se hace imprescindible tener la referencia de un análisis de suelo ya que, como veremos, la cantidad de fertilizantes a suministrar dependerá de los contenidos ya existentes en el suelo. Todo ello repercute directamente en el rendimiento esperado.

En los suelos de la zona sur, la fertilidad de los suelos se ve afectada por la fijación de fósforo y la presencia de aluminio. Desde el punto de vista económico, el manejo de la fertilización fosforada es complejo ya que la corrección requerida para obtener un alto rendimiento, corresponde a una inversión que será amortizada (pagada) en el mediano y largo plazo, es decir, más allá de 1 año. Lo que contrasta con el período siembra-cosecha que se cierra en menos de 10 meses. Esta desincronización complica la decisión del empresario ya que implica, necesariamente, sacrificar puntos de rentabilidad anual y cuyos beneficios ocurrirán en los años siguientes. Los beneficios económicos de la corrección del fósforo se observan a través de dos cosas: la disminución de las dosis requeridas para producción (menor gasto) y la posibilidad de acceder a un potencial productivo mayor del suelo. En la Figura 10, se muestra el comportamiento de las dosis de fósforo bajo diferentes disponibilidades en el suelo y su relación con los rendimientos máximos esperados, para el cultivo de trigo.

FIGURA 10



En este gráfico se hace clara la necesidad de aumentar los niveles de fósforo disponible en el suelo para optar a mayores rendimientos y de esa manera disminuir los costos de producción, junto con maximizar el margen del negocio. Ahora bien, resulta lógico pensar que la reducción del costo por quintal producido tiene un límite. Esta disminución se relaciona directamente con el aumento en la productividad del suelo, es decir, más qqm por hectárea. En la Figura 11, se puede observar el comportamiento del costo unitario (\$/qqm), el costo relativo por hectárea (\$/ha), ambos analizados bajo diferentes dosis de fosfato en un suelo trumao con 10 ppm de P - Olsen. Ahí se puede ver cómo una mayor fertilización fosforada, dentro del límite 0 a 300 kg aprox., es capaz de reducir el costo por quintal producido incrementando a la vez la utilidad por hectárea. En ese suelo una fertilización "estándar" de 180 kg de P₂O₅/ha producirá \$80.000 menos de utilidad bruta/ha que la dosis correspondiente a ese nivel de fertilidad, siendo el suelo incapaz de suplir los requerimientos para un rendimiento máximo.

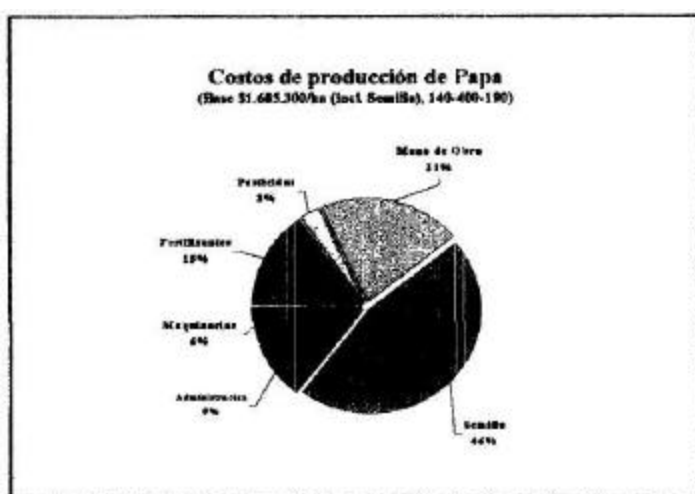


De hecho, cada kg de fosfato aplicado puede expresarse en 0,13 a 0,15 qqrn de trigo adicionales sobre la base de producción de ese suelo (41 qqm/ha).

