

## Notas del Módulo 4

### Diapositiva 3

El paradigma vigente para abordar la fertilización de forrajeras en sistemas modernos de producción es la nutrición balanceada, que se sustenta en lograr que las plantas dispongan cantidades no limitantes de nutrientes esenciales. Para ello se parte del diagnóstico de las deficiencias nutricionales (por ejemplo mediante el análisis de suelos y/o de tejido vegetal) y en caso de deficiencia, se aplican en forma conjunta los nutrientes detectados como deficitarios en el sitio de producción.

En las condiciones de producción de forraje de la Región Pampeana, la fertilización balanceada se logra aplicando en forma conjunta nitrógeno, fósforo y azufre, que son los nutrientes deficientes en la mayor parte de los sistemas de producción. Asimismo, algunos cultivos son especialmente sensibles a algunos micronutrientes cuyo agregado también se debe analizar en base al diagnóstico previo. Así por ejemplo la alfalfa es sensible a las carencias de boro y se han observado respuestas considerables a su aplicación, principalmente en sistemas de alta producción. También el adecuado nivel de acidez (pH) y disponibilidad de calcio y magnesio puede ser determinante de la productividad de la alfalfa, razón por la cual es importante evaluar los problemas de acidificación de suelos y definir estrategias para mejorar la condición de acidez y disponibilidad de cationes básicos. Este tema se tratará en un módulo específico.

Como se puede observar en el esquema, la nutrición balanceada (lograda ya sea por la propia oferta del suelo y/o vía fertilización en situaciones de deficiencia) permite lograr impactos favorables sobre la producción de MS, calidad del forraje y de las semillas producidas, como así también en la eficiencia en el uso del agua y el comportamiento ante situaciones de estrés biótico y abiótico, principalmente debido a las mejoras en el balance hormonal de las plantas.

Las mejoras en la eficiencia en el uso del agua no es un aspecto, representando un beneficio muy importante en regiones semiáridas y/o subhúmedas, o bien en contextos de sequía en subregiones húmedas, considerando que la frecuencia de ocurrencia de eventos de déficit hídricos aumentó en los últimos tiempos en diversas zonas de producción.

### Diapositiva 6

Como se desprende del esquema, la fertilización puede jugar un rol importante tanto en el mantenimiento de la producción de recursos forrajeros actuales, o bien en la implantación de nuevas pasturas u otros recursos forrajeros. En todos los casos, se debe partir de la evaluación de

la condición de fertilidad de cada lote (diagnóstico), para luego establecer la estrategia de fertilización (recomendación de aplicación de nutrientes).

### **Diapositiva 7**

La fertilización de forrajeras no se debe considerar una práctica aislada, sino todo lo contrario. El agregado de nutrientes a través de los fertilizantes y/o también mediante el aporte de estiércoles y/o residuos orgánicos pecuarios, genera cambios significativos en el sistema de producción ganadera. Así por ejemplo en sistemas de producción de base pastoril la fertilización incrementa considerablemente la producción de MS y la receptividad, permitiendo aumentar la carga animal y consiguientemente la producción pecuaria (leche, carne, etc.). Asimismo, si bien la distribución de excretas animales es heterogénea, incrementa marcadamente el ciclado de nutrientes y mejora la condición de fertilidad de los suelos. El mejoramiento en la producción de MS permite por ejemplo liberar parte de la superficie a cultivos de grano, verdeos y/o cultivos para silaje, permitiendo diversificar y optimizar la cadena forrajera a nivel de establecimiento.

### **Diapositiva 8**

El gran desafío en el manejo del pasto es lograr maximizar su aprovechamiento (“cosecha”) a través del pastoreo. Los sistemas que mayor provecho sacan de la fertilización son aquellos en los cuales logran altas eficiencias de aprovechamiento del pasto, realizando ajustes en las cargas y el manejo del pastoreo de modo tal de poder utilizar la producción de MS derivada de la fertilización. Los aumentos de rendimiento por agregado de nitrógeno y fósforo suelen ser muy elevados en la mayoría de los sistemas, aspecto que debe ser considerado en el manejo de la carga animal. En este sentido los sistemas de pastoreo rotativos permiten aprovechar la producción de MS dejando área foliar remanente para propender a la recuperación de las forrajeras.

