

RELACION SUELO - PLANTA Y FERTILIZACION

J. Alberto Mila Prieto*

Introducción

A ciencia cierta se sabe que existe una relación dinámica entre el suelo y las plantas, el suelo constituye una fuente de elementos minerales, orgánicos, aire y agua que son nutritivos y sirven para el desarrollo y crecimiento de las plantas para producir una determinada cantidad de biomasa que en el caso de las especies forrajeras, servirá como alimento básico de los herbívoros.

El suelo es un sustrato dinámico que está cambiando por la interacción de factores (por ejemplo el clima) y procesos (por ejemplo el lavado) dando como resultado suelos con diferentes características de fertilidad.

Las plantas forrajeras son hábiles para absorber nutrientes del suelo y requieren grandes cantidades para su desarrollo fisiológico de tal manera que para tener una producción sostenida de forraje se debe restituir periódicamente al suelo las cantidades extraídas por las pasturas, esto se logra a través de la práctica de la fertilización que además permite aumentar la fertilidad de suelos pobres en minerales y obtener mayores rendimientos de forraje. Las recomendaciones de fertilización deben estar sustentadas por el análisis físico-químico del suelo y los requerimientos nutricionales de la planta, no hay que olvidar que una buena respuesta de la fertilización depende de factores climáticos y tomar en cuenta la clase de fertilizante, la dosis, época y método de aplicación y la frecuencia con que se fertiliza. Actualmente el análisis foliar o de tejidos es una herramienta complementaria para hacer un diagnóstico más preciso sobre las necesidades de fertilización de las plantas.

* Ingeniero Agrónomo, Proyecto de Especies Forrajeras, C.I. ICA Tibaitatá. A.A. 151123 Eldorado, Santafé de Bogotá, D.C.

La Planta y el Medio Edáfico

El suelo constituye el medio edáfico y actúa como una esponja absorbente en la cual permanecen los nutrientes en solución disponibles para ser tomados por las raíces de las plantas y ser translocados a los puntos de crecimiento y consolidar el desarrollo fisiológico de las plantas.

Hay factores edáficos que afectan la producción de forraje estos tienen que ver básicamente con las propiedades físicas y químicas del suelo. Dentro de las propiedades físicas; la textura, la estructura, el color, la porosidad, la profundidad, la capacidad de retención de agua y la topografía, están relacionadas con la facilidad de preparación o mecanización del suelo, susceptibilidad a la erosión, germinación adecuada del cultivo, penetración radicular, contenido y retención de nutrientes y agua, intercambio gaseoso del suelo y las raíces y en general la fertilidad. Las propiedades químicas que más afectan la productividad del suelo son el pH, el contenido de materia orgánica, y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) estas propiedades están interrelacionadas y controlan la disponibilidad y la dinámica de los nutrientes en el suelo.

Elementos Esenciales

Se considera que desde el punto de vista agronómico son 17 los elementos fundamentales y necesarios para el óptimo desarrollo de los pastos, 14 de estos elementos son suministrados por los minerales del suelo y los 3 restantes (carbono, oxígeno e hidrógeno) son aportados por el aire y el agua.

Criterios de Esenciabilidad

Se refiere a 3 aspectos:

1. La carencia de los elementos esenciales provoca problemas metabólicos en las plantas.
2. La falta de elementos esenciales induce un ciclo vital incompleto.

3. Cada elemento esencial cumple funciones específicas en la nutrición vegetal por lo tanto existe la imposibilidad de ser reemplazado por otro.

Una deficiencia de un nutriente afecta el desarrollo normal de la planta y es necesario corregirla adicionando el elemento deficiente.

Procedencia de los Elementos Esenciales

Aire: Carbono y Oxígeno

Agua: Hidrógeno

Suelo

Elementos mayores (Macronutrientes)

- Primarios: Nitrógeno (N); Fósforo (P), Potasio (K)
- Secundarios: Calcio (Ca); Magnesio (Mg); Azufre (S)

Elementos Menores (Micronutrientes)

- Hierro (Fe), Manganeso (Mn); Cobre (Cu); Zinc (Zn); Boro (B); Molibdeno (Mo); Cloro (Cl); Cobalto (Co).

Los elementos mayores son los minerales que en forma disponible necesitan las plantas en mayor cantidad para su normal crecimiento. Estos elementos mayores están en gran proporción en la constitución de los tejidos vegetales y por consiguiente la planta los extrae del suelo en cantidades altas.

Los elementos menores conocidos como elementos trazas, micronutrientes u oligoelementos, son requeridos por las plantas en pequeñas cantidades pero son esenciales para su óptimo desarrollo.

Elementos Tóxicos

Todos los minerales pueden ser tóxicos cuando están a niveles de disponibilidad excesiva, principalmente ocurre con los elementos menores que se necesitan en mínimas cantidades y una pequeña sobredosis ocasiona toxicidad en las plantas y en los animales que las consumen. En la Figura 1 se ilustra como el nivel de disponibilidad de los minerales influye en el rendimiento de las plantas.

Dentro de los elementos más peligrosos en cuanto a la magnitud de la toxicidad se encuentran Selenio (Se), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Aluminio (Al), Sodio (Na), Molibdeno (Mo). Estos elementos afectan severamente la salud del animal, cuando son consumidos por encima de los requerimientos fisiológicos.

Dinámica de los Nutrientes del Suelo

En el siguiente diagrama se aprecia el flujo del nutriente desde la fase sólida del suelo hasta la asimilación por la planta.

Nutriente

1. Fase sólida
2. Fase Cambiable
3. Solución
4. Raíz
5. Planta

Originalmente los nutrientes se encuentran en la fase sólida en formas complejas que no son aprovechables por la planta, al descomponerse o meteorizarse pasan a los coloides del suelo o sea a la fase cambiabile donde se mineralizan para llegar a la fase solución en forma Iónica y ser absorbidos por el sistema radicular de las plantas e ir después a los puntos de crecimiento circulando a través del floema y xilema y nutriendo a las plantas para su óptimo desarrollo fisiológico. La dinámica de los nutrimentos en el suelo debe guardar un equilibrio, esto quiere decir que el flujo de nutrientes de la fase sólida al enjambre iónico (fase cambiabile) debe compensar las pérdidas por lavado (lixiviación), inmovilización, fijación, etc; hasta un momento en que la fase sólida se agota y no podrá suministrar minerales aprovechables a las plantas, es aquí cuando debemos pensar en enmiendas o fertilización.

