

Capítulo I

Calidad del suelo para la producción de forrajes en sistemas ganaderos

Judith Martínez Atencia, Emiro Suárez Paternina,
Jose Luis Rodriguez Vitola y Sergio Mejía Kerguelén

Introducción

La producción ganadera en la región Caribe colombiana ocupa el 51 % de su territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2017). Este sector juega un papel importante en la economía del país, debido a que el hato existente de esta región representa el 29,8 % del hato nacional (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017) y aporta el 40 % del volumen de leche fresca y el 38 % de carne con relación a la producción nacional. A pesar de la importancia que representa este renglón productivo en la economía nacional, el sector primario enfrenta limitantes que influyen en la competitividad y la sostenibilidad de los indicadores productivos.

Una de estas limitantes es la baja capacidad productiva de los suelos en la región, originada por actividades como sobrepastoreo, uso de labranza inadecuada y deforestación, entre otras. Estas limitantes traen consecuencias en el suelo, como pérdida de estructura, aumento de la compactación, baja capacidad de infiltración de agua, reducción de la actividad biológica, deficiente desarrollo de raíces en plantas y baja productividad del sistema. Unido a esto, en la región Caribe se presenta un periodo seco de cinco meses que agudiza más la problemática, ya que durante esta época la disponibilidad de forrajes en las praderas es deficiente para el sistema ganadero. Por ejemplo, *Dichanthium aristatum* en pastoreo en el valle del Sinú presenta reducciones hasta del 50 % en esta época (Cajas-Girón, 2002), y *Botriochloa pertusa*, bajo condiciones de pastoreo en las sabanas de Sucre, presenta reducciones del 54 % con relación al periodo lluvioso (Mejía et al., 2011; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2004).

El manejo de suelos en sistemas ganaderos busca implementar prácticas que contribuyen a mejorar los indicadores de calidad de suelo al disminuir la resistencia vertical y tangencial a la penetración de raíces, aumentar la velocidad de infiltración del agua, disminuir la densidad aparente del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes, como lo demuestran trabajos realizados por Cajas et al. (2010); Martínez, Cajas, Sánchez y Panza (2006); Cuesta et al. (2005) y Amézquita (2004). En este sentido, el análisis del balance de nutrientes en los agroecosistemas puede ser utilizado como una herramienta para incrementar el conocimiento del ciclo de nutrientes, como un indicador del rendimiento y como un instrumento para encaminar el manejo de los nutrientes en el sistema (Kanmegne, Smaling, Brussaard, Gansop-Kouomegne & Boukong, 2006). Por lo anterior, este capítulo revisa los principales componentes que influyen en la calidad del suelo para la producción de forraje en sistemas ganaderos del trópico.

Diagnóstico de calidad del suelo

Para tener un conocimiento real del estado del suelo es necesario realizar un diagnóstico que incluya la descripción de sus características físicas, químicas y biológicas, y que permita determinar el manejo adecuado para recuperar, mejorar y conservar sus propiedades integrales.

Con el diagnóstico se tendrá información sobre la fertilidad del suelo y se podrá determinar la cantidad de nutrientes que requiere la pastura, así como programar los planes de manejo de acuerdo con las limitantes encontradas en el diagnóstico.

Propiedades físicas

Las propiedades físicas se cuantifican a través del análisis de suelo disturbado (sin preservar su arreglo natural) para examinar la composición mineral y analizar la textura y la densidad de partículas, entre otras, o suelo sin disturbar (preservando su arreglo natural) para determinar la densidad aparente y la capacidad de almacenamiento y drenaje de agua, entre otras.

De acuerdo con el diagnóstico físico del suelo se selecciona el tipo de labranza adecuada, considerada como el conjunto de actividades que se deben realizar con el fin de darle al suelo las mejores condiciones para la germinación del cultivo y el posterior desarrollo de las raíces. Debe partir de un conocimiento de las características del suelo relacionadas con la susceptibilidad a la compactación, la intensidad de la mecanización, la disponibilidad de maquinaria apropiada y los rendimientos de las cosechas anteriores. Concretamente, se debe partir de un diagnóstico de las condiciones del suelo para decidir el tipo de labranza que se debe realizar. Cuando se toma la decisión de utilizar algún tipo de labranza se debe tener claridad de que esta se realiza para establecer pasturas por muchos años, ya que el manejo que se le siga dando a la pastura va a permitir su sostenibilidad a través del tiempo. Si el suelo no presenta limitaciones físicas en el perfil estructural se recomienda no intervenirlo, dado que su naturaleza le permite brindar a las plantas óptimas condiciones de flujo de aire, agua e intercambio de nutrientes, con la consiguiente disminución de los costos.

La condición física del suelo se puede determinar al diagnosticar propiedades como la *resistencia mecánica*, la cual indica el valor del esfuerzo que las raíces deben ejercer para penetrar en el suelo. Por ejemplo, 2 MPa es el valor considerado como máximo esfuerzo que las raíces de gramíneas son capaces de ejercer para penetrar en el suelo; esto quiere decir que si al examinar el suelo esta característica se encuentra con valores superiores a 2 MPa las raíces de las plantas difícilmente penetran el suelo. Lo anterior trae como consecuencia el poco desarrollo de las gramíneas en términos de cantidad y calidad del forraje. La resistencia a la penetración es un efecto combinado de varias propiedades, donde la densidad aparente, la textura, el contenido de humedad y la resistencia al corte son de las más importantes; estas propiedades, al momento de hacer la medida, no solo dependen de la estructura, sino de la composición general del suelo y del contenido de materia orgánica.

