

Manejo del Sistema Suelo – Pasto: partida para la producción de forrajes

Dr. Rafael E. Salas Camacho

M.Sc. Gilberto Cabalceta

Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica

Presentación

En el mundo actual todos los productores necesitan mejorar continuamente sus prácticas de manejo de la finca para elevar su eficiencia en la producción. Se indica que el conocimiento y la información son las bases fundamentales para el progreso; en esta línea de ideas, muchas organizaciones proponen y ejecutan programas o proyectos a partir de alianzas, y con este fin tratan de cumplir con los objetivos planteados.

Un ejemplo de esto es el Congreso Nacional lechero organizado por la Cámara Nacional de Productores de Leche, en donde se desarrollarán temas de interés para los productores de leche nacionales y que en nuestro caso en particular se enfocará en los aspectos de química, física y fertilidad de suelos, así como en la nutrición mineral de los pastos, absorción de nutrientes y fertilización. La ejecución de este tipo de congresos constituye una fuente muy importante de transferencia de conocimientos que permitirán mejorar las prácticas de los productores y contribuir en algo al enriquecimiento conceptual de los diversos temas tratados.

Introducción

En los últimos años, en la mayoría de los países de la América Tropical, se presentan problemas de baja productividad en el ganado lechero. Dentro de las causas que motivan esta disminución se encuentran la baja disponibilidad y calidad de los forrajes y el alto nivel de degradación de estos y de los suelos. En la actual situación de deterioro de los ecosistemas ganaderos, se requiere de

profundas transformaciones en su explotación, basadas en principios agroecológicos, donde los sistemas ganaderos se consideren como un ecosistema y no como una simple gestión técnico-económica.

Estas nuevas transformaciones requieren de los conocimientos en el funcionamiento de cada una de las variables y procesos que conforman el sistema, con el objeto de maximizar el flujo de energía y el reciclaje de materiales. La dinámica de los ecosistemas de pastos, y en especial la relación suelo-pasto-clima, ha sido un tema poco estudiado en nuestro medio. El conocimiento pleno de lo que es un suelo nos permite trabajar con él sin afectar su fertilidad y productividad. El suelo es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos que contienen una gran variedad de macro y microorganismos. La fertilidad del suelo está en función de la eficiencia del reciclaje continuo de nutrimentos. La proporción de nutrimentos no disponibles, ya sea en la biomasa o en el suelo, depende del clima.

Si bien la ganadería es una actividad productiva importante, cada vez sus efectos negativos para el suelo se hacen más evidentes. Por esta razón, uno de los principales retos que enfrenta la ganadería de leche, es la necesidad de desarrollar un sistema viable con forrajes que sean capaces de asegurar una producción incrementada y sostenible con un mínimo de degradación del recurso suelo (Kang B., 1994) “Porque aquellos que son capaces de leer los signos que reflejan cómo le está yendo a la tierra y comprender las consecuencias, tienen una mejor oportunidad de lograr un uso sostenible efectivo de la tierra” (Campbell, 1994 citado por LEISA, 1997).

Aspectos de Fertilidad del Suelo

Un suelo sujeto a un pastoreo continuo, se degrada lentamente porque pierde su fertilidad actual si la restitución de los nutrimentos del suelo, bien sea en forma de heces, fertilizante orgánico, fertilizante inorgánico, o una combinación de estos tres insumos, es insuficiente. La fertilidad es la forma indirecta de medir la capacidad de producción de los suelos y la manera clásica

de medirla ha sido a través de los análisis químicos y físicos. Su conservación se ha basado en un balance de nutrimentos, que incluye la cantidad presente en el suelo, la cantidad que extraen los forrajes para una producción esperada y la eficiencia de la absorción de los nutrimentos por las plantas aplicados como fertilizantes.

Al suelo se le considera como un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, aire, sustancias sólidas e infinidad de seres vivos que interactúan activamente y que esta interacción es determinante para la disponibilidad de los nutrimentos, los cuales determinan la condición del suelo y la permanencia de las actividades agropecuarias en un sistema productivo. Por esta razón, el análisis de la fertilidad del suelo debe hacerse en términos más amplios que incluyan además de las variables químicas, las físicas, biológicas y ambientales (Altieri M. y Yurjevic A., 1991).

Aspectos de Física de Suelos

Los suelos de las explotaciones de ganado lechero están expuestos a diversos tipos de interacciones entre los animales, las plantas y el suelo. El pisoteo animal, tiene como resultado final su efecto en la compactación del suelo, lo cual termina afectando el hábitat de las raíces, microorganismos y la productividad de los pastos, ya que el suelo reduce su capacidad para retener agua y suministrar oxígeno. Además, la compactación del suelo puede originar o acelerar otros procesos de degradación del suelo, como la erosión o los deslizamientos de tierras, ya que al reducir la capacidad de infiltración, incrementa la escorrentía en los terrenos con pendiente. La presencia de una capa compactada hace que la capa superior del suelo sea más proclive a la saturación hídrica y, por ende, más pesada permitiendo su deslizamiento. En las partes llanas, la compactación puede dar a lugar a la anegación de terrenos, con la consiguiente destrucción de agregados y la formación de costras. Esta saturación de agua en la superficie produce por la falta de oxígeno, alteraciones

en la composición química de los nutrimentos propios del suelo o agregados como fertilizante (Handeh, 2003), (Defossez et al., 2002).

Si el contenido de humedad del suelo es elevado, el impacto de la pesuña suele provocar deformación de la superficie del suelo (Sosa et al., 1995), lo cual genera un aumento en la densidad aparente, disminución de la porosidad, la estabilidad estructural y la capacidad de infiltración (Martin et al., 1998). Es por esta razón que el valor de la densidad aparente es un buen índice del grado de compactación del mismo, o sea de la reducción del espacio poroso no capilar, responsable de la infiltración y de la aireación del suelo. Varios autores coinciden al reportar que el crecimiento de los pastos se ve reducido por la compactación del suelo ya que reduce la tasa de rebrotes e incrementa el número de malezas (Ahmed et al., 1987). Rubio y Lavado, 1990 evaluaron en un suelo del orden Alfisol el efecto del pastoreo continuo, pastoreo rotativo y no pastoreo sobre la densidad aparente y resistencia a la penetración en tres profundidades del suelo (0-4 cm, 4-10 cm y 10 cm). Los resultados indican una estrecha relación entre la densidad aparente y el contenido hídrico del suelo. Taboada (2007) indica de manera idealizada, la secuencia de procesos que tienen lugar cuando un suelo es pastoreado con bajo o con alto contenido de humedad.

Relación entre contenido de humedad y susceptibilidad del suelo a sufrir daño estructural

<u>Suelo Seco</u>	<u>Suelo Húmedo</u>
Alta capacidad de soporte	Baja capacidad de soporte
Mínimo daño estructural	Máximo daño estructural
	Daño estructural por pisoteo

Cuando el suelo está próximo a la sequedad, su capacidad de soporte es máxima, y de este modo, la probabilidad de que sufra daño estructural es mínima. En cambio, cuando el suelo está húmedo, su capacidad de soporte es menor, y se vuelve propenso a sufrir compactación superficial. Esta deformación

se hace a expensas del espacio de macroporos. Debido a ello, todo daño por compactación implica necesariamente la ocurrencia simultánea de:

Aumentos de densidad aparente

Descensos de macroporos

Aumentos de resistencia superficial

Descensos de infiltración y conductividad hidráulica saturada

Thompson et.al., 1986 indican que la compactación del suelo impide el movimiento del agua y del aire en el suelo y Hillel, 1982 reporta que la falta de aireación inhibe el crecimiento de las raíces. No obstante, investigaciones en los años 1959 y 1965 indican que la restricción en el crecimiento radicular se debe más a un impedimento mecánico que a la falta de aireación. Phillips and Kirkham (1962) sugieren que la medición de la resistencia a la penetración en un suelo es mejor medida que la densidad aparente para la determinación del grado de desarrollo de raíces en un suelo y que el penetrómetro es más preciso para medir la resistencia que sufren las raíces para entrar en el suelo. Además, estos investigadores indican, que es la rigidez de los poros y no la reducción en tamaño hasta un diámetro crítico lo que afecta la penetración de raíces en el suelo. Thompson et.al. (1986) al realizar una investigación para evaluar la resistencia a la penetración con el uso del penetrómetro y la medición de la densidad aparente como parámetros para predecir el desarrollo del sistema radical en el suelo, concluyeron que tanto el penetrómetro como la medición de la densidad aparente del suelo, son dos buenos indicadores para determinar el grado de penetración y desarrollo de raíces. Además, indican que la medición de la densidad aparente y la medición con penetrómetro están altamente correlacionadas a mayor profundidad del suelo, pero pobremente cerca de la superficie. Forsythe (1986) indica que la resistencia del suelo a la penetración de las raíces es la fuerza que este opone a un instrumento de prueba que simula el efecto de penetración de las raíces; de esta forma es posible

relacionar directamente a este índice, la capacidad que tienen las raíces de las plantas al crecer y elongarse en alguna condición de suelo determinada y este índice representa directamente el grado de compactación que tiene el suelo. Este índice puede ser expuesto en términos de porcentaje de penetración de raíces de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Penetración de raíces} = 104.6 - 3.53(\text{R.P.})$$

Donde R.P. es resistencia a la penetración en bares de presión.

El conocimiento de la porosidad de un suelo forrajero es otro indicador importante para detectar problemas de compactación. Carter (1990) indica que la macroporosidad y los poros para aireación son buenos indicadores de la condición física del suelo, reportando que valores entre 10 y 12% son los límites para tener una adecuada aireación del suelo y valores más bajos reducen la productividad del pasto. En la actualidad muchas investigaciones se han centrado en el papel de los macroporos en el movimiento del agua en el perfil del suelo. Ela et al., (1992) reportan que los macroporos son la fracción de la porosidad total que contribuye al flujo de agua en la profundidad a la que el agua penetra después de la infiltración. El movimiento del agua en los macroporos es un importante proceso en el transporte del agua de lluvia (Beven y German, 1982). Las prácticas de manejo y factores ambientales pueden cambiar drásticamente la macroporosidad del suelo (Perroux y White, 1988). Los macroporos (poros grandes > 30 μm) o poros no capilares se clasifican en cuatro grupos morfológicos: poros formados por la fauna del suelo, poros formados por las raíces de plantas, poros por grietas y fisuras y poros naturales del suelo (Tindall y Kunkel, 1999). La microporosidad está constituida por poros pequeños (< 30 μm) y está asociada a los fenómenos de conducción, almacenamiento y retención del agua por encima del nivel freático. En los suelos la forma y tamaño de las partículas varían considerablemente formando espacios porosos igualmente irregulares, en consecuencia el valor de la porosidad de un suelo depende de la forma y organización de sus partículas. La siguiente tabla ilustra

los tamaños de los poros y sus funciones dentro del suelo: (Adaptado de Marshall, Holmes y Rose, 1996)

<u>Tipo</u>	<u>Tamaño</u>	<u>Descripción</u>	<u>Relación con agua</u>
Macroporos	1 mm a 10 mm	Fisuras, túneles y espacios Entre terrones	Transmiten agua libre pero sólo si el suelo Saturado
Poros de transmisión	30µm a <1mm	Poros entre agregados y Dentro de ellos	Transmiten agua Durante la infiltración y drenan a Capacidad de Campo.
Poros de almacenamiento	200nm a >30µm	Poros entre agregados	Agua disponible para las Plantas.
Poros complejos de Arcillas	1nm a <200nm	poros de arcillas complejas incluyen poros de <10 nm	Poros cambian de tamaño a medida que el suelo cambia de contenido de agua.