Producción Materia Seca T/ha

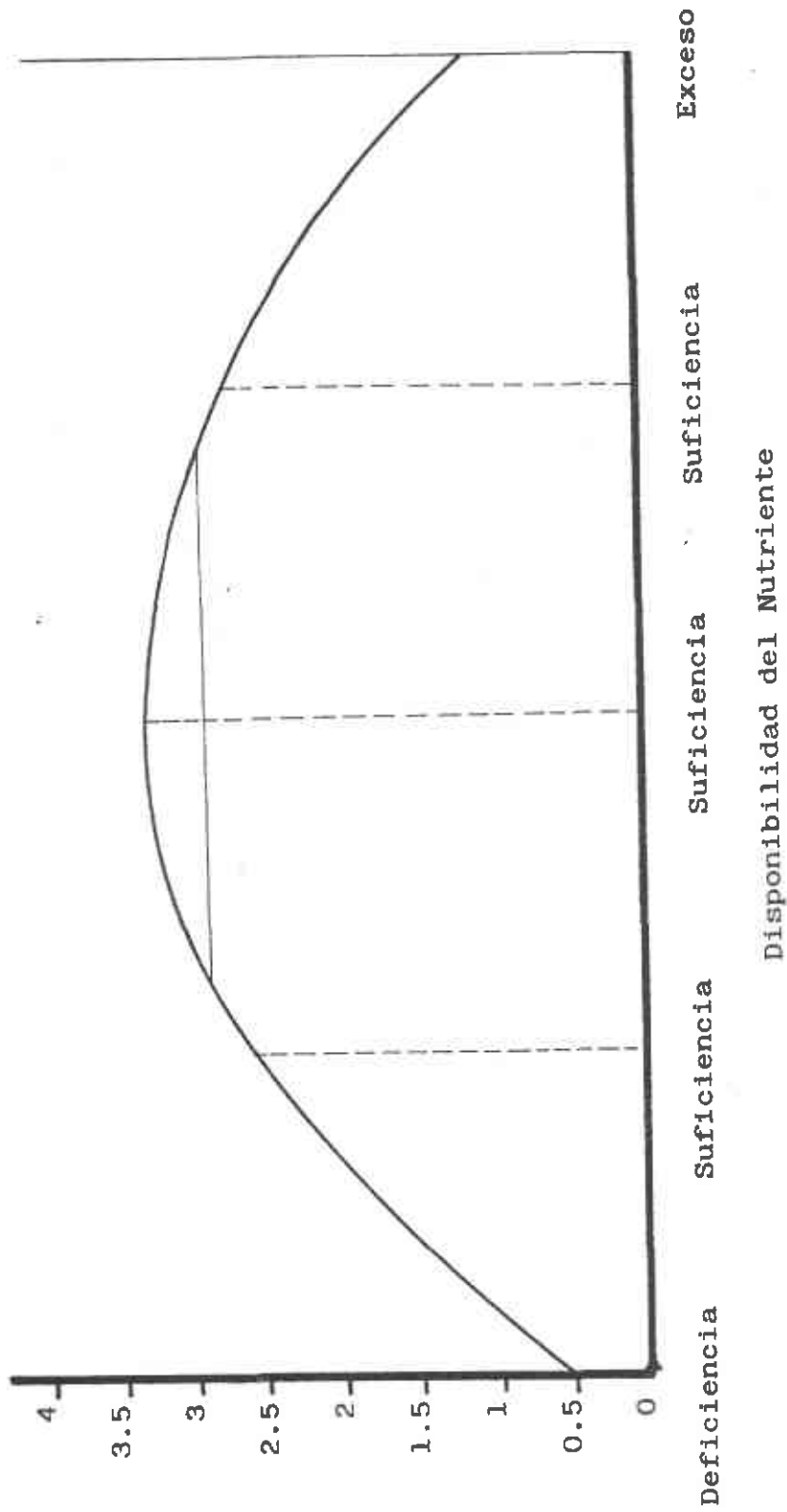


FIGURA 1. Producción de Materia Seca según el nivel de disponibilidad de los nutrientes (adaptada por Mila 1992).

La Tabla 1 analiza las formas complejas y formas aprovechables de los nutrientes del suelo.

Disponibilidad de Nutrientes

La disponibilidad de nutrientes está en función de 3 factores que interactúan entre sí que son: intensidad, capacidad y restitución.

1. Intensidad:

Este factor describe la disponibilidad de nutrientes instantánea. se refiere a la concentración de nutrientes en forma iónica, que se encuentra en la solución del suelo; a mayor intensidad habrá mayor disponibilidad de nutrientes y por lo tanto mejor desarrollo vegetal debido a una mayor absorción de minerales. El factor intensidad debe ser medido en el laboratorio periódicamente ya que la concentración de iones varía permanentemente en la solución del suelo debido a diferentes procesos tales como absorción por la planta, lavado por lluvias, fijación química, actividad microbial, etc.

2. Capacidad:

Describe la disponibilidad de nutrientes a lo largo del ciclo de vida del cultivo y por esta razón es muy importante desde el punto de vista agronómico. Se puede cuantificar a partir de la fase cambiante del suelo principalmente determinando las bases cambiables (K, Na, Mg, Ca).

3. Restitución:

Expresa la disponibilidad de nutrientes a muy largo plazo, se mide a través de la determinación de la concentración total de nutrientes; este factor da una idea clara de la reserva de minerales en el suelo y es una sumatoria de los nutrientes presentes en las fases sólida, cambiante y solución del suelo. Un análisis de caracterización nos proporciona información sobre el potencial del suelo para restituir nutrientes en un lapso de tiempo prolongado.

TABLA 1. FORMAS COMPLEJAS Y FORMAS APROVECHABLES DE LOS NUTRIENTES DEL SUELO.

Nutriente	FASE SOLIDA Formas complejas no aprovechables		FASE LIQUIDA Formas simples Aprovechables	
	Compuestos Orgánicos	Compuestos Primarios	Minerales Secundarios	
	Nitrógeno (N)	Aminoácidos Peptonas Polipéptidos Proteínas		N H4 ⁺ Fijo
Fósforo (P)	Fitinas Fitatos Fosfoproteínas Ácidos nucleicos	- Apatitas	Fosfatos de Al, Fe, Ca	H2PO4 ⁻ HPO4 ⁼
Potasio (K)		<u>Feldspatos</u> - (Ortoclasa) <u>Micas</u> - Muscovita - Biotita	Arcillas cl K SO4 K K Fijo	K ⁺
Calcio (Ca)		<u>Feldspatos</u> - Hornblenda	Ca CO3 SO4 Ca PO4 Ca Arcillas	Ca ⁺⁺
Magnesio (Mg)		- Hornblenda - Olivino - Biotita	CO3 Mg SO4 Mg Arcillas	Mg ⁺⁺
Azufre (S)	Sulfo- proteínas	Pirita (S2 Fe)	SO4 Ca SO4 Fe SO4 Mg	SO4 ⁼

ADAPTADA POR: Mila P.A. 1992

Aspectos Biológicos en la Interacción Suelo-Planta

En la formación de los suelos y su evolución actúan de manera muy importante los agentes biológicos o seres vivientes. Las plantas ejercen una acción desintegradora de partículas de roca y suelo a través de su sistema de raíces las cuales secretan sustancias orgánicas disolventes; las hojas, tallos, frutos, raíces, etc se descomponen y junto con el agua forman ácido carbónico (H_2CO_3) que disuelve los minerales de las rocas. El material orgánico que se va acumulando por este tipo de reacciones constituye el "humus" que es un coloide que le da características físicas y químicas deseables a los suelos haciéndolos mas fértiles. La flora microbial del suelo constituida por bacterias, hongos, algas, etc, actúan descomponiendo los tejidos de las plantas y contribuyen a la formación del humus. Un grupo muy importante de bacterias fija nitrógeno atmosférico y lo reduce para que sea tomado por las plantas ($N_2 \rightarrow NH_2$), estas bacterias del género Rhizobium trabajan en asociación o simbiosis con las raíces de plantas leguminosas originando nódulos que se descomponen y liberan nitrógeno asimilable para plantas asociadas a las leguminosas. En términos generales los microorganismos producen a través de su actividad ácidos orgánicos que alteran minerales y rocas. Los organismos mayores como las lombrices y hormigas modifican profundamente el suelo dándole mayor aireación por el transporte de suelo de horizontes profundos a capas superficiales. El hombre es un agente biológico muy activo por medio de sus actividades de adecuación de tierras, laboreo del suelo, construcciones y adelanto de obras civiles que forzosamente alteran las características físicas y químicas del suelo, transformando su potencial productivo agropecuario.