Para el cultivo de papa la situación es similar aunque la estructura de los costos involucrados difiere en puntos como el costo de la semilla (Figura 12). Esto obliga al productor a priorizar su atención hacia dicho ítem buscando la máxima eficiencia. Sin embargo, aunque los fertilizantes no son el mayor elemento de costo y dada la

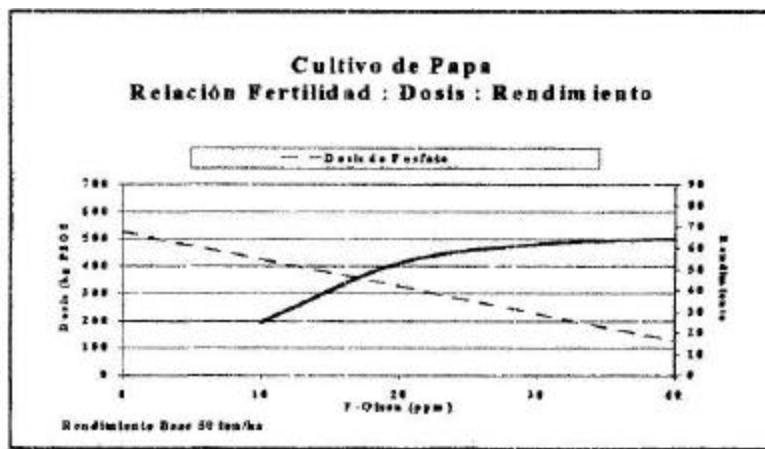
importancia que tiene sobre el rendimiento, se hará el mismo análisis que en el caso anterior.

Figura 12



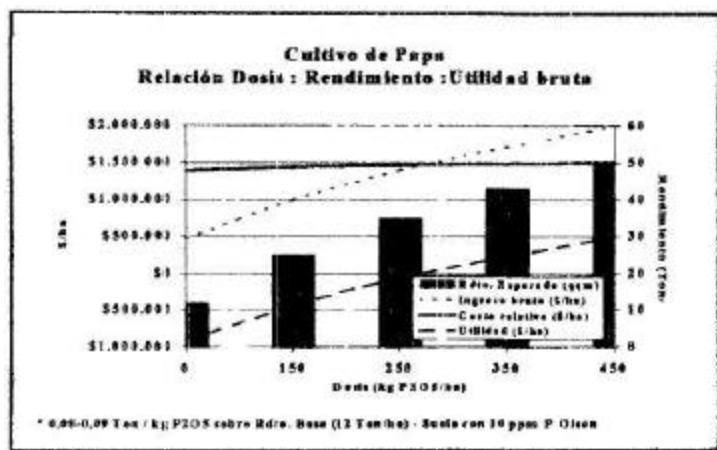
En la Figura 13, se muestra la gráfica de dosis de fosfato y rendimiento máximo para un suelo con 10 ppm de fósforo disponible. Esta situación no sería poco típica si consideramos que el cultivo de papa es utilizado como cabeza de rotación y por lo tanto uno de sus objetivos será mejorar el suelo desde el punto de vista físico y químico, para dar lugar a otros cultivos o praderas en mejores condiciones gracias a que este cultivo demanda un laboreo intenso y a su vez una fertilización considerable. En esta gráfica se muestra la respuesta productiva a la fertilización fosforada. Similar al trigo, esta respuesta ocurrirá incluso más allá de los 40 ppm disponibles dada la baja capacidad de esta planta para aprovechar el fósforo existente en el suelo. Por otra parte, mientras más alto sea el nivel inicial menor será la dosis requerida para el rendimiento máximo.

Figura 13



Al igual que en el cultivo de trigo, la producción de papa responde económicamente a las fertilizaciones, especialmente de fósforo, dada su baja eficiencia de utilización. En este caso, aunque el costo directo aumente (Figura 14), tanto el margen por hectárea como la utilidad se incrementarán debido al impacto en la producción. En este cultivo la respuesta a la fertilización estará dada por un incremento en la producción y un mejoramiento en el rendimiento de los calibres comerciales.