La resistencia mecánica a la penetración ha sido muy utilizada como un parámetro que describe el estado de compactación de suelo o las limitantes para el crecimiento de las raíces, lo cual se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del suelo de acuerdo con su resistencia mecánica

Resistencia mecánica del suelo (MPa)	Clasificación del suelo
0,8-1,5	Suficientemente blando
1,5-3,5	Con ligera restricción al crecimiento
3,5-5,0	Con alta restricción al crecimiento
>5,0	Con muy alta restricción al crecimiento

Fuente: Pla (1998)

De igual manera, la *velocidad de infiltración* de agua al suelo es otro indicador del estado físico del suelo. Esta variable indica la capacidad que tiene el suelo para permitir la entrada del agua. La disminución de la infiltración está asociada con una marcada disminución de los macroporos del suelo (poros mayores de 0,5 mm de diámetro). Las prácticas de labranza inadecuadas conducen a la disminución progresiva de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, produciendo encharcamientos que lo hace menos apto para el óptimo crecimiento de las plantas (Primavesi, 1982). En la tabla 2 se relacionan las clases de infiltración básica del suelo de acuerdo con su velocidad.

Tabla 2. Clasificación de la velocidad de infiltración básica del suelo

Clase	Valor (mm/hora)
Muy lenta	<2
Lenta	3-5
Moderadamente lenta	6-12
Moderada	13-30
Moderadamente rápida	31-60
Rápida	61-100
Muy rápida	101-200
Extremadamente rápida	>200

Fuente: Madriñan (1997)

En estudios realizados por Corpoica (2004) en la región Caribe colombiana para cuantificar el efecto de la renovación de praderas con implemento de labranza, se midió la velocidad de infiltración y la resistencia mecánica del suelo en la misma época (mayo) antes y un año después de haber realizado la renovación de praderas, que consistió en remover internamente el suelo en profundidad con

un cincel. La resistencia mecánica del suelo a la penetración se midió durante la época de lluvias, con contenido de humedad cercano a la capacidad de campo, lo cual permitió hacer comparaciones entre épocas usando el penetrógrafo Eijkelkamp y tomar los valores de las lecturas entre 0-75 cm de profundidad (figura 1). La infiltración se determinó por el método del doble cilindro de Lewis.



Foto: Judith Martínez.

Figura 1. Medición de la resistencia mecánica del suelo

Un año después de la renovación de esas praderas la resistencia mecánica del suelo a la penetración disminuyó en los primeros 47 cm de profundidad, con valores inferiores a los encontrados antes realizar la renovación con implemento de labranza (figura 2), es decir, inferiores a 2 MPa. A partir de los 47 cm de profundidad los valores de resistencia fueron similares a los medidos antes de la renovación, lo que sugiere un efecto hasta la profundidad de trabajo del implemento renovador de praderas.

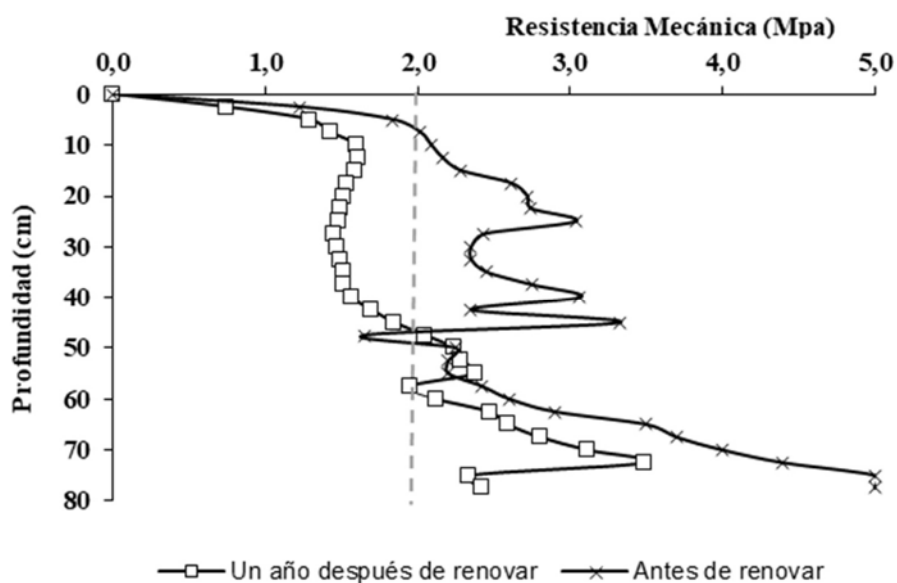


Figura 2. Resistencia del suelo a la penetración (MPa) antes y un año después de la renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas del departamento de Sucre

Fuente: Cajas-Girón, Martínez, Sánchez y Panza (2004)

Un año después de realizada la renovación de la pradera el suelo presentó una importante respuesta, expresada en cambios en la velocidad de infiltración que pasó de una condición moderada ($20,6 \text{ mm hora}^{-1}$) a una de rápida entrada de agua al suelo, con una infiltración básica de $81,3 \text{ mm hora}^{-1}$, muy por encima de la registrada antes de la renovación (figura 3).