FERTILIZACION

Entre las prácticas agronómicas que mejor respuesta registran en el establecimiento y mantenimiento de pasturas se destaca la fertilización ya que se consigue una mayor producción de forraje en un tiempo relativamente corto, además el valor nutritivo puede aumentar por unidad de área en términos cuantitativos.

En zonas agropecuarias de uso intensivo y en donde el costo de la tierra es alto se hace necesario producir mas carne, leche o lana en forma competitiva con los cultivos comerciales para lograr una mayor rentabilidad; en este caso la practica de fertilización es obligatoria para tener producciones abundantes de forraje y mayor

productividad animal. En muchas regiones tropicales la fertilidad del suelo es muy baja por efecto de las altas temperaturas y precipitaciones y la respuesta a la fertilización es notoria especialmente a nitrógeno elemento más limitante en las condiciones tropicales, sin embargo, es preciso anotar que en suelos pobres marginales (Orinoquía) con ganaderías extensivas la fertilización es antieconómica por la falta de infraestructura y las grandes distancias de estas áreas a los centros de consumo.

Para el establecimiento y mantenimiento de pasturas es necesario analizar la relación suelo-planta y verificar las necesidades del suelo en materia de minerales y los requerimientos de la planta para ajustar un plan conveniente de fertilización.

Muestreo de Suelos

A través de una muestra del suelo se pueden conocer sus características físico-químicas y diagnosticar con precisión sobre las deficiencias o excesos de nutrientes que se puedan presentar.

El muestreo de suelos se puede hacer en forma de caracol o zigzag, debe ser representativo (al azar) hasta los primeros 20 centímetros de profundidad del perfil del suelo que es suficiente para especies forrajeras herbáceas o gramíneas de raíces superficiales. Se recogen muestras en varios puntos del lote y luego se homogeniza (se revuelven todas las muestras), se pueden tomar 10 muestras/ha, luego se seca en estufas o al aire natural en recintos ventilados y cubiertos, de aquí se toma una submuestra de 500 grs y se envía al laboratorio para los análisis deseados.

Instrucciones para un buen Muestreo del Suelo

Divida el lote de acuerdo con la apariencia física del suelo. Cada área se muestrea separadamente, por ejemplo: para suelos arcillosos y arenosos se toman muestras diferentes lo mismo para áreas planas e inclinadas; lotes que vienen de distintos cultivos deben ser muestreados independientemente.

- No tome muestras cuando el suelo está húmedo, no fume mientras hace el muestreo; use empaques libres de contaminación sobre todo de agroquímicos.

- Un barreno, un sacabocado o pala, un balde y cajas de cartón limpias y algunas bolsas plásticas; son suficientes como herramientas para el muestreo.
- No olvide tome 10 muestras representativas por hectárea entre 0-20 cm de profundidad.
- En una hoja de información (esta la consigue en los laboratorios de análisis de suelos) llene los datos solicitados en forma completa; identifique muy bien la muestra, esté seguro que usted pueda reconocer los resultados del análisis correspondiente a los lotes muestreados.
- Evite tomar muestras en áreas con canales, cerca a la carretera o caminos, sitios con estiércol, pajas, residuos de cosecha, saladeros, lotes quemados o cualquier zona poco común que no sea representativa.

Análisis de Suelos

Con base en los análisis de suelos es que nacen las recomendaciones de fertilización en cuanto a fuentes y dosis. Una correcta interpretación de los resultados requiere la asesoría de un Ingeniero Agrónomo quien es el técnico más indicado para sugerir el tipo de fertilización a realizarse. Se debe tener en cuenta que la práctica de la fertilización es una de las más costosas y por lo tanto se deben considerar los factores ambientales, el tipo de pasto, la clase de abono, la época y método de aplicación.

Factores Edáficos que Afectan la Fertilización

Los más importantes son: la fertilidad, el pH, la textura y la estructura.

Fertilidad: En Colombia, el ICA ha intentado hacer una zonificación de la fertilidad de los suelos ganaderos para hacer las recomendaciones pertinentes de fertilización. Es así que áreas clasificadas como de baja fertilidad corresponden a regiones con suelos ácidos, bajos en nitrógeno asimilable con altos contenidos de aluminio y pobres en fósforo disponible. La Orinoquía, la Amazonía, Sabanas del Cesar y Magdalena, zonas de páramo y algunas áreas cafeteras están consideradas como regiones de baja fertilidad.

Suelos con problemas moderados de acidez, contenidos medios de bases cambiables y fósforo; son considerados suelos de fertilidad media, regiones como los bajos del Magdalena, Cauca, San Jorge, las llanuras del Pacífico, los altiplanos Cundi-Boyacense y Narifense y algunas zonas cafeteras y paneleras se clasifican en el área de influencia de suelos de fertilidad media.

El Valle de Upar en el Cesar, Valle del Sinú, Valle del Cauca, el Alto Magdalena y la Baja Guajira se clasifican como regiones con suelos de alta fertilidad con pH adecuado para la mayoría de los cultivos, buen contenido de materia orgánica, altos en fósforo y bases cambiables y texturas francas con buena capacidad de intercambio catiónico.

En las Tablas 2 y 3 se contrasta cómo en una misma región (Urabá) se presentan amplias variaciones en las condiciones de suelo, por lo que es muy difícil generalizar por región las recomendaciones de fertilización; lo aconsejable es hacer los análisis para cada predio y ajustar el uso de los fertilizantes a los requerimientos de cada sitio en particular.

pH: Respecto al pH se ha observado que la mayoría de forrajes tropicales crecen bien en suelos con pH de 5.0 - 6.0, en el caso de especies de zona templada, los pH ideales deben estar cercanos a la neutralidad (6.0 - 7.0).

En suelos extremadamente ácidos (Orinoquía-Amazonía) las cantidades de Al, Fe y Mn son altas y solubles de tal manera que pueden ser absorbidas por la raíz y ocasionar toxicidad en las plantas, la neutralización de estos elementos se consigue con la aplicación de cal; el encalamiento modifica el pH haciéndolo menos ácido, precipitando el aluminio y haciendo disponible el calcio para las plantas.

En pH alcalino se presenta salinización y sodificación lo que afecta la estructura del suelo y limita el desarrollo de los pastos. Esto se controla con un plan cuidadoso de lavado y drenaje de sales y aplicación de correctivos acidificantes (yeso).