Considerando la relación entre el contenido de humedad volumétrica y la densidad aparente en la siguiente tabla se relaciona la densidad aparente y la porosidad total (Tomado de Montenegro y Malagón, 1990).

Densidad aparente	Porosidad total
<u>Mg/m³</u>	<u>%</u>
< 1.0	> 63
1.0 - 1.2	55 - 62
1.2 - 1.4	47 - 54
1.4 - 1.6	40 - 46
1.6 - 1.8	32 - 39
> 1.8	< 31

Las curvas de retención de humedad de un suelo, son otra herramienta que permite determinar aproximadamente la cantidad de macro, meso y microporos de un suelo (Forsythe, 1986). Estas curvas relacionan directamente las fuerzas de retención o succión del agua en el suelo y la capacidad de las plantas para tomarla del mismo. Las curvas de retención de humedad junto con la porosidad total de un suelo, permiten calcular los porcentajes de los principales poros de un suelo de la siguiente manera:

$$\text{Macroporos} = \text{P. Total} - \% \text{Hv. CC}$$

$$\text{Mesoporos} = \% \text{Hv. CC} - \% \text{Hv. PMP}$$

$$\text{Microporos} = \% \text{Hv. PMP}$$

Donde: P. Total = Porosidad total (%)

%Hv. CC = Humedad volumétrica a capacidad de campo.

%Hv. PMP = Humedad volumétrica a punto de marchitez permanente.

Si se conoce la curva de retención de humedad de un suelo y el tipo de poros predominante, otra determinación que puede dar información sobre problemas de compactación es la determinación de la conductividad hidráulica del suelo que es la capacidad del suelo saturado de permitir el movimiento de agua a través de sus poros. Esta determinación en los diferentes horizontes del suelo, sirve para evaluar la clase de permeabilidad de la parte del perfil que se moja durante la lluvia o riego (Henríquez y Cabalceta, 1992). De esta manera, horizontes superficiales con conductividades hidráulicas bajas, están correlacionadas con problemas de compactación. La siguiente tabla del U.S.D.A (1992) indica la clasificación de las conductividades hidráulicas.

<u>Clase</u>	<u>Conductividad Hidráulica en cm/h</u>
Lenta:	
1. Muy lenta	> 0.13
2. Lenta	0.13 - 0.51
Moderada:	
3. Moderadamente lenta	0.51 - 2.00
4. Moderada	2.00 - 6.30
5. Moderadamente rápida	6.30 - 12.70
Rápida:	
6. Rápida	12.70 - 25.40
7. Muy rápida	> 25.40

Control de la compactación del suelo

Para el tratamiento de la compactación del suelo lo que se requiere es un implemento descompactador o subsolador. El implemento puede ser de construcción convencional o de construcción casera y generalmente opera a una profundidad de 30 a 50 cm. Cuando el descompactador se introduce en el suelo, este rompe las capas compactadas y crea una red intercomunicada de poros los cuales pueden llegar hasta la superficie del suelo.

El subsolado es una labor de alto costo en uso de maquinaria consumo de combustible y mano de obra y solo debe realizarse cuando se tiene lotes con capas compactadas que han afectado la productividad del forraje. La descompactación del suelo es muy sencilla cuando se trata de áreas nuevas donde se va a establecer un pastizal, pero en área con pasto ya establecido, requiere de una herramienta que efectúe la descompactación sin afectar el pasto ya existente. En Nueva Zelanda, Harrison et. al. (1994) realizaron un experimento para determinar el efecto de la descompactación en algunas propiedades físicas del suelo y en la producción de forraje en pasturas con años de establecidas. Los tratamientos aplicados fueron una descompactación denominada de aireación con un implemento que profundizaba hasta 27 cm desde la superficie y el otro tratamiento fue la descompactación hasta 47 cm de profundidad denominada subsolado. Ambos tratamientos se compararon con un testigo sin ninguna labor. Los resultados de la investigación indican, que ambos tratamientos redujeron significativamente la densidad aparente hasta la máxima profundidad. Sin embargo, la reducción en la densidad fue más notable entre los 20 y 25 cm donde las evaluaciones previas indicaron la presencia de una capa compactada. La conductividad hidráulica también tuvo un efecto significativo de los tratamientos aplicados, no obstante, el mayor efecto se obtuvo entre los 20 y 30 cm con el tratamiento de aireación, mientras que con el subsolado se produjo a los 40 cm. De manera general, los tratamientos redujeron en 11% la densidad aparente y aumentaron significativamente la porosidad total del suelo, lo cual

produjo una mayor longitud de las raíces (36% de aumento) y una mayor cantidad de las mismas a profundidades mayores a los 30 cm (49% de aumento). En cuanto a la producción de forraje, ambos tratamientos tuvieron un rendimiento similar y con respecto al testigo, el aumento fue de 1330 kg de materia seca/ha.

En la labor de descompactación se deben considerar algunos factores para que la labor sea eficiente:

- 1- Contenido de humedad del suelo a la profundidad deseada. El suelo no puede estar muy húmedo ya que el subsolador no romperá el suelo y en vez de eso producirá más compactación. Si el suelo está muy seco, producirá grandes terrones que se levantan afectando el pasto superficial. La mejor condición es cuando el suelo tiene una condición creable que permite que el suelo se rompa sin levantarse.
- 2- Profundidad crítica. La labor de descompactación debe efectuarse a una profundidad en donde el suelo se suelte. Si la profundidad es mayor a la crítica, el suelo no descompacta o descompacta poco y la manera de determinar esa profundidad crítica, es mediante observación en el campo a la hora de efectuar la labor mediante la apertura de huecos una vez pasado el descompactador.
- 3- Espaciado de las cuchillas. El espaciado de las cuchillas también tiene un efecto en la efectividad de la descompactación. Si el espaciado es muy amplio, no se produce una buena descompactación del suelo, ya que quedan espacios entre las cuchillas donde el suelo no se rompe. Como regla general, el espaciado de las cuchillas no debe ser mayor a 1 o 1.5 veces la profundidad de la labor.

Tanto la profundidad crítica como el espaciado de las cuchillas se deben controlar mediante apertura de huecos una vez pasado el implemento, ya que el tipo de suelo tiene mucho que ver en la labor. Una buena descompactación de

suelo produce una mejora sustancial en el movimiento del agua en el suelo, mayor aireación, mayor crecimiento radical, mayor absorción de nutrimentos y por ende mayor producción de forraje.

Fertilización de los pastos

En la implementación de la fertilización, el ganadero debe considerar varios aspectos relacionados con esta práctica, ya que el tipo de fertilizante, la dosis a aplicar y el momento de aplicación varían considerablemente de acuerdo a numerosos factores dentro de los cuales podemos destacar:

- 1- Tipo de suelo, disponibilidad de nutrimentos e historial de manejo. En este punto, los análisis de suelo son la herramienta ideal para conocer las características edáficas propias de cada lote. Estos análisis no solo deben considerar los aspectos químicos de disponibilidad de nutrimentos, sino también los físicos relacionados con la productividad de los mismos.
- 2- Especie forrajera y ciclo de crecimiento. Si se trata de leguminosas las mismas dependen básicamente del suministro de fósforo y algunos elementos menores. Mientras que las gramíneas no solo requieren fósforo sino también tienen un alto consumo de nitrógeno por ser el que controla su crecimiento vegetal el cual se ve afectado por factores ambientales como la luminosidad, temperatura y contenido de agua en el suelo. Por esta razón, el requerimiento de nutrimentos es mínimo cuando se tienen bajas tasas de crecimiento en el invierno y aumentan hasta el máximo pico de crecimiento en verano. En este aspecto, el tener información de curvas de absorción de nutrimentos es la forma más adecuada de manejar la fertilización de las pasturas.
- 3- Comportamiento de los nutrimentos en el suelo. El conocer la movilidad de los nutrimentos en el suelo, así como las reacciones químicas de los mismos, es muy importante para decidir la dosis y época de aplicación

asociada a la demanda por parte de la planta. Elementos como el fósforo que sufre reacciones de fijación en el suelo, o el nitrógeno que sufre pérdidas y reacción ácida en el suelo, deben ser aplicados de acuerdo con la demanda por la planta.

En el manejo de una explotación lechera, es importante mencionar el concepto de sostenibilidad particularmente referido al componente suelo, ya que es bien sabido que el suelo es el único componente que no se puede variar en el sistema, mientras que el tipo de pasto o tipo de animal o manejo si se puede hacer. Por esta razón, es de suma importancia mantener la capacidad productiva del suelo que garantice una producción continua y sostenible de forraje. El programa de fertilización de la finca, debe ser una suplementación estratégica que se ajuste al valor nutricional de forraje y a los requerimientos del ganado, junto con un manejo racional de la carga animal y del sistema de pastoreo.

Para establecer un adecuado programa de fertilización se pueden seguir diferentes metodologías de evaluación del sistema:

1-Evaluación del estado general del lote: mediante una valoración visual del lote, se pueden detectar algunas características tales como poco crecimiento, amarillamiento o colores anormales del follaje que pueden ser producto de un bajo suministro de nutrimentos por parte del suelo. Sin embargo, este método tiene la desventaja, que algunas veces cuando se detecta la anormalidad en el pasto, el problema ya está muy avanzado y algunas veces se confunde con ataque de plagas o enfermedades.

2- Análisis de suelo: este método constituye la herramienta básica para conocer la disponibilidad o limitación de nutrimentos en el suelo. Sin embargo, es importante indicar que el grado de disponibilidad de nutrimentos indicada en el análisis, estará en función de la solución extractora que utiliza el laboratorio, por esa razón, es necesario tener esa información para realizar una adecuada interpretación de los resultados. Conociendo la

condición de fertilidad del suelo, se puede establecer un programa de enmiendas y fertilización que corrijan las deficiencias o desbalances de nutrimentos, pero que de igual manera la dosis y frecuencia de aplicación esté en relación directa con la tasa de extracción de nutrimentos que son propios a cada forraje y que garantice a largo plazo la sostenibilidad de la capacidad productiva del suelo.

3- Análisis foliares: estos análisis permiten cuantificar la composición química y nutricional del forraje, al determinarse en estos análisis la concentración total de nutrimentos, la interpretación se realiza utilizando tablas preestablecidas o curvas de absorción de nutrimentos.