### **Diapositivas 12 y 13**

Las Tablas muestran información de eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), es decir la producción de MS que se genera con cada kg de nitrógeno aplicado, proveniente de experimentos de campo realizados en la Región Pampeana. Esta información es útil para estimar por ejemplo la rentabilidad de la fertilización, considerando por ejemplo que se requiere 15 kg de MS para producir un kg de carne o 1,2 kg de MS para producir 1 L de leche (valor medio para fines didácticos, ya que la eficiencia de conversión es variable dependiendo de varios factores como especie animal, situación fisiológica y nutricional).

Desde el punto de vista económico, la dosis óptima económica (DOE) de nitrógeno es igual a la relación de precios entre el fertilizante (costo de la unidad de N) y del producto (precios del kg de carne o L de leche). La información presentada en estas tablas y la mayor parte de los resultados

de investigaciones locales demuestran las EUN logradas con las dosis de uso frecuente a campo son muy superiores a las relaciones de precio fertilizante/producto animal, garantizando el beneficio económico de la fertilización.

## Diapositiva 14

### Características de los fertilizantes y su funcionamiento en el sistema suelo-cultivo

Se muestran los principales fertilizantes nitrogenados comercializados en el mercado argentino. El primer número del “grado equivalente” (forma en la cual se expresa el contenido de nutrientes de los fertilizantes), corresponde al nitrógeno (por ejemplo la urea tiene 46% de N y el CAN 27% de nitrógeno).

Todos los fertilizantes nitrogenados presentan la misma eficiencia agronómica (incremento de MS por cada kg de N aplicado), cuando se incorporan en el suelo ya sea cuando se aplican en el momento de la siembra, con máquinas incorporadores y/o a través del riego o lluvia mayor a 10-20 mm. Sin embargo, cuando el fertilizante se aplica sobre la superficie del suelo, existen diferencias considerables que es relevante considerar. La urea es una molécula orgánica que se debe hidrolizar en el suelo antes de aportar nitrógeno disponible para las plantas, reacción que es de carácter alcalino (el pH alrededor de los gránulos de la urea durante la hidrólisis llega a 9 aún mas). Esta reacción de hidrólisis es una transformación bioquímica mediada por la enzima ureasa presente tanto en el suelo como en la superficie de las hojas, incluyendo el forraje. Cuando la temperatura de suelo es mayor a 15-20°C y hay suficiente humedad edáfica, la hidrólisis de la urea, por ser fuertemente alcalina, promueve las pérdidas de volatilización de amoníaco. Estas pueden ser elevadas y representa un factor de reducción de la eficiencia de la fertilización nitrogenada cuando se aplicada la urea en cobertura total, ya sea previo a la implantación de la pastura o verdeo, o durante el ciclo de los mismos. La magnitud de la pérdida de nitrógeno por volatilización puede alcanzar máximos del 40-45% cuando se realizan aplicaciones con elevada temperatura, como en los meses de noviembre o diciembre. Por el contrario, en fertilizaciones en invierno (temperaturas menores a 15°C), las pérdidas pueden alcanzar una magnitud mucho menor (e.g. <5-10%), mientras que en septiembre u octubre, pueden ser del 20-30%).

Las emisiones de amoníaco además de representar una pérdida de nitrógeno para el cultivo (factor reductor de la producción de MS), constituye un GEI (gas con efecto invernadero), provocando un impacto ambiental que en algunos países es controlado. Por ello, existen en el mercado argentino ureas tratadas con inhibidores de la ureasa que son interesantes, ya que una vez aplicadas al suelo permiten “proteger de la volatilización” durante un período de 15-20 días

post-aplicación. Dentro de ese período se espera que ocurra una lluvia o riego superior a 10-20 mm que permita incorporar el fertilizante.

Todos los demás fertilizantes nitrogenados (e.g. CAN o sulfato de amonio) no se deben hidrolizar en el suelo y se los considera inmediatamente disponibles para las plantas (la hidrólisis de la urea tarda algunos días, dependiendo de las condiciones del ambiente). Por ello se suele decir que el CAN es una fuente que “no volatiliza”, aspecto que es cierto cuando se lo aplica sobre un suelo no alcalino. Si el suelo es alcalino en superficie (por ejemplo “bajos alcalinos” en zonas de cría vacuna) cualquier fertilizante que aporte amonio va a sufrir pérdidas por volatilización de amoníaco.