Textura: Los suelos francos y arcillosos tienen mayor fertilidad que suelos arenosos, ya que tienen alta capacidad de retención de nutrientes. En suelos arenosos las pérdidas por lavado de cationes como el K y el NH₄ son significativas; es necesario aplicar grandes dosis de Nitrógeno y potasio para restituir dichas pérdidas.

TABLA 2. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO EN EL C.I. TULEMAPA CAREPA - URABA ANTIOQUEÑO.

Profundidad (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	P ppm	M.O. %	Meq/100 gr			
							AL	Ca	Mg	K
0 - 20	13.49	44.91	41.60	5.8	4.3	1.6	-	13.3	4.5	0.26
20 - 40	14.95	47.40	37.65	6.0	5.6	1.5	-	12.0	4.3	0.22

FUENTE: Mila P.A. 1985

TABLA 3. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO EN LA HACIENDA BEJUQUILLO MUTATA URABA ANTIOQUEÑO.

Profundidad (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	P ppm	M.O. %	Meq/100 gr			
							AL	Ca	Mg	K
0 - 20	19.70	18.97	61.33	5.0	5.0	3.8	7.8	4.32	0.63	0.14
20 - 40	18.74	16.30	64.96	5.2	5.2	2.3	12.6	1.85	0.40	0.13

FUENTE: Mila P.A. 1985

Estructura: La eficiencia de la fertilización aumenta cuando los suelos tienen buena estructura lo que permite una buena aireación, y humedad además de una apropiada absorción de nutrientes del fertilizante.

Factores Climáticos en la Fertilización

Las áreas ecológicas con sus regímenes de lluvia, temperatura, humedad relativa, luz, etc., regulan la eficiencia en la fertilización por ejemplo en zonas cálidas por efecto de la evaporación, las pérdidas de compuestos nitrogenados son considerables lo que implica un énfasis en la fertilización con este nutriente, el crecimiento de las plantas tropicales (C4) es más rápido y las exigencias de fertilidad son mayores. En climas fríos y en páramos la disponibilidad de Nitrógeno es baja debido a la poca actividad microbial de la flora del suelo lo que hace lenta la descomposición de la materia orgánica presentándose también deficiencias de fósforo, calcio y altos contenidos de Aluminio y pH ácido, esto conlleva a realizar una fertilización con altas dosis.

En zonas ganaderas que poseen riego no hay limitación para la época de aplicación de fertilizantes, no obstante en áreas sin riego la fertilización debe hacerse en condiciones de humedad suficiente pero no excesiva, en suelos secos los fertilizantes pierden eficiencia.

Factores de Genotipo en la Eficiencia de la Fertilización

La extracción de nutrientes por las plantas es diferencial por ejemplo las gramíneas son más ávidas en Nitrógeno y Potasio que las leguminosas. Las especies del género Brachiaria tales como decumbens, dictyoneura y brizantha están genéticamente condicionadas para desarrollarse y producir adecuados volúmenes de forraje en ambientes con suelos ácidos e infértiles, en estas mismas condiciones especies como Climacuna (Dichanthium annulatum) o angleton (D. aristatum) no prosperarían.

La Alfalfa (Medicago sativa) es muy sensible a suelos con pH ácido y a deficiencias de calcio y boro, situación que no ocurre con Trébol blanco (Trifolium repens) que puede soportar pH hasta de 5.5. En cuanto a microelementos parece que las leguminosas son más susceptibles a las deficiencias.

Eficiencia de la Fertilización en Colombia

Se parte de la base que la eficiencia de la fertilización en Colombia es baja, entonces hay que pensar que las cantidades de fertilizante que se aplican no se aprovechan 100%, el caso más crítico sucede con el Fósforo el cual tiene una eficiencia de absorción entre el 5 al 30%, esto significa que de 100 kg que aplicamos solo 5 a 30 kg son asimilados por las plantas y el resto es acomplejado en el suelo por moléculas que lo fijan y no lo hacen disponible. En el caso de Nitrógeno se aprovecha del 20 al 60%, para Potasio del 30-60%, por esto es normal encontrar que las aplicaciones de fósforo son más altas que las de Nitrógeno, Potasio y otros elementos.

Para incrementar la eficiencia en la fertilización se sugiere aplicar fuentes solubles (superfosfatos) en banda cuando se siembra en surcos y aplicaciones al voleo cuando la fuente es de baja solubilidad (rocas fosfóricas) de cualquier forma la humedad es factor preponderante para la rápida asimilación de los nutrientes. Aplicaciones en corona alrededor de los pastos de corte son aconsejables para un mejor aprovechamiento del fertilizante, las dosis se basarán en los resultados de los análisis del suelo y en el tipo de especie forrajera que estemos manejando.

Las aplicaciones de cal se hacen 15 a 30 días antes de la siembra y se deben incorporar con las rastrilladas para permitir que la cal reaccione en el suelo, abonos simples y compuestos se distribuyen al momento de la siembra y se pueden mezclar con la semilla, siempre y cuando no tengan reacción alcalina como el Cloruro de Potasio y el Sulfato de Magnesio; los compuestos nitrogenados se deben aplicar cuando la planta haya macollado o tenga 30 cm de altura esto ocurre más o menos entre los 30 y 45 días después de la siembra. En fase de mantenimiento el nitrógeno se puede aplicar inmediatamente después de los cortes o pastoreos.

Niveles Aproximados de Fertilización para Establecimiento de Pasturas en Colombia

En suelos tropicales de baja fertilidad como los Llanos Orientales, los niveles mínimos de fertilización para establecimiento de gramíneas adaptadas como braquiaria, pasto llanero, pasto humidícola se obtienen con aplicaciones de 30-50 kg/ha de P₂O₅; 20-30 kg/ha de K₂O; 10-20 kg/ha de Mg y 10-20

kg/ha de S, generalmente estos niveles se consiguen con la incorporación antes de la siembra de 200-350 kg/ha de Calfos y 100-150 kg/ha de Sulpomag. En cuanto a Nitrógeno la respuesta de los forrajes es alta y debe aplicarse en forma escalonada preferiblemente después de cada corte o pastoreo 50-75 kg/ha de N en forma de Urea pueden ser recomendables para las condiciones tropicales. En el establecimiento leguminosas como el Kudzú y *Desmodium ovalifolium* requieren fertilización fosforada y aplicaciones de S, Mg, Ca y microelementos, el uso de Calfos (250-300 kg/ha); Sulpomag (75-150 kg/ha), son dosis adecuadas para este tipo de suelos ácidos.

En áreas de mediana fertilidad se acostumbra a emplear Calfos en dosis de 200 kg/ha como fertilizante de establecimiento.

En zonas de alta fertilidad muchas veces el establecimiento de especies forrajeras se logra sin aplicación inicial de fertilizante no obstante existen circunstancias específicas en las que se deben cuantificar las necesidades de fertilización de acuerdo a los resultados de los análisis del suelo. Por ejemplo en condiciones del Valle del Cauca se ha observado que la alfalfa necesita de aplicaciones de 30-50 kg/ha de Borax para un buen establecimiento. En resumen las especies forrajeras de clima frío son más exigentes en fertilización tanto en el establecimiento como en mantenimiento. las recomendaciones apuntan a la dosificación de 500-1000 kg/ha de Calfos y adición de abonos comerciales de diferentes grados (10-30-10; 13-26-6; 14-14-14; 10-20-20 etc) en dosis de 300 kg/ha.