El manejo de los forrajes tiene como finalidad una alta producción del sistema aéreo de la planta, por esa razón exige una buena fertilidad de los suelos. En el sistema de pastoreo, una gran parte de los nutrimentos que consume el animal regresa al suelo en las heces y la orina. Se estima que más de 80% del nitrógeno, fósforo y potasio consumidos por el animal son excretados nuevamente. Por esa razón, es común ver que la fertilización de forrajes bajo pastoreo difiere de la fertilización de pastos de corte, debido al retorno de nutrimentos por medios de las excretas. Se recomienda incluso que es posible reducir hasta en un 20% la fertilización. En general los requerimientos de fertilización de los principales elementos nutricionales: N, P, K, Ca, Mg, S difieren de acuerdo al suelo y a la especie forrajera, pero también se debe considerar que el suelo puede cambiar con el tiempo, debido a la remoción del sistema, reciclaje y a pérdidas por lixiviación y fijación.

Los fertilizantes disponibles en nuestro medio pueden ser simples o compuestos producto de mezclas químicas o físicas. Sin embargo, dado que el tipo de suelo donde se desarrollan la mayor parte de las explotaciones lecheras es de origen volcánico, la disponibilidad del calcio y del magnesio es baja por lo que el índice de acidez de los fertilizantes es muy importante

de considerar especialmente en el caso de los fertilizantes nitrogenados amoniacales. La acidez residual producida por los fertilizantes nitrogenados amoniacales, hace necesario la aplicación de un material neutralizante que generalmente es el carbonato de calcio. En el caso del sulfato de amonio, 100 kg de ese fertilizante requiere la aplicación de 110 kg de carbonato de calcio para neutralizar la acidez que genera. Mientras que en el caso de la urea y el nitrato de amonio, 100 kg de cada uno de ellos requiere de 80 y 59 kg de carbonato de calcio respectivamente.

En el manejo de los forrajes, se deben implementar una serie de actividades que permitan obtener un óptimo de producción de materia seca, sin afectar la condición de la misma. La eficiencia de la transformación de la energía solar en pasto y de este en producto animal depende de muchos factores, entre otros, el clima, el suelo, genética de la planta y del animal y las estrategias que el productor aplica para obtener la mayor producción.

Es bien sabido que el crecimiento de las plantas y en consecuencia la producción de forraje está determinada aparte del suelo por las condiciones climáticas. Esta variabilidad del clima produce la estacionalidad de la producción de forraje, si se conoce bien el estado de fertilidad del suelo y se tiene información climática, el programa de fertilización debe adaptarse a esas condiciones para lograr tener un adecuado valor nutritivo del forraje. Por otra parte el productor debe considerar la capacidad de carga de la pastura y hacer los ajustes para mantener el forraje en buen estado vegetativo asegurando así calidad y cantidad de forraje.

La ganadería de leche se encuentra actualmente al igual que otras actividades agrícolas afectada por la crisis económica mundial y por un mercado tan competitivo y con el paso del tiempo y a causa de diversos factores tales como cambios en la tecnología, mercado de insumos, políticas y leyes agrarias, etc. la ganadería de leche requiere de cambios que le permitan aumentar su capacidad productiva.

Curvas de absorción de nutrientes

El desarrollo de las curvas de absorción de nutrimentos en pastos es el primer paso para entender la relación entre los nutrimentos presentes en el suelo y en la parte foliar, debido a que estas curvas, describen por medio de una gráfica la extracción de un nutriente que hace el cultivo y permite conocer las cantidades de este elemento que fue extraída por la planta durante su ciclo de vida.

Una curva de absorción de nutrientes es una representación gráfica de la cantidad de un nutriente extraído en particular por las plantas durante su ciclo de vida (Sancho 1998).

La extracción de los nutrientes depende de diferentes factores tanto internos como externos, siendo los más importantes: el potencial genético de la planta (eficiencia), la edad de la planta o estado de desarrollo de la misma y el ambiente en que crece (nutrientes del sustrato, temperatura, humedad, brillo solar). Estos factores se asocian a la prefloración, la floración y la fructificación de una planta o cultivo y en conjunto proporcionan las razones que sirven para visualizar la importancia de relacionar las curvas de absorción con las curvas de crecimiento del cultivo, para establecer así las relaciones entre los patrones de crecimiento y los requerimientos nutricionales (Bertsch 1981).

A través de las curvas de absorción, se determinan las épocas más idóneas para la aplicación de fertilizantes, ya que las mismas se pueden realizar ligeramente antes de los momentos de mayor absorción. De lo anterior es fácil deducir que las curvas son una herramienta útil para tener una idea aproximada de la cantidad de nutrimentos totales que la planta necesita para su desarrollo, así como definir los programas de fertilización para el cultivo y maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes. Además, las curvas de absorción permiten conocer la calidad nutritiva de los productos o frutos, en cuanto a contenidos de nutrientes para el consumo humano o animal (Sancho 1998) y calcular la cantidad de nutrimentos que se debe reponer, debido a que salen del sistema como producto vendible, y sincronizarlos para que se aplique el producto

cuando la planta lo necesite; por esto son importantes las curvas de absorción de nutrimentos, como las recopiladas por Bertsch (2003).

Bertsch (1981) señala que desde el punto de vista agronómico, los análisis de absorción de nutrimentos son de gran utilidad, en tanto se profundice en la interpretación de los resultados obtenidos, los cuales proporcionan información que permite explicar las diferencias por efecto de nutrimentos desde un punto de vista más fisiológico, llegando a señalar quizás de una manera más específica y eficiente la época de mayor efecto y el tipo de acción ejercida por el nutrimento sobre la planta.

Curvas de absorción de nutrimentos para los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo durante la etapa de establecimiento del potrero.

Los pastos Toledo y Estrella se ubicaron en la finca de don Sergio Zapata, en Muelle de San Carlos, provincia de Alajuela, con ganado Jersey. Esta finca, se encuentra a 100 m.s.n.m., presenta una precipitación promedio de 3300 mm anuales (IMN 1988) y tiene un suelo clasificado como Fluventic Eutrudepts de textura franco arenosa.

En el caso del pasto Kikuyo, se seleccionó la finca de la Sra. Leda Salas, ubicada en Carrizal, provincia de Alajuela, con ganado Holstein a 1750 m.s.n.m., con una precipitación promedio de 3686,5 mm anuales (IMN 1988). El suelo es un Typic Hapludands de textura franco arenosa fina.

En curvas de absorción, es normal asociar este tema con cultivos de crecimiento conocido y que produzcan una cosecha o producto de consumo humano, tales como frijol, arroz, maíz, etc. A la fecha es normal encontrar productores de leche que fertilizan sus pasturas sin conocer realmente cuáles son sus necesidades, esto debido a que no se considera a los forrajes como un cultivo. En los casos de la Estrella y el Kikuyo, que son los pastos más importantes en la producción lechera nacional, se desconoce cuales son sus

necesidades nutricionales. Más recientemente se incorporan al país otras especies mejoradas como el pasto cv Toledo, el cv Mulato, etc., de los cuales se maneja información escasa de sus exigencias en tipo de suelo, cantidad de agua y luminosidad por ejemplo, pero al igual que los otros pastos se desconoce cual es su exigencia nutricional.

Estrella africana

La absorción de nutrimentos se relacionó con el crecimiento de la planta, de manera que a mayor producción de materia seca, mayor absorción de nutrimentos y viceversa. El nutrimento que más se absorbe en el pasto Estrella fue el K, seguido por N, S, P, Ca y Mg (Cuadro 1).

En cuanto a los elementos menores el orden de absorción obtenido indica que el Fe es el nutrimento que más se absorbe, seguido por Mn, Zn, Cu y B. Es importante mencionar que en el caso del Fe se consideró la posibilidad de que los datos no fueran confiables ya que se presentan valores altos con respecto a los consumos de Fe de cultivos ya estudiados; en este los valores obtenidos en raíces podrían estar justificados por problemas de contaminación con suelo, que provoca la alteración de los resultados en las muestras analizadas.

La extracción total de nutrimentos del suelo por el pasto Estrella africana, en relación a una hectárea de siembra y con una estimación de rendimiento de 4229 kg de material seco, las cantidades de nutrientes extraídas en kg ha^{-1} , corresponden a 64 de N, 11 de P, 105 de K, 9 de Ca, 6 de Mg, 11 de S, 2,7 de Fe, 0,13 de Cu, 0,15 de Zn, 0,26 de Mn y 0,03 de B. En el cuadro 2 se presentan las cantidades absorbidas de nutrimentos por semana. De estos valores se considera 100 % de extracción, ya que en esta fase de establecimiento no existió exportación de nutrientes a otro sistema.

Cuadro 1. **Absorción total** de nutrimentos por el pasto Kikuyo (*Kikuyo chloa clandestinum*) en Carrizal, Alajuela, y los pastos Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) y Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) en San Carlos, Alajuela, durante el periodo de **establecimiento** del cultivo (Costa Rica).

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella	Relación Aproximada
	kg ha ⁻¹			
K	400	211	105	4:2:1
N	245	118	64	4:2:1
Ca	49	28	9	5:3:1
P	43	16	11	4:2:1
Mg	39	28	6	6:5:1
S	34	10	11	3:1:1
Fe	58,76	18,77	2,74	20:6:1
Cu	0,36	0,10	0,13	3:1:1
Zn	0,86	0,28	0,15	6:2:1
Mn	1,95	1,10	0,26	8:4:1
B	0,08	0,12	0,03	1:6:2
Peso seco	14 343	9 044	4 229	3:2:1

Cuadro 2. Peso seco y cantidad de nutrimentos absorbidos por el pasto Estrella durante su periodo de establecimiento, Muelle de San Carlos, Alajuela.

DDS*	Peso Seco kg ha ⁻¹	Cantidad Absorbida										
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
37	555	13,10	1,60	17,30	1,70	0,90	1,10	411	8	15	43	2
44	1099	22,00	2,60	31,50	2,60	1,60	2,10	683	23	32	65	3
49	1415	27,00	3,20	35,70	3,20	2,10	2,80	2647	34	47	99	5
56	1353	23,70	3,00	32,60	4,10	2,10	2,70	1330	22	38	75	11
63	1733	25,10	4,20	49,10	5,30	2,70	3,70	2741	34	54	84	6
70	2575	47,40	5,90	71,30	4,50	3,70	5,70	621	73	114	121	19
77	2943	46,80	7,20	69,10	5,60	4,70	6,00	1792	131	89	163	5
84	1801	28,60	3,50	50,20	4,50	3,00	4,10	746	29	70	93	25
91	3118	53,10	6,60	81,20	7,60	5,10	5,70	1513	48	109	132	29
98	2648	46,30	7,00	65,80	6,70	3,90	7,70	588	52	109	158	6
105	4229	63,70	10,40	105,2	8,80	6,30	11,2	1663	65	151	257	19

* DDS: Días Después de la Siembra

cv Toledo

El nutrimento de mayor absorción del cv. Toledo fue el K, seguido por N, Ca, Mg con el mismo valor, P y S (Cuadro 1 y 3).