Los fertilizantes líquidos como el UAN (o su mezcla con el tiosulfato de amonio conocido comercialmente como “Sol mix”) representan una opción muy interesante ya que presentan una baja pérdida de nitrógeno por volatilización de amoníaco comparado con la urea aplicada al voleo en cobertura total. Las razones de ello se deben a su composición química (el UAN tiene la mitad del nitrógeno como urea y la otra mitad como nitrato de amonio) y por el método de aplicación que se denomina “chorreado” que funciona como una banda fluida, que minimiza el contacto entre la fracción de la urea del UAN con el suelo donde se encuentran la ureasa). Además de estas ventajas agronómicas, los fertilizantes líquidos presentan ventajas logísticas y de flexibilidad de aplicación que explican la gran expansión que han tenido en la Argentina en las últimas décadas.

### **¿Cuándo se aplica el nitrógeno en pasturas?**

La aplicación de nitrógeno en pasturas de gramíneas se puede hacer tanto en el momento de la implantación, como así también durante el transcurso del ciclo de la pastura para estimular el crecimiento, por ejemplo durante la salida del invierno y/o en la primavera. El aporte de nitrógeno en el momento de la siembra es importante para garantizar un adecuado establecimiento de la pastura. En sistemas en donde, luego de efectuar el diagnóstico (mediante análisis de suelos) se determinen dosis relativamente altas (por ejemplo mas de 100 kg de N/ha), el fraccionamiento de la dosis entre implantación y fin de invierno o primavera puede mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno.

La aplicación del nitrógeno sobre pasturas en producción se puede hacer en cobertura total, por ejemplo a través de fertilizantes líquidos como UAN o soluciones nitrogenadas líquidas similares (“chorreando” el fertilizante) o bien con fertilizadoras que esparcen (proyectan) en el fertilizante (aplicación “al voleo”).

### **Diapositiva 16**

Como se puede observar en el mapa, la mayor parte de los suelos de la Región Pampeana presentan contenidos de fósforo extractable (P Bray 1, 0-20 cm) deficientes para los cultivos de grano y forrajeras. Esta situación es la consecuencia de una agricultura con baja intensidad en el uso de los fertilizantes en general y de los fosfatados en particular. De hecho los balances de fósforo (y también los de nitrógeno) son fuertemente negativos a nivel país. Así, actualmente solamente se repone vía fertilización el 42, 41 y 22% del nitrógeno, fósforo, y azufre removido en los cultivos de grano de la Argentina. La situación en sistemas ganaderos es variable según el tipo de sistema de producción. Los sistemas de producción en donde se realiza el corte mecánico del forraje para confección de reservas (e.g. rollos) suelen ser muy extractivos, inclusive más que los sistemas agrícolas, ya se “cosecha” el prácticamente el 100% de la materia seca producida. En una situación intermedia se encontrarían los modelos de producción intensificados de carne de base pastoril (en donde los balances de fósforo pueden ser negativos en esquemas de alta producción de carne/ha con baja fertilización fosfatada), mientras que, en general, en los sistemas de cría vacuna extensiva (e.g. en la Pampa Deprimida) los balances de fósforo si bien pueden ser negativos ya que no es habitual la fertilización de pastizales, la magnitud de los mismos no alcanza los guarismos que en sistemas agrícolas o ganaderos mas intensificados.

### **Diapositiva 18**

La Figura muestra la relación entre el rendimiento relativo (producción de MS relativo al máximo posible) de diferentes recursos forrajeros y el contenido de fósforo extractable del suelo (P Bray 1, 0-20 cm). Como se puede apreciar, la alfalfa es la más exigente, requiriendo el mayor contenido de fósforo extractable en el suelo para maximizar su producción. En niveles intermedios se ubican los tréboles y pasturas mixtas (o consociadas), mientras que las gramíneas forrajeras maximizan su productividad con menores niveles de fósforo que los demás grupos de cultivos.