Las aplicaciones de nitrógeno en fase de mantenimiento pueden ser del orden de 150-200 kg/ha de Urea, en áreas de páramo por la acidez del suelo se deben incorporar 2-4 T/ha de cal agrícola y abonos compuestos en cantidad de 300 kg/ha. Cuando se establecen especies mejoradas como los raigrases el programa de fertilización es prioritario para obtener mayor rentabilidad (Tabla 4).

En la Tabla 5 se aprecia que las aplicaciones de fertilizante completo son necesarias para mantener altos niveles de producción en los raigrases.

Fijación Simbiótica de Nitrógeno

Cuando se van a establecer mezclas de gramíneas y leguminosas, se deben aumentar la dosis de fertilizante ya que las leguminosas se adaptan a un pH más alto y son más ávidas en P, Ca, Mg, y

TABLA 4. NIVELES DE FERTILIZACION Y RENTABILIDAD DEL PASTO TETRABLEND 444 EN LA UNION ANTIOQUIA.

VARIABLE	FERTILIZACION	
	300 Kg/ha	10-30-10 inicial y semestral
	100 Kg/ha	Urea inicial y post pastoreo
	500 Kg/ha	Cal Dolomítica inicial y semestral
1. Rendimiento promedio (FV T/ha/año)		240
2. Capacidad de carga U.G.G.		6.5
3. Rentabilidad anual (%)		70

ADAPTADO: De Jaramillo y León. 1989

TABLA 5. PRODUCCION DE FORRAJE VERDE (T/HA) DE TRES VARIEDADES DE RAIGRAS CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZANTE COMPLETO (15-15-15) Y UNA APLICACION UNIFORME DE 50 Kg/Ha DE UREA DESPUES DE CADA CORTE, COMBITA - BOYACA.

DOSIS DE FERTILIZANTE (15-15-15) Kg/Ha	\bar{X} (3 CORTES) FV-T/HA/CORTE		
	TETRAPLOIDE ANUAL	TETRAPLOIDE PERENNE	RAIGRAS ITALIANO VARIEDAD GULF
0	24.08	21.58	23.29
100	24.79	27.44	33.91
200	29.06	26.00	37.21
400	31.75	28.71	35.50

ADAPTADA: De Bernal E.J. 1992

microelementos. No se debe aplicar, nitrógeno cuando la leguminosa esta realizando simbiosis efectiva con las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico. Para promover la simbiosis se aconseja inocular las semillas de la leguminosa con una cepa de la bacteria específica y garantizar así la fijación de N. Las investigaciones en esta materia han demostrado que en condiciones de clima cálido la mayoría de leguminosas tropicales nodulan abundantemente y muchas veces sin necesidad de inocularlas, esto es particularmente cierto en el caso de Kudzú considerada como especie promiscua que le permite hacer simbiosis con una gran variedad de bacterias nativas de los suelos tropicales. En clima frío la situación cambia ya que las razas de rhizobium, presentes en estos suelos no se asocian convenientemente con los tréboles y alfalfas, de tal manera que la fertilización nitrogenada por vía química es fundamental para el sostenimiento de estas pasturas. Una leguminosa bien nodulada indica eficiente fijación de nitrógeno por esto es indispensable hacer revisiones periódicas en las raíces para constatar si los nódulos son abundantes, sanos, jugosos y rosados, entonces se asume que la fertilización nitrogenada debe restringirse y aprovechar así la capacidad fijadora de las bacterias simbióntes. Un hecho a tener en cuenta es que cuando la fijación es efectiva y se aplica nitrógeno químico u orgánico las bacterias toman este nitrógeno del fertilizante y no fijan el nitrógeno atmosférico, desperdiciando su potencial biológico en la fijación lo que además va a aumentar los costos por concepto de la fertilización nitrogenada.

Fertilización de Mantenimiento

Debido a la extracción notable de nutrientes del suelo que hacen las plantas forrajeras es imprescindible restituir estos minerales a través de la fertilización de mantenimiento, de esta manera se consigue mantener una producción uniforme de forraje durante todo el año. En la Tabla 6 se ve como un pasto tropical remueve cantidades importantes de nutrientes del suelo.

Las especies forrajeras de clima frío concentran cantidades más altas de minerales en sus tejidos y de allí que la remoción de nutrientes que hacen es más significativa que pastos del trópico. En la Tabla 7 se aprecian estas diferencias.

Aunque se ha determinado (6) que aproximadamente el 75 por ciento de nitrógeno, 80 por ciento de fósforo y 85 por ciento de potasio contenidos en los pastos son retornados a la pradera en la orina y las heces de los animales en pastoreo, el efecto sobre el mantenimiento de la fertilidad del suelo es considerado poco

TABLA 6. REMOCION EN KG/HA DE NITROGENO, FOSFORO, POTASIO Y CALCIO POR EL PASTO ANGLETON EN UN SUELO DEL VALLE DEL CAUCA, DURANTE UN PERIODO DE 48 SEMANAS CON CORTES CADA 48 DIAS.

TRATAMIENTO	N	P	Kg/ha	K	Ca
Sin fertilizar	35	7.2		32	10.4
50 Kg/ha de N en cada corte	224	55.2		277	41.9

ADAPTADA DE: Lotero C.J. 1970

TABLA 7. CALCULO DE EXTRACCION ANUAL DE NUTRIMENTOS DE ALGUNAS ESPECIES FORRAJERAS DE CLIMAS CALIDO Y FRIO EN COLOMBIA.

ESPECIES	N	EXTRACCION P Kg/ha/año	K
Braquiaria	230	23	210
Pangola	272	34	255
Kikuyo	389	36	346
Raigrás Tetrelite	432	48	400

ADAPTADA DE: Mendoza, M.P. 1980

significativo por la concentración de heces y orina en pequeñas áreas, de tal suerte que para garantizar un efecto importante es necesario distribuir uniformemente estos residuos orgánicos en la pradera.

En mantenimiento una adecuada dosificación de nutrientes permite un buen desarrollo del pasto y por tanto un aumento en producción. Bajo condiciones tropicales e incluso en zonas frías y de páramo las mejores respuestas de las especies forrajeras se han obtenido con las aplicaciones de nitrógeno (Tablas 8 y 9) aunque no debemos olvidar que las mezclas de gramíneas con leguminosas nos permitirían ahorrar el costo de fertilizante químico cuando la fijación de nitrógeno atmosférico está siendo efectiva.

Además del nitrógeno, los suelos y las pasturas necesitan de otros elementos por ejemplo para suelos de la Orinoquía la fertilización de mantenimiento debe incluir aplicaciones anuales de fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio; 100-200 kg/ha de calfos y 60 kg/ha de sulpomag son recomendables año por año; debido a los problemas de acidez, toxicidad de aluminio y de la baja disponibilidad de fósforo, el Programa de Pastos y Forrajes del ICA en esta región está seleccionando especies tolerantes a estas condiciones para evitar grandes aplicaciones de cal y fertilizantes que pueden resultar antieconómicas en áreas marginales de los Llanos Orientales.