El orden de absorción obtenido en los elementos menores indica que el Fe es el nutrimento que más se consumió, seguido por Mn, Zn, Cu y B. Al igual que en el Estrella, el Fe presentó las mayores concentraciones en la raíz, pero el comportamiento de la absorción no fue errático como en el caso del pasto anterior, donde se mostró altibajos entre un muestreo y otro. Aún así, la absorción de Fe es alta, alcanzando niveles superiores a elementos primarios como el P, lo que refleja irregularidad en los datos por las causas previamente mencionadas. Por otra parte la absorción de B se manifestó 4 veces mayor en el Toledo respecto al Estrella.

Tomando como referencia una hectárea de siembra, con un rendimiento de 9044 kg de material seco, las cantidades de nutrientes extraídas en kg ha^{-1} corresponden a 118 kg de N, 16 de P, 211 de K, 28 de Ca, 28 de Mg, 10 de S, 19 de Fe, 0,09 de Cu, 0,28 de Zn, 1 de Mn y 0,12 de B.

Cuadro 3. Peso seco y cantidad de nutrimentos absorbidos por el pasto Toledo durante su establecimiento, Muelle de San Carlos, Alajuela.

DDS*	Peso Seco kg ha ⁻¹	Cantidad Absorbida										
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
67	260	5,20	0,70	8,40	0,70	0,60	0,30	715	4	8	37	6
74	1204	26,90	3,00	38,60	3,50	3,20	1,50	1488	14	29	124	6
81	1084	27,40	3,30	35,90	3,30	3,00	1,50	1122	13	25	129	3
86	2365	51,50	7,00	90,60	7,40	6,40	3,20	3343	23	61	272	5
93	3951	78,10	9,20	108,0	14,5	12,7	5,00	6369	50	118	413	11
100	4689	69,50	10,00	139,0	16,9	12,8	5,40	5482	58	121	378	13
107	5077	91,10	12,40	140,4	12,9	15,5	6,60	2474	58	165	437	28
114	5485	94,00	12,00	140,9	12,3	13,9	6,00	12564	63	139	579	11
121	8961	116,90	13,00	210,5	20,8	22,9	8,50	10326	88	249	727	122
128	9044	118,20	15,80	205,3	28,2	28,0	9,90	18727	94	275	1063	94

* DDS: Días Después de la Siembra

Kikuyo

Para un rendimiento de 14343 kg de material seco por hectárea, las cantidades extraídas de N, P, K, Ca, Mg y S, en el momento de mayor absorción fueron 245, 43, 400, 49, 39 y 34 kg ha⁻¹ respectivamente. Las cantidades de micro nutrientes absorbidas en el punto más alto de la curva fueron de 58,7; 0,36; 0,86; 1,95 y 0,08 kg ha⁻¹ para el Fe, Cu, Zn, Mn y B respectivamente (Cuadros 1 y 4).

Cuadro 4. Peso seco y cantidad de nutrientes absorbida por los diferentes tejidos del pasto Kikuyo durante su establecimiento, Cinco Esquinas, Alajuela.

DDS*	Peso Seco kg ha ⁻¹	Cantidad Absorbida										
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
47	3213	64,7	10,50	105,0	11,2	9,9	10,3	9442	67	137	241	18
54	3608	76,8	13,40	83,0	14,8	9,0	8,10	22790	94	178	491	12
61	5889	115,6	14,70	128,2	16,9	15,3	18,6	8412	123	226	612	22
68	7532	143,5	24,80	206,6	24,1	18,7	20,1	11099	187	697	512	48
75	8328	167,0	25,60	235,7	38,6	21,0	22,4	22000	204	553	967	21
82	10908	177,9	37,90	334,2	41,2	29,3	28,7	47898	232	600	1354	77
89	10341	164,6	38,30	291,0	45,3	28,8	27,3	40581	229	553	1051	72
96	13781	202,2	37,50	400,3	37,5	31,7	33,9	10377	230	563	1376	23
103	10355	134,8	28,80	214,9	41,7	28,3	22,3	52785	243	558	1762	31
110	14343	244,9	43,10	365,9	49,3	38,6	28,6	58761	357	860	1949	20

* DDS: Días Después de la Siembra

Absorción de nutrimentos por periodo de descanso en los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo durante un año, en potreros bajo pastoreo rotacional con ganado lechero.

Una vez concluida la fase de establecimiento de los potreros, se permitió el ingreso de animales en producción a las parcelas para iniciar con la fase de variación estacional (Absorción al final de cada período de descanso). A diferencia de la curva de establecimiento, la absorción de nutrientes no solo estuvo directamente relacionada con la producción de materia seca; sino que en esta fase (aproximadamente 1 año), los cambios de precipitación y temperatura y de manejo que se presentaron con el tiempo en la finca, inciden en el comportamiento de la absorción de nutrientes.

Estrella Africana

Durante un año se analizó el comportamiento del pasto Estrella y se obtuvo una producción de 59 t ha⁻¹ de peso seco (Cuadro 5). Al referirse a la absorción de nutrientes, esta fue proporcional a la producción de materia seca, de manera que a mayor producción de materia seca, mayor absorción de nutrientes y viceversa.

Al aproximar las cantidades totales absorbidas por el forraje se obtuvo que el K es el elemento que más se absorbió, seguido por el N, Ca, P, S y Mg (Cuadro 6). En el caso de los elementos menores en orden de mayor consumo, el Fe ocupó el primer lugar seguido de Mn, Zn, Cu y B.

Cuadro 5. Peso seco y absorción total de nutrientes **por periodo de descanso** durante un año, en potreros sometidos a pastoreo rotacional con ganado lechero en el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en Carrizal, Alajuela, y los pastos Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) y Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) en San Carlos, Alajuela (Costa Rica).

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella
	kg ha ⁻¹		
K	2184	2081	1381
N	1273	1048	1109
Ca	173	274	205
P	183	168	171
Mg	145	241	94
S	123	82	145
Fe	32,17	10,07	8,46
Cu	0,81	0,81	1,17
Zn	2,32	2,98	2,88
Mn	3,85	8,62	5,25
B	0,24	0,31	0,18
Peso seco	51 868	89 478	59 281

Cuadro 6. Absorción total de nutrientes por periodo de descanso, en pasto Estrella bajo pastoreo rotacional con ganado lechero, Muelle de San Carlos, Alajuela.

Fecha	n.º vacas	D.* Desc.	Peso Seco kg ha ⁻¹	Cantidad Absorbida										
				kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
abr-01	64	32	3037	39,2	8,8	64,4	9,4	4,9	4,6	525	27	118	197	15
may-01	64	24	3945	49,3	9,1	74,2	11,0	5,5	6,7	537	32	122	343	8
jun-01	67	28	3793	79,7	12,1	108,1	10,6	5,7	6,1	406	72	171	307	4
jul-01	70	26	3351	63,7	10,1	82,4	9,0	4,7	6,4	392	34	161	278	13
jul-01	60	28	3649	39,8	7,7	82,1	8,0	5,1	8,4	438	58	146	259	11
ago-01	64	26	3773	54,0	11,3	112,4	13,2	6,4	8,3	611	57	155	287	11
sep-01	63	25	4194	70,0	11,7	106,9	13,4	7,1	9,2	709	55	180	315	1
oct-01	60	26	3506	53,3	8,8	77,8	10,2	4,9	7,7	1648	35	105	280	18
nov-01	62	25	2623	70,5	14,4	84,4	8,4	5,2	18,6	278	189	131	220	5
dic-01	62	28	2921	70,1	12,3	85,9	8,5	4,4	9,9	389	32	85	348	6
ene-02	62	32	3539	85,3	11,7	5,7	8,5	5,7	9,9	449	32	145	400	4
feb-02	63	27	2230	54,2	6,0	70,7	6,9	3,8	6,2	386	22	85	292	12
mar-02	64	25	4189	89,2	11,7	102,6	15,1	7,5	10,1	348	272	239	448	11
mar-02	63	24	5725	105,3	15,5	125,4	21,8	8,6	12,0	481	155	481	584	11
abr-02	62	27	8813	185,1	20,0	197,5	50,6	14,3	21,0	868	95	553	687	47

Promedio		RESUMEN												
Nº vacas	D. Desc.	Peso Seco kg ha ⁻¹	Total Absorbido											
			kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
63	27	59289	1109	171	1381	205	94	145	8464	1166	2877	5246	176	

*D. Desc.: Días de Descanso

cv Toledo

El pasto Toledo se desarrolló en las mismas condiciones de suelo y clima que el pasto Estrella, con solo 15 días de diferencia entre uno y otro en el ingreso a pastoreo. El aspecto básico de mayor importancia es el tipo de crecimiento de cada planta ya que el cv Toledo presentó un crecimiento semi erecto y una base macollada, con poca presencia de estolones, caso contrario a la Estrella donde predomina este sistema de expansión y su porte es rastrero. Probablemente por esta última característica es que la producción de material seco fue mayor en el Toledo, de $89,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Cuadro 5).

El orden de absorción obtenido indica que el K fue el de mayor absorción, seguido de N, Ca, Mg, P y S (Cuadro 7). A diferencia del pasto Estrella el cv Toledo absorbió mayor cantidad de Ca y Mg, mientras solo la mitad del S fue absorbido por este pasto. En los elementos menores el orden de absorción de mayor a menor fue, Fe, Mn, Zn, Cu y B.

Cuadro 7. Absorción total de nutrientes por periodo de descanso, en pasto cv Toledo bajo pastoreo rotacional con ganado lechero, Muelle de San Carlos, Alajuela.

Fecha	N° vacas	D.* Desc.	Peso Seco kg ha ⁻¹	Cantidad Absorbida										
				kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
mar-01	62	33	7395	76,2	15,5	110,9	25,1	28,1	4,4	976	30	192	629	2
abr-01	64	27	7781	85,6	18,7	175,9	31,1	27,2	5,4	661	39	218	622	39
may-01	67	29	6997	97,3	13,3	112,7	25,9	25,2	5,6	483	56	154	686	21
jun-01	70	28	4589	62,9	9,2	123,0	12,4	11,5	3,2	418	69	179	445	14
jul-01	64	23	6400	45,4	8,3	136,3	21,1	15,4	4,5	781	96	282	864	38
ago-01	64	26	5452	47,3	8,2	142,5	17,1	13,1	4,9	636	62	211	644	33
sep-01	62	27	4503	49,1	8,1	148,6	13,1	10,8	5,4	491	27	140	423	27
sep-01	63	24	4644	51,1	8,4	113,3	13,5	9,8	3,7	627	51	158	446	5
oct-01	73	27	8238	58,5	15,7	199,4	9,9	14,0	7,4	1153	41	379	643	25
nov-01	64	27	5292	67,2	12,7	147,1	8,5	11,6	14,8	810	32	164	492	16
dic-01	62	27	2623	45,6	5,5	71,3	2,6	3,7	2,6	354	16	79	252	10
ene-02	63	32	5809	96,4	13,4	189,4	11,6	11,6	5,2	668	41	198	529	41
feb-02	63	24	6272	91,6	10,0	156,8	23,8	22,6	4,4	709	38	144	596	21
mar-02	64	26	5491	66,3	9,0	96,1	23,6	19,1	3,9	512	146	231	590	10
abr-02	62	26	7992	107,1	12,0	157,4	34,4	17,6	6,4	791	64	256	759	6

Promedio		RESUMEN												
N° vacas	D. Desc.	Peso Seco kg ha ⁻¹	Total Absorbido											
			kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
64	27	89478	1048	168	2081	274	241	82	10069	806	2982	8619	307	

*D. Desc.: Días de Descanso

Kikuyo

El pasto Kikuyo presentó la producción de material seco más baja de los tres pastos de $51,9 \text{ t ha}^{-1}$ (Cuadro 5), que se debió probablemente al momento de ingreso a pastoreo, ya que la distribución de las lluvias muestra que de julio a diciembre del año 2001 fueron los meses con mayor precipitación, lo cual resultó en más agua en los pastos y poca materia seca en los mismos. Hacia el final del periodo de estudio se mostró una leve tendencia a mejorar la producción de materia seca.