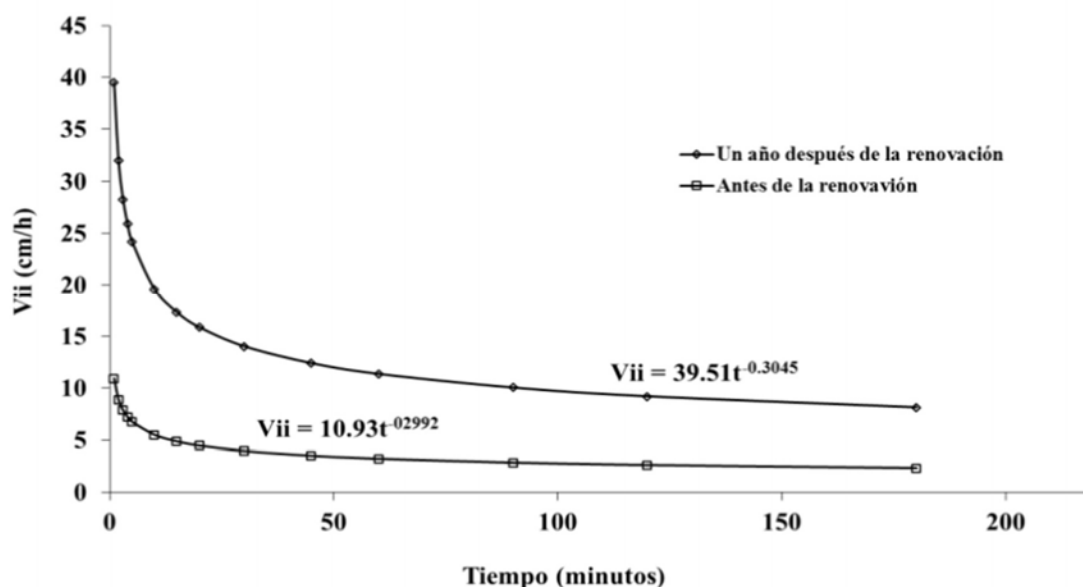


Figura 3. Velocidad de infiltración del agua al suelo antes y un año después de la renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas del departamento de Sucre.

Fuente: Cajas-Girón et al. (2004)

Existen otras variables físicas importantes para determinar el estado del suelo que requieren análisis de laboratorio, como, por ejemplo, la *densidad aparente* del suelo. Esta variable relaciona la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan, es decir, se incluye el espacio poroso existente entre las partículas sólidas. En general, cuanto mayor es esta variable, menor es el espacio poroso para el movimiento del agua, el crecimiento y la penetración de raíces y el desarrollo de las plantas. Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, que van desde la textura y el contenido de materia orgánica hasta el manejo que se le da al suelo. Los registros más bajos se obtienen en suelos orgánicos, con valores inferiores a 1,0 g.cm³ (Malagón & Montenegro, 1990).

La densidad aparente del suelo puede servir como indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. Las típicas densidades

aparentes del suelo fluctúan entre 1,0 y 1,7 g.cm³ y generalmente aumentan con la profundidad del perfil (Arshad, Lowery & Grossman, 1996).

En praderas estudiadas en la región Caribe colombiana (Corpoica, 2004), se observaron suelos con textura franco-arcillosa y densidades aparentes entre 1,30 y 1,37 g.cm³ en las praderas que incluían árboles o arbustos, mientras que en las praderas de solo gramíneas la densidad aparente del suelo exhibió valores superiores a 1,5 g.cm³. Teniendo en cuenta los límites de restricción de esta variable con respecto a la textura, mostrados en la tabla 3, estas praderas con árboles y arbustos se encuentran en el límite óptimo de densidad aparente de acuerdo con su textura.

Tabla 3. Densidad aparente del suelo según su clase textural

Clase textural	Densidad aparente (g.cm ³)
Arenoso	1,60-1,70
Franco arenoso	1,50-1,60
Franco, franco limoso	1,30-1,50
Franco arcilloso	1,20-1,30
Arcilloso	1,10-1,20

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1999)

Propiedades químicas

La caracterización química requiere de análisis de laboratorio y es necesario tomar muestras de suelo que sean representativas del área de estudio para lograr una apropiada recomendación del manejo requerido. El análisis de suelo determina:

- La cantidad de elementos nutricionales presentes en este.
- Los planes adecuados para el uso y la explotación de la tierra.

Toma de muestra de suelo

La toma de muestras para el análisis químico del suelo tiene tanta importancia como la exactitud de la interpretación de sus resultados. Una muestra de suelo debe incluir submuestras representativas del área de interés; estas deben

tomarse por lo menos una vez cada dos años, lo cual indicará el dinamismo que se viene dando en el suelo de acuerdo con el manejo implementado y los ajustes que deban darse.

Se recomienda realizar el análisis a profundidades de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm. Las submuestras pueden ser tomadas con barreno holandés o, en su defecto, con pala, para lo cual se excava un hueco de 30 x 30 cm hasta la profundidad de submuestreo, donde se saca una tajada vertical de 3 a 5 cm de espesor de una de las paredes del hueco. Cuando el suelo se encuentra sobre la pala se cortan los bordes, se deja una tajada de unos 3 a 5 cm de ancho y se eliminan los residuos vegetales de la parte superior, se deposita en un balde y se sigue con el resto del submuestreo, de donde finalmente se saca un kilogramo de suelo, de cada profundidad, y se deposita en una bolsa plástica que debe ir marcada con el nombre de la finca, el nombre del interesado, el nombre del lugar, la fecha de toma de la muestra, el cultivo a establecer, los cultivos anteriores, la pendiente del terreno y el clima.

El análisis químico puede ser de fertilidad, con el que se pueden determinar las carencias o las deficiencias de nutrientes que presente el suelo; otros tipos de análisis más detallados y específicos son los de caracterización, completo y de salinidad, este último cuando se presume que el suelo tiene problemas de este tipo. La fertilización consiste en mantener el suelo con un nivel óptimo de reservas minerales y orgánicas que garanticen la adecuada nutrición de las plantas en el momento oportuno.

Recuperación de praderas degradadas

Como respuesta a los procesos de degradación de suelos, se evidencia la baja calidad y disponibilidad de forraje de las gramíneas en las praderas. En ese proceso, la pastura pierde vigor, productividad y capacidad de recuperación natural después del pastoreo o de periodos intensos de sequía. Las prácticas de recuperación y manejo de praderas a implementar dependerán del tipo y el grado de la limitante que presente el conjunto suelo-pradera.