En zonas cálidas de alta fertilidad las aplicaciones estacionales de nitrógeno entre 50-75 kg/ha al inicio y final de la época de lluvias son suficientes para el mantenimiento de estas praderas.

Para clima frío y en páramo aplicaciones de fósforo como F205 son necesarias en dosis de 200-350 kg/ha de calfos anualmente y cada 2 años se debe fertilizar con un compuesto (10-30-10 ó 13-26-6, 15-15-15) en cantidades que pueden oscilar de 200-300 kg/ha, dependiendo de los análisis de suelos y requerimientos del pasto. A pesar de que en estas zonas los contenidos de materia orgánica son altos la mineralización es muy baja y la disponibilidad de nitrógeno es limitante, de tal manera que la fertilización nitrogenada es prioritaria para el mantenimiento.

TABLA 8. RESPUESTA DE ALGUNOS PASTOS A LA APLICACION DE NITROGENO EN 2 LOCALIDADES T/HA DE FORRAJE SECO POR CORTE.

PASTOS	DOSIS DE N (KG/HA)			LOCALIDAD
	0	50	100	
Angleton	4.56	6.25	-	Urabá
	1.18	6.90	10.21	Valle del Cauca
Pangola	3.01	4.36	-	Urabá
	0.41	3.68	6.27	Valle del Cauca
Pará	3.86	5.48	-	Urabá
	0.69	4.37	7.41	Valle del Cauca

ADAPTADO DE: Mila, P.A. 1987, Lotero C.J. 1980

TABLA 9. EFECTO DEL N Y LA LEGUMINOSA ASOCIADA EN LA PRODUCCION DE FORRAJE DE ALGUNOS PASTOS DE CLIMA FRIO. NARIÑO (PROMEDIO DE SIETE CORTES).

DOSIS DE N KG/HA	PASTOS			
	T/HA DE FORRAJE VERDE POR CORTE			
	ORCHORO	RAIGRAS ANUAL	RAIGRAS INGLES	RESCATE
0	3.2	10.0	5.1	8.1
50	7.2	16.2	7.9	12.5
100	11.3	18.4	10.5	16.1
Trébol rojo	16.8	16.2	13.3	17.2
Trébol blanco	11.1	15.1	10.2	12.0

FUENTE: Lotero C.J. 1989

Producción Animal con Fertilización

Diversos ensayos adelantados por el ICA, han demostrado que los parámetros productivos animales se incrementan cuando se fertilizan los pastos. En la Tabla 10 se registran datos de un experimento realizado en Villavicencio en el cual la producción total de carne y la capacidad de carga fue mayor en los potreros fertilizados.

Fertilizantes de Uso Común en Colombia

En la Tabla 11 se relacionan los fertilizantes de uso común en el país y la proporción de nutrientes que suministran.

Compatibilidad de los Fertilizantes

Para facilitar las labores en el campo es conveniente que el ganadero conozca la factibilidad de hacer mezclas de fertilizantes compatibles y aplicarlos según los requerimientos del suelo y de las especies forrajeras. En la Figura 2 adaptada de Bernal (1991) se aprecia cuáles son los fertilizantes que desde el punto de vista químico se pueden mezclar sin riesgo de reacción entre ellos, además se observa que no todos los fertilizantes simples son compatibles ya que puede haber formación de compuestos intermedios tóxicos para las plantas.

Fertilización Orgánica

El empleo de abonos orgánicos en Colombia no ha sido intensivo debido a los grandes volúmenes que se requieren para incorporar cantidades significativas de minerales al suelo, la contribución importante del abono orgánico consiste en la promoción de la actividad microbial que a su vez facilita una mejor aireación y retención de agua y nutrientes, la estructura del suelo también se beneficia por la incorporación de residuos orgánicos.

Dentro de los tipos de abono orgánico que más se utilizan en el país se encuentran los estiércoles, los residuos de cosecha (compost) y los abonos verdes. En la Tabla 12 se relaciona la composición mineral de estiércol de diferentes animales.

El uso de heces en ganadería es factible cuando los animales

TABLA 10. CAPACIDAD DE CARGA Y PRODUCCION DE CARNE EN LOS PASTOS PUNTERO Y BRAQUIARIA EN PASTOREO CONTINUO CON Y SIN FERTILIZACION.

TRATAMIENTO T/Ha	CAPACIDAD DE CARGA	GANANCIA DIARIA, gr	PRODUCCION TOTAL CARNE Kg/Ha.
<u>PUNTERO</u>			
Testigo	1.86	581	484
0.7 escorias Thomas	2.00	638	572
2 Cal + 0.5 (10-20-20)	2.06	558	515
<u>BRAQUIARIA</u>			
Testigo	1.79	649	521
0.7 escorias Thomas	1.97	676	597
2 Cal + 0.5 (10-20-20)	1.68	733	552

ADAPTADO DE: Lotero C.J. 1980

TABLA 11. COMPOSICION QUINICA DE ALGUNOS FERTILIZANTES OBTENIDOS EN EL MERCADO COLOMBIANO.

P R O D U C T O	EQUIVALENTE	N	P2O ₅	K2O	Mg	S
	CaCO ₃		%			
Fertilizantes Nitrogenados						
Urea	0	46	0	0	0	0
Nitrón 26	0	26	0	0	0	0
Sulfato de Amonio	0	21	0	0	0	24
Estiércol bovino (Base seca)						
Villavicencio	1,7	1,5	0,6	1,0	-	-
Bogotá	3,2	2,2	1,0	1,4	-	-
Fertilizantes Fosfatados						
Roca fosfórica Huila	73	0	20	0	0,2	-
Pesca	50	0	20	0	0,06	-
Calfos	66	0	14	0	1	-
Superfosfato Simple	48	0	15	0	-	12
Superfosfato Triple	31	0	45	0	0,2	1,4
Fertilizantes Potasicos						
Cloruro de Potasio	0	0	0	60	0	0
Sulfato de Potasio	0	0	0	50	0	18
Sulpomag	0	0	0	22	11	22
Carbonato de Calc. Puro	100					
Cal Agrícola	80	0	0	0	0	0
Cal Apagada	120	0	0	0	0	0
Cal Dolomítica	110	0	0	0	3	0
Sulfato de Magnesio	0	0	0	0	10	13
Abonos Compuestos						
10-30-10	0	10	30	10	0	0
13-26-6	0	13	26	6	0	0
10-20-20	0	10	20	20	0	0
15-15-15	0	15	15	15	0	0