Al determinar el patrón de absorción del Kikuyo se observó que la mayoría de las curvas tienen una misma tendencia ascendente en los tres forrajes indicando a febrero, marzo y abril como los meses en que los nutrientes son absorbidos en mayor cuantía. El N, el P, el K, el Mg y el S se absorbieron más en febrero, mientras que el Ca tuvo su pico de absorción entre febrero y abril. El orden descendente de absorción de los macro nutrientes fue K, N, P, Ca, Mg y S (Cuadro 8).

Para los micronutrientes se tuvo un comportamiento semejante durante los meses citados; importante es mencionar que a diferencia de los otros dos pastos se presentó un mayor consumo de Fe. Este alto consumo de Fe contrasta con los valores de absorción obtenidos en la fase de establecimiento donde se mencionó la posibilidad de contaminación en las muestras de raíces con suelo, en este caso los valores se presentan nuevamente pero a nivel foliar lo cual indica una alta afinidad de las gramíneas por el Fe, descartando algún síntoma de toxicidad o de limitación de la absorción de otros nutrientes ya que lo observado en el campo, indica que nunca hubo síntomas de deficiencia de otros elementos, aunado a los contenidos foliares obtenidos, que presentaron valores adecuados. Aunque hay diferencias en las toneladas de material seco producidas por los tres pastos, las absorciones de micronutrientes fueron semejantes entre uno y otro pasto. El orden decreciente de absorción de micronutrientes en el pasto Kikuyo fue Fe, Mn, Zn, Cu y B (Cuadro 8).

Cuadro 8. Absorción total de nutrientes por periodo de descanso, en pasto

Kikuyo bajo pastoreo rotacional con ganado lechero, Cinco Esquinas, Alajuela

Fecha	N° vacas	D.* Desc.	Peso Seco kg ha ⁻¹	Cantidad Absorbida										
				kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
jun-01	71	43	2589	42,2	11,9	101,8	3,9	6,5	6,7	1660	31	153	197	8
jul-01	70	34	2901	70,8	11,3	133,7	13,6	9,0	8,7	1619	58	119	174	12
sep-01	69	37	3796	98,7	16,7	261,9	13,7	12,1	8,7	1150	57	201	178	15
oct-01	70	28	3487	76,4	11,9	132,8	9,4	8,0	5,9	673	28	91	171	17
nov-01	73	32	3089	71,4	5,9	126,3	4,9	7,1	4,9	608	28	102	176	9
dic-01	78	33	3051	66,2	13,7	115,3	7,6	7,3	8,2	2124	134	113	299	15
ene-02	76	32	3538	129,8	15,9	164,2	11,7	11,3	10,3	1928	32	124	308	11
feb-02	76	33	5224	118,1	15,7	232,5	21,9	20,9	14,6	14941	42	214	549	38
mar-02	77	26	4644	78,9	11,1	135,6	22,3	13,9	8,8	4393	204	297	604	40
abr-02	75	33	4981	130,5	11,0	157,9	22,4	12,5	10,0	912	45	214	394	31
may-02	76	35	5509	149,9	12,1	175,7	16,5	14,3	11,0	1135	61	259	380	26
jun-02	76	30	4563	100,8	17,3	198,0	11,0	10,0	10,5	643	41	192	183	14
jul-02	78	28	4496	138,9	28,8	248,6	14,4	11,7	14,4	382	45	238	238	1

Promedio		Peso Seco kg ha ⁻¹	RESUMEN Total Absorbido										
N° vacas	D. Desc.		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
74	33	51868	1273	183	2184	173	145	123	32168	805	2317	3850	238

*D. Desc.: Días de Descanso

Exportación de nutrimentos por periodo de descanso en los pastos Estrella, cv Toledo y Kikuyo durante un año, en potreros bajo pastoreo rotacional con ganado lechero.

En la sección anterior se mencionó la absorción de nutrimentos por parte del pasto durante un año. Dicha absorción representa la cantidad total de nutrientes que llega a la planta, considerado como 100 %. Una vez ingresados los animales al potrero, se presentan situaciones que limitan el consumo del forraje, tales como, la duración del periodo de descanso, el pisoteo, la deposición de nuevas excretas sobre el pasto, entre otros. Al considerar estas observaciones, se puede definir la exportación de nutrientes como la fracción del total de nutrimentos presente en el pasto, que es consumida por los animales de pastoreo y por tanto exportada a otro sistema.

Al considerar la exportación de nutrientes, en Estrella africana se obtuvo una extracción total de material seco de $14\,435\text{ kg ha}^{-1}$, que representó el 24% de consumo. En Kikuyo la extracción fue de $12\,992\text{ kg ha}^{-1}$ correspondiente a un 25% de consumo y en el cv Toledo se extrajeron $25\,213\text{ kg ha}^{-1}$ para un 28% de consumo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Peso seco y nutrimentos **EXPORTADOS** en los pastos Kikuyo (*Kikuyo chloa clandestinum*), Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) y Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*). sometidos a pastoreo por periodo de descanso, en Costa Rica

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella
	kg ha ⁻¹ año ⁻¹		
K	540,5	617,5	325,0
N	321,7	278,2	264,8
Ca	43,7	68,8	47,7
P	43,9	49,5	42,5
Mg	36,9	65,3	22,6
S	30,4	25,7	33,1
Fe	9,65	2,92	1,92
Cu	0,16	0,19	0,29
Zn	0,56	0,84	0,82
Mn	0,96	2,39	1,33
B	0,06	0,11	0,03
Peso seco	12 992	25 213	14 435

Al considerar la exportación de nutrientes en el pasto Estrella, se obtuvo que al igual que la absorción total, el K fue el elemento que más se exportó del sistema, seguido por el N, Ca, P, S y Mg (Cuadro 10). En el caso de los elementos menores, con excepción del B todos fueron sustraídos en mayor cantidad en el área sin paleteo, el orden de exportación se mantiene (Fe, Mn, Zn, Cu y B).

Cuadro 10. Exportación de nutrientes por periodo de descanso en pasto Estrella, bajo pastoreo rotacional con ganado lechero, Muelle de San Carlos, Alajuela.

Fecha	Bimasa Seca kg ha ⁻¹	Exportación de nutrientes																					
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					% del total por mes										
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Abr-01	1171	15,1	3,4	3,6	1,9	24,8	1,8	203	11	46	76	5,9	5,7	8,0	7,6	8,3	7,6	5,3	10,6	3,6	5,5	5,7	19,3
May-01	175	2,2	0,4	0,5	0,2	3,3	0,3	24	1	5	15	0,4	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9	1,2	0,5	0,7	1,1	1,2
Jun-01	492	10,3	1,6	1,4	0,7	14,0	0,8	53	9	22	40	0,5	3,9	3,7	2,9	3,3	4,3	2,4	2,7	3,2	2,7	3,0	1,6
jul-01	297	5,6	0,9	0,8	0,4	7,3	0,6	35	3	14	25	1,2	2,1	2,1	1,7	1,8	2,3	1,7	1,8	1,0	1,7	1,9	3,9
jul-01	391	4,3	0,8	0,9	0,5	8,8	0,9	47	6	16	28	1,2	1,6	1,9	1,8	2,4	2,7	2,7	2,4	2,2	1,9	2,1	3,9
Ago-01	944	13,5	2,8	3,3	1,6	28,1	2,1	153	14	39	72	2,8	5,1	6,7	6,9	7,1	8,7	6,3	8,0	4,9	4,7	5,4	9,4
Sep-01	2238	37,4	6,3	7,2	3,8	57,1	4,9	378	29	96	168	0,5	14,1	14,8	15,0	16,8	17,6	14,9	19,7	10,0	11,7	12,6	1,6
oct-01	482	7,3	1,2	1,4	0,7	10,7	1,1	227	5	14	39	2,4	2,8	2,8	2,9	3,0	3,3	3,2	11,8	1,7	1,8	2,9	8,0
Nov-01	244	6,6	1,3	0,8	0,5	7,9	1,7	26	18	12	20	0,5	2,5	3,2	1,6	2,2	2,4	5,2	1,3	6,0	1,5	1,5	1,6
Dic-01	968	23,2	4,1	2,8	1,5	28,5	3,3	129	11	28	115	1,9	8,8	9,6	5,9	6,4	8,8	10,0	6,7	3,7	3,4	8,7	6,4
Ene-02	1059	25,5	3,5	2,5	1,7	1,7	3,0	134	10	43	120	1,1	9,6	8,2	5,3	7,5	0,5	9,0	7,0	3,3	5,3	9,0	3,5
Feb-02	102	2,5	0,3	0,3	0,2	3,2	0,3	18	1	4	13	0,6	0,9	0,6	0,7	0,8	1,0	0,9	0,9	0,4	0,5	1,0	1,9
Mar-02	388	8,3	1,1	1,4	0,7	9,5	0,9	32	25	22	42	1,0	3,1	2,6	2,9	3,1	2,9	2,8	1,7	8,7	2,7	3,1	3,3
Mar-02	1333	24,5	3,6	5,1	2,0	29,2	2,8	112	36	112	136	2,5	9,3	8,5	10,6	8,8	9,0	8,5	5,8	12,4	13,6	10,2	8,4
Abr-02	4151	78,4	11,2	15,8	6,2	90,9	8,7	349	112	349	423	7,9	29,6	26,4	33,1	27,5	28,0	26,3	18,2	38,6	42,4	31,8	26,1
Total	14435	264,8	42,5	47,7	22,6	325,0	33,1	1918,0	290,6	822,8	1331,4	30,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Min.	102	2,2	0,3	0,3	0,2	1,7	0,3	17,6	1,0	3,9	13,4	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,5	0,9	0,9	0,4	0,5	1,0	1,2
Max.	4151	78,4	11,2	15,8	6,2	90,9	8,7	378,2	112,1	348,7	423,4	7,9	29,6	26,4	33,1	27,5	28,0	26,3	19,7	38,6	42,4	31,8	26,1

Cuadro 11. Exportación de nutrientes por periodo de descanso en pasto Toledo, bajo pastoreo rotacional con ganado lechero, Muelle de San Carlos, Alajuela.