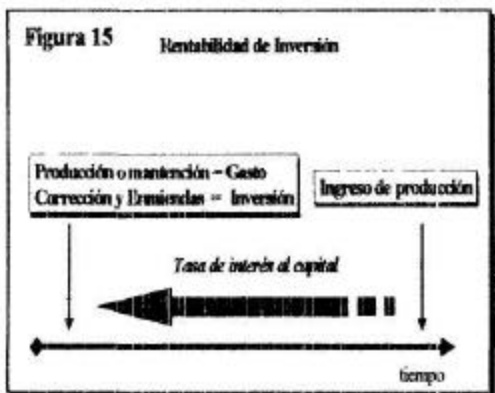
Figura 14



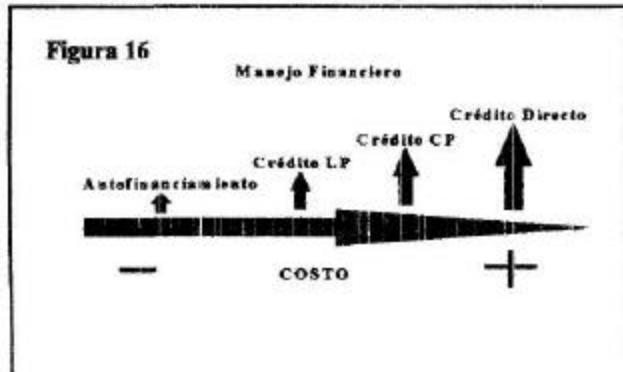
ASPECTOS FINANCIEROS.

Uno de los principales factores que determinan el grado de éxito en un negocio corresponde a la capacidad empresarial, en este caso del agricultor o ganadero. Lo anterior significa que no basta ser un buen productor de leche, carne o papas en términos de obtener los más altos rendimientos o los menores costos, sino que se requiere de un adecuado manejo de la empresa incluyendo los aspectos financieros relacionados a la asignación del dinero en un determinado negocio.

Respecto de las fertilizaciones se debe tener presente que, desde el punto de vista de



la rentabilización de los recursos invertidos no será lo mismo financiar la corrección de fósforo, incluso con el programa de recuperación de suelos degradados, en menos de un año (corto plazo) que si ello se realiza mediante una línea de crédito de mediano o largo plazo. Lo anterior se debe a que los beneficios de una inversión de ese tipo se expresarán más allá del año en que sean aplicados dichos insumos. Esta inversión sufrirá los efectos de una tasa de interés de oportunidad obligando al empresario a tener especial cuidado respecto de qué, cuándo y cuánto invertir con este objetivo.



Otro punto de especial importancia es que el empresario debe conocer muy bien las características que tienen las diferentes opciones de financiamiento de sus actividades. Esto le permitirá trabajar de manera estratégica usando la alternativa más adecuada en relación al tipo de gasto o inversión a realizar. Para esta situación, no sólo será importante el costo del capital solicitado sino que también el período de cancelación.

De esta forma será más interesante la alternativa de crédito más barata, siempre y cuando, su período de pago se acomode a las características del negocio en particular. Por ejemplo, si se trata de insumos corrientes para cultivos o ganado, cuyo período de producción tiende a no superar un año, la vía de financiamiento debería corresponder al corto plazo. Por otra parte, si enfrentamos la corrección de la fertilidad de suelos o la regeneración de praderas, no sería adecuado utilizar un financiamiento cuyo vencimiento sea anual ya que, como se sabe, el período de producción afectado por esa estrategia presenta horizontes de mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Moreira, V. 1999. Análisis del Costo de Producción de leche en Sistemas Productivos Lecheros de Chile. **IN** : Producción Animal. Luis Latrille (ed.). Universidad Austral de Chile, Valdivia. 334 p.
- Ponce, M. y Navarro, H. 1998. Costos en la Elaboración de Ensilajes de Pradera. Informativo Remehue N°3. Instituto de investigaciones Agropecuarias, INIA.
- Sapag, N. y Sapag, R. 1989. Preparación y Evaluación de Proyectos. 386 p.
- Siebold, E, Navarro, H., Undurraga, P., Goic, L., Matzner, M y Meneses, G. 1999. Fuentes de Fósforo y Uso de Cal en Praderas Permanentes de Llanquihue, Boletín Técnico N° 251. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 9 p.
- Sierra, C. y Bernier, R. 1990. Fertilidad de Cultivos y Praderas. Ecología y Producción. Informe Técnico 1989/1990. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 122 p.
- Teuber, N. y Navarro, H. Establecimiento de Praderas Permanentes en la Décima Región de Chile. Boletín Técnico N°243. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 16 p.
- Universidad Austral de Chile. 1985. Manual de Matemáticas Financieras. 33 p.