FUENTE: Mendoza, M.P. 1980

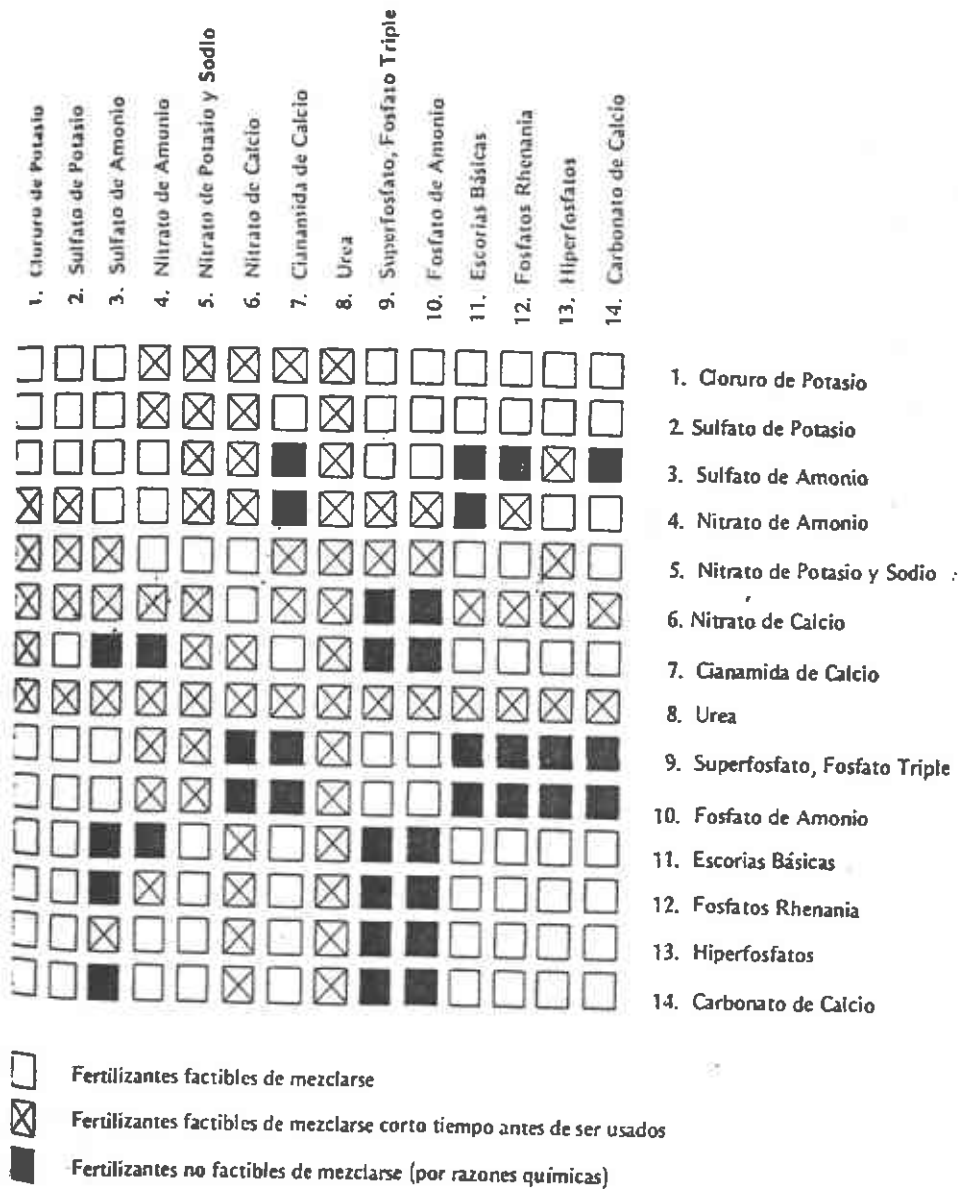


Figura 2. COMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES

TABLA 12. COMPOSICION DEL ESTIERCO DE ALGUNOS ANIMALES

ESPECIE	HUMEDAD %	N	P	K	S KG/T	Ca	Fe	Mg	SOLIDOS	
									VOLATILES	GRASA
Ganado Leche	79	5.1	0.9	4.5	0.5	2.5	0.03	1.0	146	3.2
Ganado Carne	80	6.4	1.8	4.1	0.8	1.1	0.03	0.9	180	3.2
Cerdos	75	4.5	1.3	3.5	1.2	5.2	0.25	0.8	181	4.1
Caballos	60	6.3	0.9	5.5	0.6	7.1	0.12	1.3	175	2.9
Ovejas	65	12.7	1.9	9.1	0.8	5.3	0.15	1.7	258	6.4

FUENTE: FAO 1986 Adaptado de Bernal 1991

están confinados ya que se hace la recolección en el mismo establo y se puede almacenar en tanques (estercoleros) y después efectuar la aplicación directamente diluida con el agua del riego. En algunos municipios antioqueños el uso de porquinaza es rutinario para el abonamiento de pastos, aunque se debe prevenir el uso permanente y en altas cantidades por la acumulación de nitratos y nitritos en las praderas.

Con las tecnologías disponibles actualmente el reciclaje de estos desechos orgánicos permite un uso más eficiente y económico de los recursos con lo cual se mejora la productividad.

Consideraciones sobre Uso de Microelementos

A través de análisis de suelos hechos en Colombia se ha comprobado que existen deficiencias de microelementos y que con el tiempo los pastos empiezan a mostrar síntomas de deficiencia en detrimento de la producción. Lo lógico es que para cada finca o predio ganadero se realice un análisis completo de suelos incluyendo la determinación de elementos menores y formular la fuente, la dosis, la frecuencia y método de aplicación según el tipo de suelo y la especie forrajera establecida. Es aconsejable dentro del programa de fertilización de praderas hacer aplicaciones rutinarias de microelementos.

A manera de ejemplo Bernal (1) reporta que el cobre varía su contenido en los suelos colombianos de la siguiente manera:

El 68% presenta contenido bajo, el 32% contenido intermedio ninguno de los suelos analizados mostró un contenido alto; el mismo tipo de relación se presenta en microelementos como el boro y el molibdeno.

Pruebas recientes en zonas cafeteras del país han detectado exceso de cobre como consecuencia de las continuas aplicaciones con altas dosis de fungicidas a base de oxiclóruo de cobre para control de la roya del caféto (*Hemileia vastatrix*).

En la Tabla 13 se relacionan algunos niveles críticos de elementos menores en el suelo y en el forraje según puntos de vista de varios autores y recopilados por Bernal (1).

Tabla 13. Niveles críticos de microelementos en suelos y forrajes.

Microelemento	NIVELES CRÍTICOS (ppm)					
	Suelos			Forrajes		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Hierro	> 20	2-20	< 2	>360	70-360	< 70
Manganeso	> 20	2-20	< 2	>290	48-290	< 48
Cobre	> 2.5	1.5-2.5	< 1.5	> 31	10- 31	< 10
Zinc	> 3.0	2.5-3.0	< 2.5	> 70	26-70	< 26
Boro	> 0.5	0.1-0.5	< 0.1	> 30	10-30	< 10
Molibdeno	> 0.4	0.1-0.4	< 0.1	--	--	--

FUENTE: Bernal E.J. 1991. Adaptado por Mila.

Aspectos sobre la Fertilización Foliar

Normalmente la absorción de nutrientes por las plantas es a través del sistema radicular, sin embargo, las plantas también pueden asimilar nutrientes vía foliar. Los estudios hechos sobre este campo muestran que para que haya una absorción apreciable de elementos nutritivos por el follaje se requiere que estos estén en una forma química asimilable. Los compuestos orgánicos que forman los minerales con el Acido Etilen-Diaminotetra-Acético (EDTA), se denominan quelatos y son fácilmente absorbidos por las hojas de las especies vegetales.