Fecha	Peso Seco kg ha ⁻¹	Exportación de nutrientes																					
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					% del total por mes										
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
mar-01	1477	15,2	3,1	5,0	5,6	22,2	0,9	195	6	38	126	0,4	5,5	6,3	7,3	8,6	3,6	3,5	6,7	3,0	4,6	5,3	0,4
abr-01	3797	41,8	9,1	15,2	13,3	85,8	2,7	323	19	106	304	19,0	15,0	18,4	22,1	20,4	13,9	10,4	11,1	9,8	12,7	12,7	17,9
may-01	1952	27,1	3,7	7,2	7,0	31,4	1,6	135	16	43	191	5,9	9,8	7,5	10,5	10,8	5,1	6,1	4,6	8,1	5,1	8,0	5,5
jun-01	108	1,5	0,2	0,3	0,3	2,9	0,1	10	2	4	11	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,8	0,5	0,4	0,3
jul-01	2701	19,2	3,5	8,9	6,5	57,5	1,9	330	41	119	365	16,2	6,9	7,1	13,0	9,9	9,3	7,4	11,3	20,9	14,2	15,3	15,3
ago-01	1598	14,4	2,5	5,0	3,8	43,4	1,5	185	17	60	183	9,6	5,2	5,0	7,2	5,9	7,0	5,9	6,3	8,7	7,2	7,7	9,0
sep-01	2071	22,6	3,7	6,0	5,0	68,3	2,5	226	12	64	195	12,4	8,1	7,5	8,7	7,6	11,1	9,7	7,7	6,4	7,7	8,1	11,7
sep-01	320	3,5	0,6	0,9	0,7	7,8	0,3	43	4	11	31	0,3	1,3	1,2	1,3	1,0	1,3	1,0	1,5	1,8	1,3	1,3	0,3
oct-01	4291	30,5	8,2	5,1	7,3	103,9	3,9	601	21	197	335	12,9	11,0	16,5	7,5	11,2	16,8	15,0	20,6	11,1	23,6	14,0	12,1
nov-01	2373	30,1	5,7	3,8	5,2	66,0	6,6	363	14	74	221	7,1	10,8	11,5	5,5	8,0	10,7	25,9	12,4	7,3	8,8	9,2	6,7
dic-01	665	11,6	1,4	0,7	0,9	18,1	0,7	90	4	20	64	2,7	4,2	2,8	1,0	1,4	2,9	2,6	3,1	2,1	2,4	2,7	2,5
ene-02	2241	37,2	5,2	4,5	4,5	73,1	2,0	258	16	76	204	15,7	13,4	10,4	6,5	6,9	11,8	7,9	8,8	8,1	9,1	8,5	14,8
feb-02	728	10,6	1,2	2,8	2,6	18,2	0,5	82	4	17	69	2,4	3,8	2,4	4,0	4,0	2,9	2,0	2,8	2,3	2,0	2,9	2,3
mar-02	686	10,1	1,2	2,5	2,1	14,9	0,5	58	17	0	74	1,0	3,6	2,4	3,7	3,3	2,4	1,9	2,0	8,8	0,0	3,1	0,9
abr-02	204	2,7	0,3	0,9	0,4	4,0	0,2	20	2	7	19	0,2	1,0	0,6	1,3	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,2
Total	25213	278,2	49,5	68,8	65,3	617,5	25,7	2917,5	193,9	836,4	2390,0	106,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Min.	108	1,5	0,2	0,3	0,3	2,9	0,1	9,9	1,6	0,3	10,5	0,2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,8	0,0	0,4	0,2
Max.	4291	41,8	9,1	15,2	13,3	103,9	6,6	600,8	40,5	197,4	364,7	19,0	15,0	18,4	22,1	20,4	16,8	25,9	20,6	20,9	23,6	15,3	17,9

Cuadro 12. Exportación de nutrientes por periodo de descanso en pasto Kikuyo, bajo pastoreo rotacional con ganado lechero, Cinco Esquinas, Alajuela.

Fecha	Peso Seco	Exportación de nutrientes																					
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					% del total por mes										
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
jun-01	473	7,7	2,2	0,7	1,2	18,6	1,2	303	6	28	36	1,4	2,4	5,0	1,6	3,2	3,4	4,0	3,1	3,5	5,0	3,8	2,3
jul-01	238	5,8	0,9	1,1	0,7	11,0	0,7	133	5	10	14	1,0	1,8	2,1	2,6	2,0	2,0	2,4	1,4	3,0	1,8	1,5	1,5
sep-01	716	18,6	3,2	2,6	2,3	49,4	1,6	217	11	38	34	2,9	5,8	7,2	5,9	6,2	9,1	5,4	2,2	6,7	6,8	3,5	4,6
oct-01	1203	26,3	4,1	3,2	2,8	45,8	2,0	232	10	31	59	6,0	8,2	9,3	7,4	7,5	8,5	6,7	2,4	6,0	5,6	6,2	9,7
nov-01	567	13,1	1,1	0,9	1,3	23,2	0,9	112	5	19	32	1,7	4,1	2,5	2,1	3,5	4,3	3,0	1,2	3,2	3,4	3,4	2,7
dic-01	305	6,6	1,4	0,8	0,7	11,5	0,8	212	13	11	30	1,5	2,1	3,1	1,7	2,0	2,1	2,7	2,2	8,3	2,0	3,1	2,4
ene-02	1103	40,5	5,0	3,6	3,5	51,2	3,2	601	10	39	96	3,3	12,6	11,3	8,3	9,6	9,5	10,5	6,2	6,2	6,9	10,0	5,3
feb-02	2193	49,6	6,6	9,2	8,8	97,6	6,1	6273	18	90	230	16,0	15,4	15,0	21,1	23,8	18,1	20,2	65,0	10,9	16,1	24,0	25,7
mar-02	717	12,2	1,7	3,4	2,2	20,9	1,4	679	32	46	93	6,2	3,8	3,9	7,9	5,8	3,9	4,5	7,0	19,6	8,2	9,7	9,9
abr-02	1697	44,5	3,7	7,6	4,2	53,8	3,4	311	15	73	134	10,7	13,8	8,5	17,5	11,5	10,0	11,2	3,2	9,5	13,1	14,0	17,2
may-02	1336	36,3	2,9	4,0	3,5	42,6	2,7	275	15	63	92	6,3	11,3	6,7	9,2	9,4	7,9	8,8	2,9	9,1	11,3	9,6	10,1
jun-02	1705	37,7	6,5	4,1	3,8	74,0	3,9	240	15	72	68	5,1	11,7	14,8	9,4	10,2	13,7	12,9	2,5	9,5	12,8	7,1	8,2
jul-02	737	22,8	4,7	2,4	1,9	40,8	2,4	63	7	39	39	0,2	7,1	10,7	5,4	5,2	7,5	7,8	0,6	4,6	7,0	4,1	0,4
Total	12992	321,7	43,9	43,7	36,9	540,5	30,4	9651,1	161,1	557,8	958,1	62,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Min.	238	5,8	0,9	0,7	0,7	11,0	0,7	62,7	4,8	9,8	14,3	0,2	1,8	2,1	1,6	2,0	2,0	2,4	0,6	3,0	1,8	1,5	0,4
Max.	2193	49,6	6,6	9,2	8,8	97,6	6,1	6272,9	31,6	89,9	230,3	16,0	15,4	15,0	21,1	23,8	18,1	20,2	65,0	19,6	16,1	24,0	25,7

En el caso del pasto cv Toledo exportará principalmente K, seguido de N, Ca, Mg, P y S. En el caso de los elementos menores el principal fue Fe, luego Mn, Zn, Cu y B (Cuadro 11).

En el cuadro 12 se muestra la exportación de nutrientes para el pasto Kikuyo. El orden de extracción para los macronutrientes indica que el K es el elemento que más sale del sistema suelo-planta, seguido del N, P, Ca, Mg y S, por efecto de consumo de los animales. En el caso de los elementos menores se obtuvo que el Fe fue más consumido, luego el Mn, Zn, Cu y B.

El aspecto más importante de conocer la cantidad de nutrimentos exportados de los potreros, como forraje consumido por los animales, es que permite obtener una regla sencilla y práctica, que le ayude al productor a manejar de una forma más acertada la fertilización de la finca. Es primordial tener información de análisis de suelo que permitan diagnosticar deficiencias de nutrientes que deban corregirse.

Bajo las condiciones de este estudio, donde la fertilidad de los suelos utilizados fue mediana a buena y no había limitantes nutricionales, se puede utilizar la información generada en el cuadro 13. Por ejemplo, los días de descanso entre pastoreo y pastoreo, para cada pasto, así como el número de animales presentes en cada pastoreo, son representativos de las condiciones generales de las lecherías en Costa Rica. Se podría considerar que los datos obtenidos para los pastos Estrella y cv Toledo, son fácilmente extrapolables a la Zona Norte del País, mientras que los datos de pasto Kikuyo, pueden ser utilizados en las faldas de los volcanes del Valle Central.

Para calcular la cantidad de nutrimentos que se deben restituir al suelo, por efecto de la exportación de los mismos, producto del consumo de forraje por el animal, se debe tener en cuenta el número de animales de la finca, la concentración de estos nutrimentos en el forraje y la cantidad de alimento consumido. En el cuadro 13 se muestra el valor promedio de exportación de cada nutriente por animal en un periodo de descanso. De forma práctica se podrían utilizar estos valores, que multiplicados por el número de animales de

producción de la finca, pueden sugerir un valor más acertado de la cantidad de nutrimentos que se debe restituir al suelo.

Cuadro 13. **Exportación** promedio de nutrimentos **por animal**, en potreros sometidos a pastoreo rotacional con ganado lechero en los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo, Alajuela, Costa Rica.

Condiciones de Finca			Materia Seca kg animal ⁻¹	Total Exportado										
Pasto	n.º vacas	Días Descanso		kg vaca ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹						g vaca ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹				
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Estrella	63 Jersey	27	229	4,2	0,67	5,16	0,76	0,36	0,52	30,5	4,6	13	21	0,5
Toledo	64 Jersey	27	394	4,35	0,77	9,65	1,08	1,02	0,40	45,6	2,97	13,1	37,3	1,72
Kikuyo	74 Holstein	33	176	4,35	0,59	7,30	0,59	0,50	0,41	130	2,16	7,57	13	0,81

Análisis foliar

Como técnica de diagnóstico de las necesidades nutritivas de las plantas, el análisis foliar se basa en que las plantas, la hoja y cada uno de sus órganos requieren una determinada concentración de cada nutriente esencial para el normal desenvolvimiento de las funciones que en ellos tienen lugar y de las cuales depende la producción (Bertsch, 1998)

En el caso de los forrajes se debe tener claro, que la forma de toma de una muestra debe comprender aspectos muy relevantes que son los que al final, van a permitir la representatividad adecuada del área en estudio, por tanto se deben tomar en cuenta puntos importantes, tales como:

- ✓ Elección de la planta a muestrear: se debe tomar cortes generales como lo hace el ganado; al considerar que la concentración de los elementos en las hojas, varía de acuerdo a factores como la edad fisiológica de la hoja, posición en la planta, estado fenológico del cultivo, efecto del ambiente y del suelo.
- ✓ Área a muestrear: depende de los criterios de definición de unidad de muestreo, los cuales son muy parecidos a los aplicados en el muestreo de suelos. Para estos muestreos las áreas no deben ser mayores de 20 ha, si las condiciones son homogéneas (Ramírez, 1998).
- ✓ Número de submuestras: Según los investigadores (Ramírez, 1998) se deben tomar de 15 a 25 submuestras por cada muestra, número mínimo para disminuir la variabilidad del área de estudio y así poder estimar la verdadera cantidad de nutrientes disponibles en la zona muestreada.