### **Diapositiva 19**

Se muestra el rango de suficiencia de fósforo extractable (P Bray 1, 0-20 cm), de diferentes especies forrajeras. Con estos niveles de de fósforo extractable estas especies maximizan su productividad. Con contenidos de fósforo extractable inferiores al primer valor del rango se considera deficiencia (alta probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada), mientras que con niveles de fósforo extractable en el suelo superior al valor superior del rango se considera que el fósforo no limita y por consiguiente hay baja probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada. En lotes y/o ambientes que tienen concentraciones de fósforo ubicados dentro de los rangos indicados, puede o no observarse respuesta a la aplicación de fósforo. Para aclarar el concepto, la alfalfa responde en general a la aplicación de fósforo en suelos con contenidos de P extractable inferiores a 20 ppm (20 ppm, 0-20 cm), mientras que la respuesta es poco probable o de pequeña

magnitud cuando el suelo contiene más de 30 ppm de fósforo extractable. Estos valores también se suelen denominar límites críticos de fósforo.

### **Diapositiva 20**

Se muestra información de eficiencia de uso de fósforo (EUP) (es decir de la cantidad de MS que se genera por cada kg de fósforo aplicado como fertilizante) para diferentes recursos forrajeros. Como se indicó para la EUN, los datos de EUP también permiten tener una idea de la magnitud de la respuesta esperada para determinadas dosis de fósforo, aspecto interesante por ejemplo para realizar evaluaciones del impacto económico de la fertilización fosfatada.

### **Diapositiva 21**

Se presenta el marco conceptual subyacente a los dos principales criterios o “filosofías” de fertilización fosfatada en agrosistemas. El criterio de suficiencia (el más utilizado tanto en cultivos de grano, como en recursos forrajeros que reciben fertilización fosfatada sobre todo en campos alquilados por poco tiempo) consiste en aplicar dosis de fósforo que permiten satisfacer la demanda inmediata de fósforo, sin considerar o esperar cambios en la dotación del contenido de P disponible en el suelo. Este esquema aplicado sistemáticamente tiende a generar balances negativos de fósforo (remoción de fósforo en productos animales mayor al aplicado vía fertilizante), con el subsiguiente empobrecimiento de la dotación del fósforo disponible del suelo. Esta estrategia busca maximizar el retorno económico de la fertilización, ya que aplicando dosis bajas de fósforo (o de cualquier nutriente deficiente en el suelo) se maximiza la eficiencia de uso de ese nutriente. Esto se debe a la ley de los rendimientos decrecientes, en donde se evidencia que a medida que aumenta la dosis de un insumo (en este caso de fósforo), se obtiene eficiencias de uso decrecientes (a mayor dosis menor eficiencia de uso). Como la dosis de fósforo aplicada es baja con este modelo de fertilización, el ideal sería que el fósforo se aplica en bandas a la siembra (localizado), y se realiza un muestreo de suelos de calidad (bajo error), que permita definir con la mayor precisión la dosis a aplicar. Cualquier error que lleve a sobreestimar la oferta de fósforo disponible en el suelo, generará recomendaciones de fósforo por debajo del óptimo, que limitarán la producción de forraje.

Por el contrario, el criterio de “enriquecimiento y mantenimiento” (o “levantar y mantener”) se busca que los niveles de fósforo extractable del suelo se ubiquen levemente por encima de los valores críticos de fósforo extractable, de modo que no se limite la productividad forrajera. Por lo tanto en suelos que tienen contenidos actuales de fósforo extractable inferiores a los rangos de suficiencia, se debe diseñar un plan de fertilización que permite en forma simultánea ir mejorando progresivamente la dotación de fósforo disponible en el suelo, y también aporte fósforo a los cultivos forrajeros a implantar y/o ya implantados. Este programa de fertilización se planifica a una determinada cantidad de años, a modo de una inversión, determinando en base al presupuesto

disponible el plazo en el cual se quiere alcanzar el objetivo de fósforo disponible. Una vez que se alcanza el objetivo de fósforo disponible, usualmente luego de varios años de aplicado el programa de mejoramiento de la dotación del fósforo disponible, se aplican dosis de reposición es decir se busca que los balances de fósforo sean iguales a cero (la cantidad de fósforo aplicado por año debe ser igual a la exportada en los productos cosechados, ya sea forraje de corte o productos animales como carne o leche).