Las prácticas para la recuperación de praderas degradadas incluyen:

1. Tratamientos físico-mecánicos, cuyo objetivo es descompactar y mejorar las condiciones físicas del suelo al aumentar la infiltración del agua, mejorar la aireación ayudando al mejor desarrollo de las raíces y favorecer la mineralización de la materia orgánica, liberando nutrientes al suelo.
2. Fertilización de mantenimiento, sin alteración mecánica del suelo, cuando la limitante es solo por fertilidad. En este caso, el suelo no presenta limitaciones físicas en el perfil estructural, lo cual le permite brindar a las plantas óptimas condiciones de flujo de aire, agua e intercambio de nutrientes, con la consiguiente disminución de los costos e intensidad del tráfico de maquinaria en las praderas (Cajas et al., 2010; Martínez et al., 2006 y Amézquita, 2004).
3. Esta recuperación de praderas también puede realizarse en sistemas ganaderos ya que no se utilizan herbicidas, fertilizantes químicos e insecticidas, lo que conlleva el resurgimiento de árboles, arbustos, arvenses de hoja ancha, leguminosas nativas, micro, meso y macro organismos que interactúan con la pastura y los bovinos, combinado así sistemas de pastoreo donde grupos de animales se concentran en áreas pequeñas durante muy cortos periodos de tiempo (no es sobrepastoreo), lo cual favorece la infiltración de agua y aire por el pisoteo, las galerías o los túneles realizados por las raíces y la fauna del suelo, que aporta grandes volúmenes de bosta y orina que van mejorando a través del tiempo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Indicadores de calidad de suelos

Los indicadores de calidad del suelo son parámetros de su dimensión física, química y biológica. Estos parámetros requieren ser medidos con el fin de conocer la salud o la calidad de este, para orientar un adecuado establecimiento y manejo de pasturas.

Investigaciones realizadas por Amézquita (2004) permitieron obtener algunos indicadores físicos para definir la calidad del suelo. La porosidad, por ejemplo, debe tener valores cercanos al 50 %, con una buena distribución de macroporos

($\pm 18\%$), mesoporos ($\pm 25\%$) y microporos ($\pm 12\%$) para garantizar condiciones adecuadas de humedad del suelo. La resistencia mecánica a la penetración debe presentar valores menores a 2 MPa, lo cual permite que la presión ejercida por las raíces sea óptima para su crecimiento y desarrollo. El suelo debe poseer un nivel adecuado de todos los elementos nutritivos en formas disponibles y una buena capacidad de restitución. El contenido de material orgánico debe presentar valores mayores o iguales al 5% con el objeto de equilibrar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Materia orgánica del suelo y reciclaje de nutrientes

La materia orgánica del suelo es el resultado de acciones de meso y microorganismos sobre los residuos vegetales y animales depositados sobre él. Estas acciones corresponden a procesos degradativos de los residuos como mecanismo para obtener la energía y los nutrientes requeridos para sus funciones metabólicas. Cuando los microorganismos degradan estos residuos, el carbono contenido en ellos es transformado en CO_2 o incorporado a la biomasa y una pequeña porción se mantiene relativamente estable en el suelo como materia orgánica.

Los residuos orgánicos descompuestos por actividad biológica se constituyen en una fuente de nutrientes aprovechables para las plantas (NO_3^- , SO_4^- , H_2PO_4^-). Los nutrientes contenidos en estos residuos y su liberación dependen de las características de la especie que los origina, de su composición química, de las condiciones edafoclimáticas, del manejo del cultivo y de la actividad de microorganismos (Kaushal & Verma, 2003). Adicionalmente, en este proceso se mejoran las propiedades físicas del suelo, como agregación, aireación, permeabilidad y capacidad de retención de humedad, entre otras (Burgos, Madejon & Cabrera, 2002).

La materia orgánica del suelo puede estar en forma estable, es decir, como una reserva de nutrientes que la planta podría usar en el largo plazo, o en forma lábil o libre, donde los nutrientes son fácilmente disponibles para la planta. La fracción lábil favorece la estabilidad estructural del suelo y la actividad de los

microorganismos que en él se encuentran; sin embargo, sus componentes son muy sensibles a las alteraciones o prácticas de manejo que se realicen en el sistema.

Retorno de nutrientes por residuos vegetales

La cantidad de residuos orgánicos aportados vía hojarasca depende del tipo de vegetación. Osorio (2014) reporta que los aportes de hojarasca en sistemas agrícolas varían entre 500 y 5.000 kg ha⁻¹año⁻¹. En sistemas de solo pasturas, este aporte está alrededor de 800 kg ha⁻¹año⁻¹, y en sistemas de pasturas con árboles está cerca a los 3.200 kg ha⁻¹año⁻¹ (Martínez, 2013).

En los sistemas ganaderos el aporte de residuos vegetales proviene principalmente de raíces muertas, de hojas maduras de la pastura y de los árboles y arbustos que se encuentran en el potrero, incluyendo, en este caso, las ramas, las flores y los frutos que caen al suelo y que comúnmente se denominan hojarasca. Esta hojarasca es transformada por los organismos del suelo en nutrientes que utiliza la pastura para su desarrollo y para el mejoramiento de la calidad del suelo (figura 4).

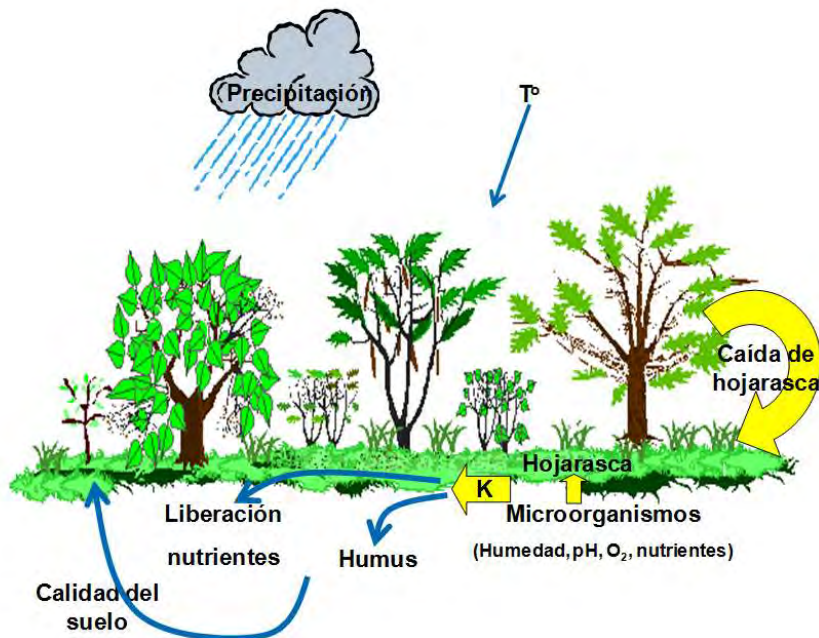


Figura 4. Modelo conceptual del retorno de nutrientes al suelo en sistemas con árboles.