Una vez obtenido el resultado del análisis, se debe considerar el concepto de “nivel crítico de deficiencia foliar” que se refiere al contenido de un elemento en

cierto tejido indicador por debajo del cual se espera una respuesta al aplicarlo. Igualmente, el nivel crítico de toxicidad determina el contenido del elemento por encima del cual la planta sufre intoxicación por exceso de este elemento. Entonces, el rango normal para el mejor crecimiento de la planta está entre el nivel crítico de deficiencia y el de toxicidad. Esto no quiere decir que el óptimo económico esté dentro de este rango (Bertsch, 1998).

En un estudio realizado por Vargas y Fonseca en 1989, se estimaron en forma global los niveles críticos foliares de los pastos de Costa Rica, los cuales se resumen en la cuadro 14.

Cuadro 14. Guía para la interpretación de análisis de minerales en pastos con ganado de leche.

Elemento	Deficiencia	Nivel crítico	Optimo	Tóxico
Nitrógeno (N) %	<1,12	1,76	>1,76	---
Fósforo (P) %	<0,26	0,31	0,31-0,60	>1,0
Potasio (K) %	<0,80	0,80	0,80-2,00	>3,0
Calcio (Ca) %	<0,37	0,43	0,43-0,80	>2,0
Magnesio (Mg) %	<0,16	0,20	0,20-0,40	>0,5
Hierro (Fe) mg/kg	<50	50	50-100	>1000
Cobre (Cu) mg/kg	<10	10	10-20	>80
Manganeso (Mn) mg/kg	<40	40	40-100	>1000
Cinc (Zn) mg/kg	<40	40	40-100	>500
Otros				
Proteína Cruda %	<7,0	11,0	>11,0	----
Sódio (Na) %	<0,1	0,18	0,18-1,00	>2,0
Cloruro de sódio (NaCl) %	<0,25	0,46	0,46-2,55	>5,0
Cobalto (Co) mg/kg	<0,10	0,10	0,10-1,00	>10
Yodo (I) mg/kg	<0,25	0,50	0,50-2,00	>50
Selênio (Se) mg/kg	<0,10	0,20	0,20-1,00	>5

Fuente: Vargas y Fonseca, 1989.

Programas de fertilización en el establecimiento y por periodo de descanso en los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo, en potreros bajo pastoreo rotacional con ganado lechero.

La fertilización de pasturas en Costa Rica se ha manejado sin conocer cual es en realidad el requerimiento de nutrientes de los pastos, aunque hay que mencionar que en ganadería de leche es difícil encontrar pasturas que muestren deficiencias nutricionales. Lo que sí es normal es encontrar productores que aplican una misma fórmula de fertilizante todo el año, o aplican un solo monoproducto que normalmente es nitrógeno.

La fertilización de los pastos es una de las prácticas agronómicas más importantes y algunos trabajos recientes, muestran que la fertilización representa aproximadamente el 19% de los costos de producción de un animal durante su periodo de lactancia (Rojas *et al.* 2002). Por lo general la fertilización de potreros en etapa de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P), dicha práctica puede no resultar adecuada ya que parte del fertilizante puede perderse o fijarse al suelo. El diseño de un programa de fertilización debe establecerse con base en los análisis foliares y de suelos del área respectiva, además de considerar factores determinantes como suelo, clima, método de aplicación, tipo de fertilizante y la especie forrajera (Acosta 1995).

Con la información de extracción obtenida, bajo las condiciones antes mencionadas y con los cuidados del caso, se pueden obtener alternativas que permitan mejorar los programas de fertilización de las fincas ganaderas.

Establecimiento

En general, las dosis recomendadas en la siembra de pastos varían de 4 a 10 sacos de 45 kg de fórmulas altas en fósforo como la 10-30-10; cantidades que suplen adecuadamente los requerimientos de establecimiento de los pastos

estudiados cuando los suelos presentan de buena a mediana fertilidad. Aun así se pueden optimizar los recursos y utilizar fuentes de fertilizantes sin material empleado como vehículo (relleno), que además permitan contribuir con otros nutrientes a parte del N, P y K., tales como Mg, S, Zn y B. En el cuadro 15 se presenta un ejemplo de los posibles programas de siembra a utilizar en los pastos estudiados.

Se debe tomar en cuenta que las siembras de pastos normalmente se realizan en invierno, cuando las lluvias se han establecido. Se ubica en los programas fuentes de nitrógeno principalmente amoniacales, con el propósito de evitar las posibles pérdidas por lixiviación, aun así los programas mostrados son solo un ejemplo de la gran cantidad de posibilidades que se pueden citar y que además están influenciadas, por la disponibilidad de materias primas en el mercado, el clima, el suelo, etc.

Cuadro 15. Programas de fertilización para el **establecimiento** de potreros de los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo, Alajuela, Costa Rica.

Estrella																	
Época	Saco ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Fórmula del fertilizante							kg de nutriente ha ⁻¹							
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Zn	
15 DDS	1	45	12,0	30,0	8,0	6,0			8,0	0,0	5,4	13,5	3,6	2,7		3,6	
15 DDS	1	45	24,0	12,0	6,0	6,0			7,0	0,4	10,8	5,4	2,7	2,7		3,2	0,2
50 DDS	1	45	46,0								20,7						
50 DDS	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4		6,3	9,9			
<i>Total</i>	5	225								<i>Total kg ha⁻¹:</i> 56,3 18,9 6,3 11,7 9,9 6,8 0,2							
										<i>Curva absorción</i> 64 25,2 126 10 12,6 11 0,15							
Toledo																	
Época	Saco ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Fórmula del fertilizante							kg de nutriente ha ⁻¹							
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Zn	
15 DDG	1	45	12,0	30,0	8,0	6,0			8,0	0,0	5,4	13,5	3,6	2,7		3,6	
15 DDG	2	90	24,0	12,0	6,0	6,0			7,0	0,4	21,6	10,8	5,4	5,4		6,3	0,4
80 DDG	2	90	46,0								41,4						
80 DDG	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4		6,3	9,9			
<i>Total</i>	7	315								<i>Total kg ha⁻¹:</i> 87,8 24,3 9,0 14,4 9,9 9,9 0,4							
										<i>Curva absorción</i> 118 36,6 253 46,5 39,2 10 0,28							
Kikuyo																	
Época	Saco ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Fórmula del fertilizante							kg de nutriente ha ⁻¹							
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Zn	
15 DDS	2	90	18,0	46,0	0,0	0,0			0,0	0,0	16,2	41,4					
15 DDS	2	90	24,0	12,0	6,0	6,0			7,0	0,4	21,6	10,8	5,4	5,4		6,3	0,4
75 DDS	2	90	46,0								41,4						
75 DDS	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4		6,3	9,9			
<i>Total</i>	8	360								<i>Total kg ha⁻¹:</i> 98,6 52,2 5,4 11,7 9,9 6,3 0,4							
										<i>Curva absorción</i> 245 98,5 480 64,7 68,6 34 0,86							

DDS: Días Después de la Siembra, DDG: Días Después de la Germinación

En los casos del pasto Estrella y el pasto Kikuyo se recomienda hacer la primera aplicación de fertilizante aproximadamente 15 días después de la siembra, esto se debe a que ambas plantas son sembradas mediante estolones y rizomas; este periodo de tiempo permite el desarrollo de rebrotes que generen la parte aérea de la nueva siembra. A diferencia de estos pastos, en el pasto cv Toledo se considera los mismos 15 días pero después de la germinación; la razón es que la semilla de Toledo presenta diferencias entre lote y lote en cuanto a germinación se refiere, variando de 8 hasta 25 días para que la semilla germine. Con este manejo se lograría una mayor certeza de que el fertilizante realice su efecto en el momento deseado.

Un aspecto importante en todos los casos es la poca reposición del K como parte del programa de fertilización, ya que los pastos presentan la capacidad de obtener K del suelo y acumularlo en sus tejidos, así mismo se debe considerar que en los programas propuestos se incluyen unos cuantos kilogramos de K, pero es consecuencia de que la mayoría de fórmulas disponibles en el mercado contienen este nutrimento.

Pastoreo

Posterior al establecimiento de los pastos, inicia el pastoreo de los mismos, por lo que se debe considerar las salidas de nutrientes que hay del sistema. Según las condiciones de finca para cada forraje, se debe considerar los días de descanso del pasto para proponer un programa de fertilización (Cuadro 18). Como práctica normal se utilizan los primeros tres días posteriores al pastoreo para aplicar el fertilizante, pero es recomendable realizarlo como mínimo 8 días después del pastoreo, cuando la planta este recuperada del pisoteo y por consiguiente pueda absorber los nutrimentos eficientemente. Esta práctica se debe repetir en cada ciclo de pastoreo y por todo el año, siempre que exista humedad. Es importante tomar en cuenta los puntos de mayor

extracción para suplir en el momento adecuado, los nutrientes necesarios (Cuadros 6, 7 y 8) y los puntos de mayor exportación (Cuadros 10, 11 y 12).

En el cuadro 18 se muestran ejemplos de los posibles programas de fertilización para pasto cv Toledo y pasto Estrella, así como para pasto Kikuyo (Cuadro 19) que se pueden implementar en las zonas en que se realizó el trabajo. En el caso del pasto Estrella y cv Toledo se debe considerar que la zona de Muelle de San Carlos presenta únicamente dos meses secos en el año (enero y febrero), por lo que las aplicaciones en esos meses quedan sujetas a la disponibilidad de humedad.

Por otra parte en las zonas donde predomina el pasto Kikuyo, como las faldas de los volcanes Poás, Barva e Irazú, éstas no presentan problemas de humedad, ya que por su ubicación geográfica, presentaron agua en el suelo durante casi todo el año. La limitante principal fue que generalmente en los meses de setiembre y octubre se presentan precipitaciones excesivas que incurren en daños al pasto por exceso de humedad en el suelo, bajo esta situación las aplicaciones de fertilizante que se realicen no tendrán efecto. Tomando en cuenta esa aclaración, la decisión de aplicar o no fertilizante, queda sujeta a las condiciones del clima y al criterio del productor.

La Cooperativa de Productores de Leche (1999) difunde entre sus productores dosis de nutrientes (Cuadro 16), separadas por categorías de suelos de fertilidad baja, media y alta. Para saber la dosis a utilizar, se debe comparar con la tabla de niveles críticos para interpretar análisis de suelos (Cuadro 17) y determinar en cual categoría esta un elemento determinado.

Cuadro 16. Dosis recomendadas por la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos.