## **Diapositiva 22**

Los esquemas muestran diferentes opciones de colocación del fertilizante fosfatado. El método de aplicación más eficiente es el realizado en el momento de la siembra, colocando el fósforo cerca o junto con la semilla. Cuando se aplica el fertilizante junto con la semilla (en el mismo surco) se debe evaluar y/o considerar el riesgo de fitotoxicidad causado por el fertilizante sobre la germinación de las semillas y/o la emergencia de las plántulas. Los efectos fitotóxicos dependen del tipo de suelo (e.g. textura, MO) y su condición de humedad, del tipo de fertilizante (sobre todo del pH de reacción inicial en el suelo y la generación de amoníaco), la dosis de aplicación, la especie cultivada (capacidad de compensación de pérdida de plántulas) y el distanciamiento entre hileras, entre los más importantes. Asimismo, las gramíneas, por su capacidad de macollaje tienen una muy elevada capacidad de compensación de pérdidas de semillas en germinación y/o plántulas, por lo cual aún observándose una caída del stand de plántulas, puede no traducirse en reducciones en la producción de MS. En igual sentido, el uso de semilla peleteada de alfalfa y/o otras leguminosas forrajeras, reduce considerablemente los daños del fertilizante sobre el tegumento de las semillas.

Algunos fertilizantes como el SFS (superfosfato simple de calcio) presentan muy baja fitotoxicidad aún en dosis elevadas, mientras que los fertilizantes fosfatados que generan amonio deberían analizarse de acuerdo a su comportamiento. El FMA (fosfato monoamónico) es considerablemente menos fitotóxico que el FDA (fosfato diamónico).

Para evitar daños fitotóxicos causados por el fertilizante aplicado junto con la semilla, se recomienda seleccionar máquinas sembradoras y/o sembradora-fertilizadoras que coloquen el fósforo por debajo y cerca de la línea de siembra (ya sea al costado o por debajo de la línea de siembra) para facilitar la difusión del fósforo, y luego el acceso de las raíces en crecimiento a la banda fertilizada.

## **Diapositiva 23**

Se muestran las condiciones en donde la eficiencia de la aplicación en bandas a la siembra es similar a la realizada al voleo en cobertura total y anticipada (30-90 días de la siembra) en planteos de siembra directa. Estos requisitos son válidos solamente para sistemas que se

manejan en siembra directa de muchos años (estabilizados), con sistemas intensificados y rotados. Bajo estas condiciones, se considera que la acumulación de MO y raíces en los primeros centímetros del suelo permite aprovechar el fertilizante fosfatado aplicado al voleo, siempre que el contenido de fósforo del suelo no sea muy bajo, es decir tenga idealmente niveles medios o altos.

En sistemas con labranza convencional, y/o en esquemas de siembra directa sin acumulación de rastrojos en superficie (e.g. monocultura con oleaginosas), se recomienda aplicar el fósforo en el momento de la siembra, por debajo y al costado de la línea de siembra, independientemente del contenido de fósforo del suelo.

#### **Diapositiva 24**

Se muestran las diferentes opciones de fertilizante fosfatado disponibles en el mercado argentino. Es importante tener presente que el contenido de fósforo de los fertilizantes se lo suele expresar en forma de  $P_2O_5$  (para pasar a fósforo elemento dividir por 2,3).

Todos los fertilizantes fosfatados presentan similar eficiencia agronómica cuando se los compara a la misma dosis de fósforo aplicado y con el mismo método de aplicación. Para las condiciones de los suelos de la Región Pampeana, tampoco son esperables diferencias entre fertilizantes fosfatados sólidos y líquidos. Solamente en suelos con horizontes superficiales cálcicos y/o con alto contenidos de carbonatos en la masa de suelo, como los que se pueden encontrar en la Región Semiárida Pampeana (e.g. San Luis, partes de Córdoba y La Pampa) o en Vertisoles de Entre Ríos (donde hay manchones de carbonatos), la efectividad agronómica de los fertilizantes líquidos puede ser levemente superior que los fertilizantes sólidos granulados. La afirmación que los fertilizantes fosfatados líquidos presentan una mayor efectividad agronómica que los sólidos y que por consiguiente se puede aplicar “dosis equivalentes” mucho más bajas del producto líquido, es un argumento erróneo, y no se base ni se sustenta en el conocimiento científico vigente en este campo. Este concepto no es válido para los suelos de la porción húmeda de la Región Pampeana, caracterizados por una muy baja “capacidad de fijación” de fosfatos (de hecho tienden a retener y liberar explicando los fenómenos de residualidad de la fertilización) y además no suelen hallarse suelos muy calcáreos que puedan reducir la disponibilidad de fósforo por mecanismos de precipitación entre el calcio y el fósforo.