Fuente: Martínez, J. (2013)

Bajo condiciones del valle medio del río Sinú, Martínez (2013) evaluó la producción de hojarasca de gramíneas en monocultivo y gramíneas con árboles en pastoreo rotacional, en sistemas de 13 años de establecidos y sin aplicación de fertilizantes de síntesis química. Encontró que en el monocultivo la cantidad de hojarasca producida por la gramínea y depositada sobre el suelo fue de $770 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y el retorno potencial de nutrientes al suelo producido durante un año fue de $6,8 \text{ kg/ha}$ de nitrógeno, $5,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de calcio, $3,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de potasio, $2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de magnesio y $1,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fósforo. En las gramíneas con árboles, la producción de hojarasca osciló entre 2.877 y $3.148 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y el retorno potencial de nutrientes por hojarasca de árboles y gramíneas en un año fue de 74 kg ha^{-1} de nitrógeno, $2,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo, $12,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de potasio, $6,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de magnesio y $40,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de calcio.

Lo anterior se evidenció con los valores de los indicadores de calidad de suelo que se registraron en praderas con gramíneas en monocultivo, tales como

fósforo disponible inferior a 10 mg kg^{-1} , potasio intercambiable $0,83 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, calcio intercambiable $10,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y 9 % de materia orgánica del suelo. En contraste, en las praderas con gramíneas y árboles el fósforo disponible en el suelo registró valores entre 20 y 27 mg kg^{-1} , potasio intercambiable $1,44 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, calcio intercambiable $14,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y 10 % de materia orgánica (Martínez, Cajas, León & Osorio, 2014).

Retorno de nutrientes por excretas y hojarasca

La fertilidad de las pasturas está directamente influenciada por la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta-animal, donde los animales en pastoreo juegan un papel importante (Haynes & Williams, 1993; Vendramini et al., 2014). La mayoría de las estimaciones indican que alrededor del 25 % de nitrógeno (N), el 20 % de fósforo (P) y el 15 % de potasio (K) contenidos en los forrajes consumidos por bovinos en pastoreo son retenidos en diversos procesos metabólicos de su organismo. Esto significa que alrededor del 75 % de N, el 80 % de P y el 85 % de K pasan a través del animal y son excretados en orina y heces (Barrow, 1987; Wells & Dougherty, 1997).

Para determinar la forma en que se produce el reciclaje de nutrientes en los sistemas ganaderos, inicialmente se debe conocer la frecuencia con que los bovinos excretan diariamente, así como el área del potrero que logran cubrir. Por lo regular, cada bovino realiza al día entre 10 y 13 defecaciones, las cuales cubren un área de $0,929 \text{ m}^2$ a 2 m^2 . Por otra parte, un bovino puede efectuar 8 a 12 micciones, que cubren $3,8 \text{ m}^2$ (Whitehead, 1995; Wells & Dougherty, 1997; Rodríguez, Crespo, Torres & Fraga, 2005; Crespo, Rodríguez & Lok, 2015). De igual forma, Crespo et al. (2015) estimaron que el peso por bosta de $1,72 \text{ kg}$ (húmeda) equivale a un peso total de $22,3 \text{ kg animal/día}$. Sin embargo, las producciones de heces pueden afectarse por los factores que rigen el consumo animal y, por tanto, están asociadas a la cantidad de alimento consumido (Sugimoto, Ball & Theobald, 1992).

Cada punto de micción produce una aplicación de nitrógeno equivalente a $600-1.200 \text{ kg.ha}^{-1}$, mientras que cada defecación representa una aplicación de

nitrógeno de 250 a 860 kg.ha⁻¹ (Lory & Roberts, 2000). Los parches de orina y heces son las áreas donde los nutrientes son reciclados de las excretas al suelo y de este a las plantas de la pradera. Aunque estas excretas pueden cubrir solo del 30 al 40 % de la superficie de pasto anualmente, el alto aporte de nutrientes estimula el crecimiento de las plantas y puede representar hasta el 70 % de la producción anual total de las pasturas (Lory & Roberts, 2000). El área que cubren las excretas puede incrementarse utilizando sistemas de pastoreo que concentran grupos grandes de animales en pequeñas áreas por cortos periodos de tiempo, que pueden ser algunas horas, sin sobrepastorear la pastura, lo que conduce a tener forrajes más uniformes y de mayor producción por ha.

Parte de estos nutrientes pueden salir del sistema en forma gaseosa o lixiviados, por lo que en un sistema eficiente estas salidas (pérdidas) serán menores y menor será el requerimiento de fertilizantes para el mantenimiento del sistema. Las emisiones de amoníaco (NH₃) procedentes de las excretas del ganado (orina y heces) están alrededor del 20 % de la ingesta de N y del 23 % de N excretado, con mayores emisiones por orina que por heces (Laubach et al., 2013).

La cantidad de nutrientes en heces y orina puede variar dependiendo del contenido de nutrientes de la dieta (Barrow, 1987). Del mismo modo, el contenido de nutrientes en heces y orina puede variar entre animales que pastorean los mismos pastos y entre animales en diferentes momentos del mismo día (Hutton, Jury & Davies, 1965; 1967; Paquay, De Baere & Lousse, 1970; Betteridge, Andrewes & Sedcole, 1986; Groenwold & Keuning, 1988). Gran parte de esta variabilidad está relacionada con las diferencias entre los animales y entre la frecuencia diaria y el volumen de la orina y heces excretadas. Betteridge et al. (1986) reportan el retorno de N, K y P vía excretas de novillos en pastoreo en praderas de alta calidad, y anotan que la excreción urinaria de N y K se elevó entre 81 y 137 g día⁻¹ y entre 58 y 90 g día⁻¹ respectivamente. Las concentraciones de N y K en orina fueron más altas durante la noche que durante el día. Del mismo modo, el contenido de nutrientes (N, K y P) en heces varió entre 36-62 g día⁻¹, 12-46 g día⁻¹ y 10-23 g día⁻¹ respectivamente.