Elemento	Fertilidad baja	Fertilidad media	Fertilidad alta
Nitrógeno (N)	180-250	180-250	180-250
Fósforo (P ₂ O ₅)	80-130	40-80	20-40
Potasio (K ₂ O)	30-40	20-30	10-20
Magnesio (MgO)	30-40	30-40	30-40
Azufre (S)	20-30	10-20	10-20

Cuadro 17. Niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos en Costa Rica

Características	Categoría		
	Baja	Media	Alta
pH agua	< 5,5	5.6-6.5	> 6.5
Acidez (cmol(+)/L)	< 0,5	0.5-1.5	> 1.5
Saturación de acidez (%)	< 10	10-50	> 50
Suma de bases (cmol(+)/L)	< 5	5-25	> 25
CICE (cmol(+)/L)	< 5	5-25	> 25
Ca (cmol(+)/L)	< 4	4-20	> 20
Mg (cmol(+)/L)	< 1	1-5	> 5
K (cmol(+)/L)	< 0,2	0.2-0.6	> 0.6
Ca/Mg		2-5	
Ca/K		5-25	
Mg/K		2.5-15	
Ca+Mg/K		10-40	
P mg/L	< 10	10-20	> 20
Zn mg/L	< 3	3-10	> 10
Mn mg/L	< 5	5-50	> 50
Fe mg/L	< 10	10-100	> 100
Cu mg/L	< 2	2-20	> 20

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/v. 2. Procedimiento: pH en agua 10:25; acidez, Ca y Mg con KCl 1M relación 1:10; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu con Olsen Modificado pH 8,5 (NaHCO₃ 0,5 N, EDTA 0.01M, Superfloc 127) 1:10. Acidez determinada por valoración con NaOH; P por Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Fuente. Bertsch, F. 1998.

Cuadro 18. Programas de fertilización para potreros en **pastoreo** de los pastos Estrella y Toledo, Alajuela, Costa Rica.

Estrella y Toledo																				
Época	Sacos ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Fórmula del fertilizante								kg de nutriente ha ⁻¹ aplicación ⁻¹									
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B	CaO	S	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B	CaO	S	Zn		
Enero	2	90	16,0		6,0	5,0		10,0	6,0	0,2	14,4		5,4	4,5		9,0	5,4	0,2		
Febrero	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4			6,3		9,9				
Marzo	2	90	16,0		6,0	5,0		10,0	6,0	0,2	14,4		5,4	4,5		9,0	5,4	0,2		
Abril	2	90	21,5			7,0	0,1	11,0			19,4			6,3	0,1	9,9				
Mayo			Enmienda																	
Junio	2	90	46,0								41,4									
Julio	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4			6,3		9,9				
Agosto	2	90	16,0		6,0	5,0		10,0	6,0	0,2	14,4		5,4	4,5		9,0	5,4	0,2		
Setiembre	2	90	40,0							5,6	36,0						5,0			
Octubre	2	90	18,0	46,0							16,2	41,4								
Noviembre	2	90	40,0							5,6	36,0						5,0			
Diciembre	2	90	33,5								30,2									
<i>Total</i>	22	990									<i>Total kg ha⁻¹:</i>	261	41,4	16,2	32,4	0,1	56,7	26,3	0,5	
											<i>Curva exportación Estrella</i>									
											265	97,3	390	37,5	0,03	66,8	33,1	0,82		
											<i>Curva exportación cv Toledo</i>									
											278	113,4	741	108,4	0,11	96,3	25,7	0,84		
											<i>Curva absorción Estrella</i>									
											1109	392	1657	156	0,18	287	145	2,88		
											<i>Curva absorción Toledo</i>									
											1048	385	2497	400	0,31	384	82	2,98		

Cuadro 19. Programas de fertilización para potreros en **pastoreo** en el pasto Kikuyo, Alajuela, Costa Rica.

Kikuyo																			
Época	Sacos ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Fórmula del fertilizante								kg de nutriente ha ⁻¹ aplicación ⁻¹								
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B	CaO	S	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B	CaO	S	Zn	
Enero	2	90	16,0		6,0	5,0	0,1	10,0	6,0	0,2	14,4		5,4	4,5	0,1	9,0	5,4	0,2	
Febrero	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4			6,3		9,9			
Marzo	2	90	16,0		6,0	5,0	0,1	10,0	6,0	0,2	14,4		5,4	4,5	0,1	9,0	5,4	0,2	
Abril	2	90	33,5								30,2								
Mayo						Enmienda													
Junio	2	90	46,0								41,4								
Julio	2	90	21,5			7,0		11,0			19,4			6,3		9,9			
Agosto	2	90	16,0		6,0	5,0	0,1	10,0	6,0	0,2	14,4		5,4	4,5	0,1	9,0	5,4	0,2	
Setiembre	2	90	40,0							5,6	36,0						5,0		
Octubre	2	90	18,0	46,0							16,2	41,4							
Noviembre	2	90	40,0							5,6	36,0						5,0		
Diciembre	2	90	46,0								41,4								
<i>Total</i>	<i>22</i>	<i>990</i>									<i>Total kg ha⁻¹:</i>	<i>283,1</i>	<i>41,4</i>	<i>16,2</i>	<i>26,1</i>	<i>0,3</i>	<i>46,8</i>	<i>26,3</i>	<i>0,5</i>
											<i>Curva exportación</i>	<i>322</i>	<i>100</i>	<i>649</i>	<i>61,3</i>	<i>0,06</i>	<i>61,2</i>	<i>30,4</i>	<i>0,56</i>
											<i>Curva absorción</i>	<i>1273</i>	<i>419</i>	<i>2621</i>	<i>241</i>	<i>0,24</i>	<i>242</i>	<i>123</i>	<i>2,32</i>

Actualmente el tema más importante en el sector agrícola es la contaminación ambiental. Conocer los requerimientos nutricionales de los pastos, permite a los productores utilizar las cantidades necesarias de fertilizantes, que permitan el adecuado desarrollo de los pastos, cuidando el medio ambiente.

Desde el punto de vista económico, el desconocimiento de los requerimientos nutricionales y el aporte de las excretas, favorece las pérdidas monetarias de los productores, ya que facilita la utilización excesiva o inadecuada de recursos.

El conocimiento de los requerimientos nutricionales de los pastos, permite avanzar en el mejoramiento de las recomendaciones de fertilización a utilizar en las fincas. Estudios posteriores de comprobación de los resultados obtenidos, permitirían afinar más estos conocimientos.

LITERATURA CITADA

ACOSTA, R. 1995. Fertilización y pastoreo rotacional: dos técnicas para alta producción de leche y carne. San José, Costa Rica, CAFESA. 75 p.

ALTIERI M. y YURJEVIC A. 1919. La agroecología y el Desarrollo Rural Sostenible en América Latina. Agroecología y Desarrollo. CLADES. Año2. No. 1 25-36 p.

AHMED, A.; G. SCHUMAND y R. HART. 1987. Soil Bulk Density and Water infiltration as affected by Grazing Systems. J. of Range Management 40(4):307-309.

BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica. ACCS. 307 p.

- BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH, F. 1981. Nutrición mineral de hortalizas: curvas de absorción de nutrientes. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 30 p.
- BEVEN, K. y GERMAN P. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Res.*, 18, 1311-1325.
- CARTER, M. R. 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine Sandy loams. *Canadian Journal of Soil Science* 70. 425-433.
- COOPERATIVA DE PRODUCTORES DE LECHE DOS PINOS. 1999. Manual de nutrición de pastos. San José, Costa Rica. 20 p.
- DEFOSSEZ, P. and G. RICHARD. 2002. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil and Tillage Research*. 67: 41-64.
- ELA, S. D.; S.C. GUPTA y RAWLS W. J. 1992. Macropore and surface seal interactions affecting water infiltration into soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 714-721.
- FORSYTHE, W. 1986. Manual de Laboratorio. Física de suelos. IICA, San José, Costa Rica.
- HANDEH, N.H. 2003. Compaction and Subsoiling Effect on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 67: 1213-1219

HARRISON, D.F.; CAMERON K.C. y R. G. MCLAREN. 1994. Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. New Zealand Journal of Agricultural Research. Vol. 37: 559-567.

HENRÍQUEZ, C.; G. CABALCETA. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 1era. Edición, San José, Costa Rica.

HILLEL, D. 1982. Fundamentals of soils physics. Academic Press, New York.

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL, 1988. Catastro de las series de precipitaciones medidas en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional año del Centenario 1888-1988. Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas. San José, Costa Rica. pp. 26, 239.

KANG B. 1994. Cultivos en callejones: Logros y perspectivas. Agroforestería en Desarrollo. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH. Chapingo. Mexico. pp. 61-82

LEISA. 1997 En: Forjando asociaciones. Volumen 13 No. 2 p. 5.

MARSHALL, T.J., J.W. HOLMES, y C.W. ROSE. 1996. Soil Physics. 3rd. ed. Cambridge University Press. Cambridge.

MONTENEGRO, G.H.; MALAGÓN, C.D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá. Instituto Colombiano "Agustín Codazzi", Subdirección Agrológica. 813 p.

PERROUX, K. M. y WHITE I. 1988. Design for disc permeameters. Soil Sci. Am. J. 52. 1205-1215.

- PHILLIPS, R.E., y D. KIRKHAM. 1962. Mechanical impedance and corn seeding root growth. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:319-322.
- RAMIREZ, F. 1998. Muestreo de suelos para diagnóstico de fertilidad. ACSS. UCR. San José. Costa Rica. Plegable.
- ROJAS, A.; RIVERA, A.; SALAZAR, M. 2002. Estructura de costos de la crianza de novillas Holstein en la zona alta del Valle Central de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.
- RUBIO, G.; LAVADO, R. 1990. Efectos de alternativas de manejo pastoral sobre la densidad aparente de un Natracuulf. *Ciencia del Suelo*. Vol. 8 No 1. pp. 79-82.
- SANCHO, H. 1998. Curvas de Absorción de Nutrientes: Importancia y su uso en los programas de fertilización. *In: Memorias 1^{ER} Seminario Agrícola Internacional*. San José, Costa Rica. 117 p..
- SOSA, O.; MARTÍN, B; ZERPA, G; LAVADO, R. 1995. Acción del pisoteo de la hacienda sobre el suelo y la vegetación: Influencia de la altura del tapiz. *Rev. Arg. De Producción Animal*. 15 (1) 252-255.
- TABOADA, M.A. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4^o Simposio de Ganadería en Siembra Directa. Aapresid, Potrero de los Funes, San Luis. pp. 71-83.
- THOMPSON, P.; JANSE, I. y C.L.HOOKS. 1986. Penetrometer Resistance and Bulk Density as Parameters for Predicting Root System Performance in Mine Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol 51 pp.1288-1293.

TINDALL. J. A. y J. R. KUNKEL. 199. Unsaturated Zone Hydrology for Scientist and Engineers. Prentice Hall, New York.

USDA. 1992. Soil Survey laboratory methods manual. USA, USDA.

VARGAS, E; FONSECA H. 1989. Contenido Mineral y proteico de los forrajes. CR. Costa Rica. 217 p.