El fertilizante “tradicional” utilizado en pasturas es el SFT (superfosfato triple) que tiene 20% de fósforo elemento y se difundió por su alta concentración en fósforo y por no tener nitrógeno en su

composición, aspecto interesante cuando se fertilizan pasturas de alfalfa y/o consociadas, en donde el nitrógeno lo aporta la transferencia desde las leguminosas que lo obtienen por la fijación biológica. Asimismo, el SFS (superfosfato simple) es un fertilizante interesante para pasturas ya que además de aportar fósforo (9%) aporta azufre (12%). El SFS además se produce en la Argentina y por consiguiente está disponible en diferentes provincias y zonas de producción.

Si bien, como se dijo, los superfosfatos (SFS y SFT) son especialmente aptos para fertilizar pasturas de leguminosas y/o mixtas, ello no implica que no se puedan utilizar otros fertilizantes como el MAP. Esta fuente fosfatada es la más concentrada en fósforo (22%) y su concentración de nitrógeno (11%) no es restrictivo para fertilizar pasturas consociadas en las dosis habituales. Asimismo, tanto el FMA como el FDA son aptos para ser utilizados en pasturas de gramíneas y/o en verdeos de invierno, en donde el aporte combinado de nitrógeno y fósforo es conveniente.

En los últimos años se han difundido en el mercado local las mezclas químicas (como el Microessential®), que contienen en cada gránulo la misma concentración de nitrógeno, fósforo y azufre, y a veces también incluyen micronutrientes como boro o zinc. La principal ventaja de este tipo de fuentes, que se denominan de “eficiencia mejorada”, es que permiten aplicar en un mismo gránulo todos los nutrientes que suelen limitar la producción de granos o forraje en una misma aplicación, optimizando la logística. También es atractiva la relación o balance fósforo/azufre (P/S) que hace que en dosis habituales de aplicación se aporte una cantidad balanceada de estos dos nutrientes, aspecto que no es posible lograr con mezclas físicas. La razón por la cual las mezclas químicas del estilo Microessential® pueden lograr relaciones P/S más bajas (o en otros términos, tienen mayor concentración de azufre en relación a fósforo se debe a que las mezclas químicas tienen la mitad del azufre en forma de azufre elemental ( $S^0$ ) que en estado puro es 100% de azufre y se lo introduce en forma micronizada durante la granulación del producto. Es decir, el 10% de azufre del Microessential® es en realidad 5% como sulfato y 5% como  $S^0$ . En mezclas físicas no se suele utilizar  $S^0$  por el riesgo explosivo en las plantas de formulación sino yeso, y por lo tanto no es posible alcanzar formulaciones “homólogas” a las mezclas químicas en cuanto a concentración de fósforo y azufre. Las mezclas físicas que tienen más fósforo tienen muy poco azufre y viceversa.

### **Diapositiva 25**

Se indican dosis orientativas de fósforo (como elemento), en diferentes recursos forrajeros según el contenido de fósforo del suelo en el momento de la siembra (determinado en el estrato de 0-20 cm por el método Bray 1). Esta información fue generada en base a experimentos realizados en la Unidad Integrada de la Facultad de Ciencias Agrarias de Mar del plata (UNMdP) e INTA Balcarce.

### **Diapositivas 26 y 27**

Se muestran recomendaciones de fertilización fosfatada de pasturas de gramíneas y mixtas (consociadas) expresadas en kg de  $P_2O_5$ /ha según contenido de fósforo en el suelo (P Bray 1, 0-20 cm). Las tablas muestran las dosis de  $P_2O_5$ /ha para aplicaciones durante la implantación o como refertilización de primavera, para diferentes sistemas de producción de carne (cría/invernada), y para tambo/haras/producción de semilla de forraje. Estas recomendaciones deben considerarse como empíricas y de “respuesta económica”, es decir no consideran el mejoramiento o el cambio en la dotación de fósforo en el suelo. Asimismo, se sugiere su utilización como una referencia general cuando no se dispone de modelos de fertilización calibrados y validados a nivel local.