La aplicación de fertilizantes foliares garantiza una rápida asimilación de nutrientes y se hace con fertilizantes líquidos de alta solubilidad y gran estabilidad en los cuales los elementos metálicos se encuentran quelatados para una rápida asimilación. Son compatibles con insecticidas y fungicidas y se pueden aplicar con avión, tractor, bombas de espalda, etc., además pueden ser utilizables disueltos en el agua de riego y tienen buen potencial en sistemas intensivos de producción como puede ser el caso de cultivo hidropónico de forrajes.

La fertilización foliar se puede recomendar en los siguientes casos:

1. En condiciones críticas del suelo como salinidad, mal drenaje, pérdida de nutrientes por lavado, alta fijación de minerales, aridez o zonas secas.
2. Cuando es necesario corregir rápidamente la deficiencia de un nutriente.
3. Si la aspersión foliar se hace simultáneamente con otros agroquímicos ya que no se incrementan los costos de aplicación.

Los fertilizantes foliares se pueden mezclar con pesticidas y se les puede agregar un adherente para lograr un mejor cubrimiento del follaje y disminuir las pérdidas por vientos, lluvias o riego. La utilización de estos fertilizantes está aumentando en pastos pero se deben seguir las mismas normas técnicas para su aplicación que las recomendadas para herbicidas.

Es muy importante que los fertilizantes foliares no sean tóxicos a humanos, animales y plantas. Un buen producto de esta índole debe tener una composición lo más similar posible al de una hoja para facilitar su absorción. Por ejemplo ph ácido (5.0) y nitrógeno nítrico y amoniacal en proporción 1:3.

Análisis Foliar

Los resultados de un análisis foliar deben ser un complemento y no un sustituto de los análisis del suelo, así mismo la fertilización edáfica sigue siendo prioritaria y puede complementarse con el abonamiento foliar.

Los análisis de tejidos de las plantas muestran la concentración de nutrientes en los tejidos de crecimiento y dan una orientación adecuada de las deficiencias y excesos que se puedan presentar. Al combinar la información resultante de los análisis de suelos y foliares se puede configurar un programa de fertilización balanceado entre las necesidades del suelo y el cultivo.

Para el caso de muestreo de follaje se deben tener en cuenta algunas recomendaciones para garantizar un buen análisis.

- Utilice un recipiente limpio (bolsa de papel o plástica), no use vasijas metálicas.
- Limpie muy bien las muestras con agua destilada y séquelas al aire.
- No envíe muestras frescas en bolsas plásticas.
- En lo posible no tome muestras en cultivos forrajeros que han sido fertilizados recientemente con fertilizantes foliares. Para el caso de pastos en general se debe hacer el muestreo en la etapa media del cultivo, tomando las 4 hojas superiores de 50-60 plantas/ha lo cual constituye una muestra representativa. Para el caso de alfalfa y tréboles se toman muestras de hojas bien desarrolladas del tercio superior de las plantas y en etapa de prefloración 50-60 plantas/ha son suficientes como tamaño de muestra.

En todos los casos para asumir las recomendaciones de fertilización es conveniente asesorarse de profesionales experimentados que conozcan de las necesidades nutricionales de los cultivos y su manejo.

Comentarios Finales

- Debemos recordar que la relación suelo-planta es el primer paso para entender la dinámica del desarrollo de las plantas forrajeras a partir de un sustrato biológico como es el suelo, que alimenta estas plantas con los nutrientes esenciales. El conocimiento de los conceptos de la nutrición mineral en los forrajes son básicos para entender la relación suelo-planta e introducirse en la dinámica de la relación pasto-animal.
- Podemos asegurar que el éxito de la fertilización en pasturas además de los factores propios del suelo depende de las condiciones climáticas, de las formas de aplicación, de las dosis recomendadas y de la fuente fertilizante que se aplica; análisis de calidad de las aguas de riego son necesarios para evitar contaminaciones indeseables en la aplicación de abonos.
- La extracción de nutrientes del suelo por las plantas forrajeras es alta de tal suerte que es necesario devolver o restituir los nutrientes mediante un programa de fertilización de mantenimiento para que las pasturas prevalezcan por largo tiempo.
- Otra herramienta útil para el diagnóstico de deficiencias minerales es el análisis de tejidos de los forrajes, cuyos resultados son complementarios a los análisis de suelos.
- Aunque las especies forrajeras que seleccionemos estén adaptadas a bajos niveles de fertilización, ellas responderán muy bien a pequeñas adiciones que se hagan de Ca, Mg, P, S, K y elementos menores.

Resúmen

Aspectos sobre la relación dinámica del suelo y la planta son tratados haciendo énfasis en la disponibilidad de nutrientes y la

forma como son asimilados por las plantas, las propiedades físico-químicas del suelo son analizadas brevemente y se profundiza sobre el tema de la fertilización como una práctica que proporciona buenos resultados en la producción de forraje pero que puede ser costosa y anti-económica sino se realiza eficientemente. Se incluyen tablas con resultados experimentales en diversas zonas ecológicas de Colombia y en diferentes especies forrajeras. Se insiste en la importancia del análisis de suelos como herramienta de diagnóstico para ajustar recomendaciones precisas de fertilización para las diferentes áreas en praderas. Al final se hacen consideraciones sobre el uso de microelementos, el análisis y la fertilización foliar.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COLOMBIA
BARRANQUILLA

BIBLIOGRAFIA

1. BERNAL, E. J. 1991. Pastos y Forrajes Tropicales Producción y Manejo. 2a. Edición Banco Ganadero p. 59-86; 123-148.
2. BERNAL, E.J. 1992. Algunas Características Agronómicas de los Raigrases. 16 p. Mimeografiado.
3. COLINAGRO. 1990. Manual Técnico. 114 p.
4. ICA. 1989. Programa Pastos y Forrajes Informe Anual. C.I. Tulenapa 30 p.
5. JARAMILLO J.A. Y LEON T.F. 1989. Desarrollo del Sistema papa-pastos-cerdos-leche en el municipio de la Unión Antioquia. Actualidades. Boletín Informativo año 3 No. 33 14 p.
6. LOTERO, C.J. 1970. Relación Suelo-planta-animal. ICA Regional 4. 8 p. Mimeografiado.
7. LOTERO, C.J. 1980. Fertilización de Pastos. Curso de Pastos y Forrajes ICA. Compendio No. 11 p. 91-123.
8. LOTERO, C.J. 1989. Mezclas de Gramíneas y Leguminosas Forrajeras. ICA Curso de Pastos y Alimentación de Poligástricos. Montería. 19. p.
9. MENDOZA, M. P.E. 1980. Fertilización de Praderas en Colombia. Suplemento Ganadero Vol 1. No. 44 p. 19-30.
10. MILA, P. J.A. 1976. Suelos I. Apuntes personales. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá. 142 p.

11. MILA, P. J.A. 1977. Suelos II. Apuntes personales. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá 90 p.
12. MILA P. J.A. 1990. El Frijol Terciopelo Mejora el Suelo y Engorda. Carta Ganadera Vol. XXVII No. 12. p. 14-22.
13. MUÑOZ. A.R. 1985. Módulo de Suelos Fascículo 1. POLITECNICO COLOMBIANO. 116 P.
14. MUÑOZ. A.R. 1985. Módulo de Suelos Fascículo 2. POLITECNICO COLOMBIANO. 184 p.