Al implementar altas cargas de animales en sistemas de pastoreo se genera un aspecto positivo debido al volumen de excretas depositadas por los animales en

las praderas, lo cual puede mejorar los contenidos de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo (Crespo et al., 2015). En cuanto al aporte de materia orgánica al suelo mediante las bostas, Reyes, Vidal, González, González y Fonte (2003) reportaron una mayor producción de materia orgánica hectárea año en sistemas con intensidades altas.

Cabe mencionar que hay otros factores que influyen en la distribución de las excretas de los animales en las praderas, tales como la sombra de los árboles, los saladeros, el horario de pastoreo, las fuentes de agua y los sitios de suministro de alimentos suplementarios, entre otros.

En Colombia, bajo las condiciones del valle del Sinú, al implementarse una carga de 4 animales.ha⁻¹ en praderas de *Megathyrus maximus* se estimó una producción de 32,8 toneladas de bosta húmeda.ha⁻¹.año⁻¹ equivalente a 5,25 toneladas de MS, las cuales pueden aportar al suelo 78, 63 y 79 kg de N, P y K por ha⁻¹.año⁻¹ respectivamente. De igual forma, utilizando la misma carga animal se pueden producir 17.520 L de orina ha⁻¹.año⁻¹, y si se considera que en la orina de los bovinos la concentración de N, P y K puede ser de 1,10, 0,01 y 1,15 % respectivamente, la orina puede aportar al suelo 192, 17 y 262 kg de N, P y K por ha⁻¹.año⁻¹ (datos estimados por los autores). Por otra parte, al considerar los resultados expuestos por Martínez (2013), el aporte de nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca de árboles dispersos, arbustos y material senescente de las gramíneas en sistemas ganaderos de producción de carne en el valle del Sinú puede contribuir con 37, 1,45 y 6,3 kg ha⁻¹.año⁻¹ de N, P y K respectivamente. En este sentido, si se asume un 20 % de pérdidas de nutrientes en excretas y un 50 % en la descomposición de hojarasca, las entradas potenciales de nutrientes al sistema están alrededor de 304, 95 y 347 kg ha⁻¹.año⁻¹ de N, P y K respectivamente, provenientes de la descomposición de la hojarasca de árboles dispersos, del material senescente de las gramíneas y de las excretas (orina y heces) de los bovinos (datos estimados por los autores). Otro aspecto por considerar en los sistemas de producción es la salida de nutrientes, que en los sistemas ganaderos está representada por la producción de leche o carne (Abbona, Presutti, Vázquez & Sarandón, 2016). En este orden de ideas, al considerar que un bovino destinado a sacrificio pesa en promedio 450 kg y que su equivalente en carne, hueso, sangre y contenido ruminal puede ser del 70, 10,

8 y 5 % de su peso respectivamente (Garris, 2000; Torrescano, Sánchez, Vásquez, Paz & Pardo, 2010), estos tejidos o fluidos, en términos de N, P y K, pueden contener en la carne un 50, 3,84 y 0,59 %; en hueso, 15 y 10 % de P y K; en sangre, 87, 0,21 y 0,25 % de N, P y K, y en el contenido ruminal, un 6 y 3 % de N y cenizas respectivamente. Con base en esto, la salida de nutrientes en sistemas ganaderos de carne, con una carga de 4 animales por ha⁻¹, está alrededor de 179, 50,3 y 20 kg ha⁻¹.año⁻¹ de N, P y K respectivamente (datos estimados por los autores).

Al considerar la diferencia entre las entradas y las salidas de nutrientes en estos sistemas ganaderos, se genera un balance potencial positivo por unidad de superficie al año (figura 5). Adicionalmente, el aporte de nutrientes por las excretas de los bovinos genera efectos favorables en la productividad de las praderas, como también la descomposición de la hojarasca y material senescente de las pasturas (Martínez, 2013); así, la conversión eficiente del pasto en carne o leche agrega sostenibilidad a los sistemas de producción (Clark et al., 2005).

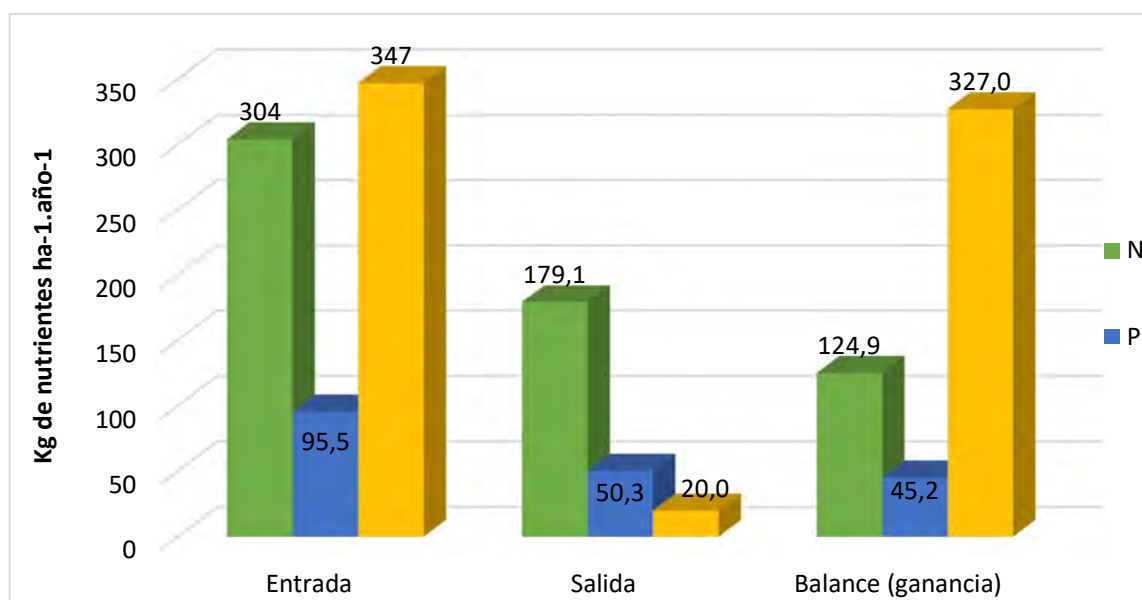


Figura 5. Balance potencial de nutrientes en un sistema ganadero de carne en el valle del Sinú