### **Diapositiva 33**

Debido a la importancia económica y productiva que tiene la alfalfa como especie forrajera se detallan los requerimientos agroecológicos que permiten maximizar su productividad. Desde el punto de vista de la fertilidad de suelos y nutrición mineral, para garantizar el éxito en la implantación de la alfalfa es importante evaluar integralmente la condición de fertilidad del suelo, considerando tanto la calidad física como así también la acidez edáfica. En cuanto a la fertilidad física del suelo, es importante evaluar la presencia de compactaciones superficiales y/o subsuperficiales ya sea aplicando alguna metodología de observación del perfil y/o midiendo la resistencia a la penetración en los primeros 0-40 cm. La presencia de costras superficiales y/o impedancias subsuperficiales representan limitantes de la producción de alfalfa, sobre todo cuando éstas superan 2 MPa (Mega Pascales). El suelo también debe ser bien drenado, no anegable y/o inundable. En cuanto a la fertilidad química, es importante que el pH se ubique por encima de 6,5-7. Cuando el pH es menor a este rango y/o la saturación de cationes básicos es reducida, se debe analizar realizar un plan de aplicación de fertilizantes y enmiendas cálcicas, tema que se trata en un módulo específico de este curso.

De los recursos abióticos, la alfalfa logra optimizar su producción de MS cuando la disponibilidad hídrica es adecuada (aproximadamente 70 mm/tonelada de MS), la disponibilidad de fósforo se ubica en niveles superiores a 25-30 ppm (0-20 cm) y existe niveles suficientes de nitrógeno (obtenidos por la fijación simbiótica), azufre y boro.

### **Diapositiva 35**

Se muestra información experimental de la producción de alfalfa inoculada y no inoculada (control) en diferentes localidades de la Región Pampeana. Como se observa el crecimiento (evidenciado en la biomasa forrajera) es mayor en los tratamientos en donde la alfalfa se inoculó en el momento de la siembra (tratando las semillas con inoculantes específicos para esta especie). La práctica de la inoculación es muy importante para garantizar que el cultivo puede maximizar la eficiencia de la FBN, que se logra tratando las semillas con inoculantes de probada calidad.

## **Diapositiva 36, 37 y 38**

El peleteado de la semillas de alfalfa consiste en la aplicación de una cubierta (“capa”) por sobre el tegumento de las semillas que permite incluir terapicos y tratamientos biológicos (por ejemplo inoculantes y promotores de crecimiento). Esta tecnología mejora considerablemente la eficiencia y efectividad de los tratamientos biológicos aplicados en la semilla, como así también la calidad del establecimiento. Esta mejora se evidencia en un aumento en las plantas logradas/m<sup>2</sup> (mayor coeficiente de logro).

Como se observa en el esquema de la diapositiva 37, las tecnologías modernas de peleteado, permiten incluir en diferentes capas los distintos terapicos de semilla y organismos que forman parte del tratamiento biológico (bacterias que realizan la FBN y bacterias promotoras del crecimiento o “PGPR”).

## **Diapositiva 41**

### **Características de los fertilizantes azufrados**

Se muestran los diferentes fertilizantes azufrados que se dispone en el mercado argentino. Todos los fertilizantes que aportan el azufre (S) como sulfato y/o tiosulfato, se los considera disponibles para ser utilizado por las plantas.

De estos materiales, el fertilizante más “popular” dentro de los fertilizantes sólidos es el yeso agrícola (sulfato de calcio bihidratado). Es importante aclarar que si bien se suele mencionar que el yeso agrícola tiene 17% de S, por tratarse de un producto de origen mineral, el rango es variable, usualmente tienen entre el 15 y 17% de azufre. El mineral de yeso puro tiene 18,6% de azufre, por lo tanto el yeso que se utiliza como fertilizante suele tener “impurezas” (minerales acompañantes como carbonatos de calcio, u otros) que en general no limitan su utilización. También es importante tener claro que el yeso es una fuente sulfatada y soluble en agua, siendo apta para su aplicación como fuente azufrada de cultivos de grano y forrajeros.

El SFS es también muy utilizado en la Argentina, por el aporte de fósforo y de azufre. Es interesante notar que la forma química en la cual se encuentra el S en el SFS es como yeso. Por ello, tanto el yeso agrícola comercializado como tal, y el SFS presentan similar eficiencia y efectividad agronómica cuando se los compara por unidad de S aplicada y con los mismos métodos de colocación.

El sulfato de amonio se lo utiliza principalmente para formulación de mezclas, por su aporte tanto de nitrógeno como de azufre.