Fuente: Elaboración propia.

Fijación de nitrógeno al suelo por tormentas eléctricas

Es la forma de fijación espontánea del nitrógeno al suelo. En este proceso, las descargas eléctricas de tormentas, la radiación ultravioleta, los rayos cósmicos, los meteoritos, los combustibles industriales y los incendios proporcionan la energía para que se rompan las moléculas de nitrógeno y sus átomos se combinen con el oxígeno del aire para formar óxidos de nitrógeno. Con la lluvia, estos óxidos de nitrógeno forman nitratos y son arrastrados al suelo. La fijación atmosférica de nitrógeno probablemente aporte alrededor del 5 al 8 % del nitrógeno total fijado (Rodríguez, Sevillano & Subramaniam, 1985).

El estado de pérdidas y ganancias del nitrógeno del suelo está determinado por el clima, el tipo de suelo y las actividades agropecuarias, entre otros. El suelo gana nitrógeno mediante la fijación espontánea o fijación por tormentas eléctricas y por fijación biológica, en la que el nitrógeno atmosférico pasa a amoníaco por acción de microorganismos especializados en este proceso, y por la entrada de nitrógeno en fertilizantes de síntesis química (Rodríguez et al., 1985; James, 2017). La fijación de nitrógeno en la biosfera se estima en unos 275 millones de Tm anuales, de los cuales 175 corresponden a la fijación biológica, 70 a fertilización química y 30 a la espontánea. Las pérdidas de nitrógeno se dan por varias vías: desnitrificación, lavado de nitratos, volatilización de amoníaco y, en suelos cultivados, por la salida del nitrógeno contenido en tejidos de productos de cosecha.

Referencias

Abbona, E., Presutti, M., Vázquez, M. & Sarandón, S. (2016). Los sistemas de producción de carne y leche bovina en la Provincia de Buenos Aires ¿conservan los nutrientes del suelo? *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 115(2), 251-263.

- Amézquita, E. (2004, 20-22 octubre). Indicadores de respuesta: capa arable y árboles de decisión. En *Taller Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo. Conceptos y principios aplicados a la evaluación de la degradación de las tierras*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia.
- Arshad, M. A., Lowery, B. & Grossman, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. En J. W. Doran y A. J. Jones (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 123-141). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Barrow, N. J. (1987). Return of nutrients by animals. En R. W. Snaydon (ed.), *Managed grasslands, analytical studies* (pp 181-186). Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Betteridge, K., Andrewes, W. G. K. & Sedcole, J. R. (1986). Intake and excretion of nitrogen, potassium and phosphorus by grazing steers. *Journal of Agricultural Science*, 106(2), 393-404.
- Burgos, P., Madejon, E. & Cabrera, F. (2002). Changes in soil organic matter, enzymatic activities and heavy metal availability induced by application of organic residues. En A. Violante, P. Huang, M. Bollag & L. Gianfreda (Eds.), *Ecological Significance of the Interactions among Clay Minerals, Organic Matter and Soil Biota* (pp. 346-353). Ámsterdam, Holanda: Elsevier.
- Cajas, Y. S., Amézquita, E., Lascano, C., Arguelles, J., Abuabara, Y., Martínez, J. ... Barragán, W. (2010). *Implementación y difusión de tecnologías para rehabilitación de praderas degradadas en el sistema de producción de carne en los departamentos de Córdoba, Sucre y Atlántico*. [Informe final]. Cereté, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Cajas-Girón, Y. S. (2002). Impacts of tree diversity on the productivity of silvopastoral systems in seasonally dry areas of Colombia (Tesis doctoral). University of Wales, Cardiff, Gales.
- Cajas-Girón, Y. S., Martínez, J., Sánchez, C. & Panza B. D. (2004). *Desarrollo e implementación de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas ganaderos de doble propósito en las Sabanas de Córdoba y Sucre* [Informe final]. Cereté, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Clark, L. J., Growing, D. J. G., Lark, R. M., Leeds-Harrison, A. B., Miller, A. J., Wells, D. M. & Whalley, W. C. (2005). Sensing the physical and nutritional status of the root environments in the field: a review of progress and opportunities. *The Journal of Agricultural Science*, 143(5), 347-358. doi: 10.1017/S0021859605005253.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2004). *Primer informe de avances de resultados proyecto: "Estrategias de innovación tecnológica para mejorar la competitividad y sostenibilidad de los sistemas de producción bovina en Sabanas de Sucre"*. Cereté, Colombia: autor.
- Crespo, I. G., Rodríguez, S. L. & Lok, S. (2015). Contribución al estudio de la fertilidad del suelo y su relación con la producción de pastos y forrajes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(2), 211-219. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193039698011>.
- Cuesta, P. A., Mateus, E., Barros, H., Cajas, Y., Martínez, J. & Sánchez, C. (2005). Estrategias de manejo de praderas para mejorar la productividad de la ganadería en las regiones Caribe y Valles Interandinos. En P. A. Cuesta (Ed.), *Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y Valles Interandinos* (pp. 43-66). Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf.
- Groenwold, J., & Keuning, J. A. (1988). *Relation between composition of cow urine and the occurrence of urine scorching patches in grassland*. Wageningen, Holanda: Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek.
- Garris, A. C. (2000). *Subproductos ganaderos: huesos*. ITA. INTA. Castelar *Convenio INTA/CCDH - CCDH 13(110)*. Recuperado de <https://docplayer.es/68441219-Subproductos-ganaderos-huesos.html>.
- Haynes, R. J., & Williams, P. H. (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49(8), 119-199. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60794-4.