En los últimos años comenzaron a difundirse las mezclas químicas como el MicroEssential® descritas en la parte de fertilizantes fosfatados. El S en estos productos se encuentran mitad en forma de sulfato y mitad en forma de azufre elemental (S<sup>0</sup>). El primero es inmediatamente disponible para las plantas, mientras que el S<sup>0</sup> es insoluble en agua y se debe oxidar a sulfato para pasar a ser biodisponible para las plantas. Como el S<sup>0</sup> en estos productos se encuentra en forma micronizada, colocado en toda la matriz de los gránulos, se oxida rápidamente en el suelo. Por lo tanto, en términos prácticos, cuando se utilizan mezclas químicas en donde el S<sup>0</sup> se encuentra micronizado en la matriz de los gránulos con tamaños de partículas inferiores a 100-150 µm, se puede considerar que todo el S aportado en forma de S<sup>0</sup> se encuentra disponible para ser aprovechado por el cultivo o pastura durante el primer año de aplicación.

En la Argentina, prácticamente todo el UAN se lo comercializa mezclado con 10 o 20% de TSA (tiosulfato de amonio). Este último fertilizante líquido tiene 26% de S, pero como se lo mezcla en baja proporción (80-90% de UAN y 10-20% de TSA), las formulaciones comerciales (“Sol mix”) terminan teniendo entre 2,6 y 5,2% de S disponible para las plantas.

### **¿Cómo se aplican los fertilizantes azufrados?**

La fertilización azufrada se puede realizar tanto a en el momento de la implantación, como previo o posterior a ésta. El S no sufre pérdidas significativas en el sistema suelo-cultivo, con la excepción de las pérdidas por lixiviación de sulfatos, que se la considera poco frecuente en ambientes productivos de la Región Pampeana.

Por la movilidad del sulfato en el suelo, no son esperables diferencias entre formas de colocación (por ejemplo voleo en pre-siembra vs. línea de siembra), y tampoco deben esperarse diferencias entre eficiencia de uso de azufre de los diferentes fertilizantes sulfatados ofrecidos en el mercado.

La fertilización azufrada al igual que la fosfatada presenta residualidad, por lo cual la fertilización realizada a la siembra puede permitir abastecer y generar impactos productivos hasta 2-3 años posteriores a la aplicación. La magnitud de la residualidad depende principalmente de la dosis de fertilizante azufrado aplicado y de las características del suelo (cantidad y tipo de arcillas).

### **Diapositiva 42**

Se muestra información experimental de eficiencia de uso de azufre (kg de MS por cada kg de S aplicado). En términos generales, las respuestas al agregado de S son elevadas y rentables, por lo cual se suele alentar la práctica de la fertilización azufrada de forrajeras, siempre en el marco

de una fertilización integral en donde este nutriente se aplique en forma conjunta con los demás nutrientes limitantes del rendimiento de las pasturas (principalmente nitrógeno y el fósforo).

### **Diapositivas 45 y 46**

Se muestran mapas del contenido de zinc (Zn) y boro (B) en ambientes “prístinos” y agrícolas de la Región Pampeana. Los suelos prístinos serían actualmente los relictos que quedan de suelos originales, por ejemplo debajo de los alambrados y/o en cascos y/o montes en donde el suelo no ha sido utilizado para la producción agropecuaria. Los suelos bajo agricultura son los lotes actuales que se utilizan para producción de cultivos.

Como se puede observar la reducción en la disponibilidad de Zn por acción del uso agrícola fue muy marcada. Actualmente la disponibilidad de este micronutriente es baja en la mayor parte de las zonas de producción. Si bien la mayor parte de las respuestas a la fertilización con Zn se han observado en maíz, en los últimos tiempos diferentes ensayos de campo comenzaron a mostrar deficiencias en otros cultivos como soja o trigo, y también en recursos forrajeros. Como límite crítico se puede considerar 1 ppm (Zn determinado por DTPA, 0-20 cm). Por debajo de este valor la probabilidad de respuesta a la fertilización con Zn es elevada.

En cuanto al B, también las caídas en la concentración del nutriente fueron muy marcadas en relación a los contenidos originales presentes en los suelos. En cultivos forrajeros, las principales deficiencias de B se observan en alfalfa, principalmente en ambientes de alta productividad. Niveles de B disponible menores a 0,3-0,5 ppm (0-20 cm) se los puede considerar limitantes de la productividad de alfalfa y/o otras leguminosas forrajeras.