- Hutton, J. B., Jury, K. E. & Davies, E. B. (1965). Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. IV. The intake and utilization of magnesium in pasture herbage by lactating dairy cattle. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 8(3), 479-496.
- Hutton, J. B., Jury, K. E. & Davies, E. B. (1967). Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. V. The intake and utilization of potassium, sodium, calcium, phosphorus and nitrogen in pasture herbage by lactating dairy cattle. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 10(3-4), 367-388.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Censo Pecuario Nacional 2017*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Pecuaria/Servicios/Epidemiologia-Veterinaria/Censos-2016/Censo-2017.aspx>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). *La extralimitada ganadería en la región Caribe*. Recuperado de <http://noticias.igac.gov.co/es/contenido/la-extralimitada-ganaderia-en-la-region-caribe>.
- James, E. K. (2017). Nitrogen Fixation. En B. Thomas, B. G. Murray & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Science* (pp. 271-277). Amsterdam, Holanda: Elsevier Academic Press.
- Kanmegne, J., Smaling, E. M. A., Brussaard, L., Gansop-Kouomegne, A. & Boukong, A. (2006). Nutrient flows in smallholder production systems in the humid forest zone of southern Cameroon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76(2-3), 233-248.
- Kaushal, R. & Verma, K. S. (2003). *Leaf litter decomposition in different agroforestry tree species as influenced by climatic variables and substrate quality*. Trabajo presentado en el XII World Forestry Congress, Quebec, Canada.
- Laubach, J., Taghizadeh-Toosi, A., Gibbs, S. J., Sherlock, R. R., Kelliher, F. M., & Grover, S. S. P. (2013). Ammonia emissions from cattle urine and dung excreted on pasture. *Biogeosciences*, 10, 327-338. Recuperado de <https://www.biogeosciences.net/10/327/2013/>.
- Lory, J. & Roberts, C. (2000). Managing nutrients in pastures to improve profitability and water quality. En G. J. Bishop-Hurley, S. A. Hamilton y R. Kallenbach (Eds.) *Missouri Dairy Grazing Manual* (MU Ext. Publ. M168, pp. 89-98). University of Missouri, Columbia, MO, Estados Unidos.

- Madriñan, R. (1997). *Manual de prácticas de laboratorio de física de suelos*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Malagón, D. & Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Martínez, J. (2013). *Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del río Sinú*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.
- Martínez, J., Cajas, Y. S., León, J. D. & Osorio, N. W. (2014). Silvopastoral Systems Enhance Soil Quality in Grasslands of Colombia. *Applied and Environmental Soil Science*, ID 359736. Doi:10.1155/2014/359736
- Martínez, J., Cajas, Y., Sánchez, C. & Panza, B. (2006, octubre). *Renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas de la región Caribe colombiana*. Trabajo presentado en el XIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. La sostenibilidad del suelo y la competitividad agrícola. Bogotá, Colombia.
- Mejía, S., Reza, S., Argel, P., Lascano, C., Cuadrado, H., Rivero, T. ... Mojica, E. (2011). *Alternativas de manejo de pasturas de Colosuana o Kikuyina (Bothriochloa pertusa) en sistemas ganaderos del trópico bajo*. [Informe final]. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico* (2ª ed). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pla, I. (1998). Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. En A. Rodríguez, C. Jiménez & M. L. Tejedor (Eds.), *The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures* (pp. 395-412). Logroño, España: Geoforma.
- Paquay, R., De Baere, R. & Lousse, A. (1970). Statistical research on the fate of water in the adult cow. I. Dry cows. *Journal of Agricultural Science*, 74(3), 423-432.
- Primavesi, A. (1982). *Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales*. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.

- Reyes, J. J., Vidal, I., González, M., González, R. M. & Fonte, D. (2003). Efecto de dos intensidades de pastoreo en el método rotacional con ganado lechero. Reciclado de nutrientes al suelo por las excreciones de vacas lecheras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(2), 163-168. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018061010>
- Rodríguez, I., Crespo, G., Torres, V. & Fraga, S. (2005). Effect of the dung patches and the urine on the chemical composition of the pasture and their effect on the soil under grazing conditions or not. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 39(3), 341-350.
- Rodríguez, C., Sevillano, F. & Subramaniam, P. (1985). *La fijación de nitrógeno atmosférico. Una biotecnología en la producción agraria*. Salamanca, España: Centro de Edafología y Biología Aplicada.
- Sugimoto, M., Ball, R. R. & Theobald, P. W. (1992). Dynamics of nitrogen in cattle dung on pasture under different seasonal conditions. I. Breakdown of dung and volatilization of ammonia. *Japanese Journal of Grassland Science*, 38(2), 160-161.
- Torrescano, G., Sánchez, A., Vásquez, M., Paz, R. & Pardo, D. A. (2010). Caracterización de canales y de carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 157-168.
- Vendramini, J. M., Sollenberger, L. E., Soares, A. B., Silva, W. L., Sánchez, J. M., Valente ... Mullenix, M. K. (2014). Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of brachiaria grass hybrids in Florida. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales*, 2, 197-206. Recuperado de <http://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/viewFile/183/123>.
- Wells, K. L. & Dougherty, C. T. (1997) Soil Management for Intensive Grazing. *Soil Science News and Views*, 18(2), s. p. Recuperado de <http://www.uky.edu/Ag/Agronomy/Extension/ssnv/ssv182.htm>.
- Whitehead, D. C. (1995). *Grassland Nitrogen*. Wallingford, Inglaterra: CAB International.