

Balance forrajero, de energía y nitrógeno en pastizales arborizados con Algarrobo (*Prosopis juliflora* (S.W.) DC.) bajo pastoreo de vacas lecheras

*Alex J. Roca Cedeño**; *Paola J. Lascano Armas***; *Cristian N. Arcos Álvarez***; *Nancy M. Cueva Salazar***; *Elsa J. Molina Molina***; *Lino M. Curbelo Rodríguez*****; *Raúl V. Guevara Viera****; *Guillermo E. Guevara Viera****; *Francisco Hernán Chancusig***; *Carlos S. Torres Inga****; *Pedro E. Nieto Escandón****; *Guillermo V. Serpa García****

* **Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, MFL, Sitio El Limón, Calceta, República del Ecuador**

** **Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (UA-CAREN), Carrera de Medicina Veterinaria, Universidad Técnica de Cotopaxi, República del Ecuador**

*** **Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Cuenca, Campus Yanuncay, Azuay, República del Ecuador**

**** **Centro de Estudios para el Desarrollo de la Producción Animal (CEDEPA), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey, Cuba**

rguevaraviera@yahoo.es

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la arborización de pastizales con Algarrobo (*Prosopis juliflora* (S.W.) DC. en los balances forrajero, de nitrógeno y energía en fincas ganaderas con vacas lecheras en Ecuador. El trabajo se hizo en el Hato bovino de la ESPAM, situado a 15 msnm en Manabí, a los 00°49'23" de Latitud Sur y 80°11'01" de Longitud Oeste y 962,4 mm de lluvia anual, entre septiembre de 2011 y diciembre de 2014. La carga fue de 1,09 UGM/ha. Las áreas tenían arborización de 1-4 árboles de Algarrobo/ha en 2011 y 8-35 árboles/ha en 2014. Se realizaron balances forrajeros, de nitrógeno y energía en función de la arborización. Los balances fueron de 21 t de MS en 2011 frente a 52 t en 2014. Los balances de N₂ fueron favorables con el incremento de la arborización entre el año 2011 con 60,9 kg/ha con mayores ingresos del nutriente por insumos extras y 39,3 kg/ha en 2014 con menos ingresos de N₂ por balanceados y fertilizantes minerales y dependió más del aporte de N₂ por la arborización. El balance de energía fue mejor en 2014 con incremento en las poblaciones/ha de Algarrobo. El incremento de árboles/ha en 2014, favoreció los rendimientos de forrajes del sistema con mejoras en la eficiencia de uso del N₂ y la energía, lo que está ligado a beneficios en el pastizal, los aportes de nitrógeno al ecosistema ganadero y reducción de alimentos y fertilizantes que favoreció su economía energética.

Palabras clave: *árboles, pastizales, ganadería, energía, nitrógeno*

Nitrogen-Energy Balance in Algarroba (*Prosopis juliflora* (S.W.) DC.) Arborized Grasslands with Grazing Dairy Cows

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effect of Algarroba (*Prosopis juliflora* (S.W.) DC.) trees on nitrogen-energy forage contents, on Ecuadorian dairy farms grasslands. The study was made at ESPAM bovine facility, 15 meters above sea level, in Manabí, 00°49'23", south latitude, and 80°11'01" west longitude, with 962.4 mm annual precipitation, between September 2011 and December 2014. The stocking rate was 1.09 LU/ha. There were 1-4 algarroba trees/ha by 2011, and 8-35 trees/ha, in 2014. Evaluations of forage nitrogen and energy were based on the effects of arborization. As a result, 52 t of DM were estimated in 2014, in comparison to the 21 t of 2011. Nitrogen was higher with increased arborization between 2011 (60.9 kg/ha), with greater nutrient intake from external sources, and 2014 (39.3 kg/ha), with less input of supplements and mineral fertilizers, and greater N₂ contribution by arborization. Energy was higher in 2014, with an increase in algarroba population/ha. The increase of trees/ha favored forage yields, with improved N₂ and energy efficiency, which was linked to the benefits acquired by the grassland, the contribution of livestock to the ecosystem, and the reduction in feeds and fertilizers.

Key words: *trees, grasslands, livestock, energy, nitrogen*

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la ganadería de trópico bajo, es importante reconocer la gran atención para las tierras de pastizales, no solo debido a su enorme extensión planetaria, sino que con el empleo de la arborización en forma racional y científica, su situación de deterioro y limitada resiliencia en la respuesta frente a factores de sequía y desertificación puede ser resuelta, con lo cual aumentaría su potencial para secuestrar y almacenar carbono a la vez que sostiene la actividad agro-silvopastoril y la obtención de recursos vitales al hombre (Morales y Sarmiento, 2008; Reyes, 2010; Ulf, 2012; Altieri y Funes-Monzote, 2012).

El bajo nivel proteico de las especies de gramíneas pratenses y poca persistencia y rendimiento de leguminosas nativas es en gran medida uno de los problemas que se debe solucionar, según indica Ruiz *et al.* (2014) que se puede superar con el uso de especies adaptadas de géneros de leguminosas mejoradas como *Acacia*, *Bauhinia*, *Cratylia*, *Calliandra*, *Gliricidia*, *Leucaena* y *Prosopis*, entre otras con mayores tenores proteicos y su triple condición de aportadoras de materia orgánica, nitrógeno y otros nutrientes al suelo, favorecer el incremento de proteína de la gramínea y de la dieta animal (CIAT, 2012; Milera, 2013).

CIAT (2012) y Altieri y Funes Monzote (2012) proponen como medidas posibles de conservación los cultivos múltiples, dentro de los cuales está la agrosilvicultura por los beneficios del manejo de arbustivas para los pastizales. En varios trabajos se evaluaron las posibles producciones logradas por vaca/día en un rango entre 8 y 14 kg con bancos de proteína de leguminosas arbustivas como la *Leucaena* cv Perú y cv Australia con gramíneas de los géneros *Panicum*, *Cynodon*, *Chloris* y *Pennisetum*, donde las leguminosas ocupan entre 20 y 50 % del área de las fincas (Milera, 2013; Ruiz *et al.*, 2014). En este sentido, el objetivo del estudio fue evaluar el papel del grado de arborización con Algarrobo (*Prosopis juliflora* (SW) DC.) en los balances forrajero, de nitrógeno y energía de pastizales con vacas lecheras en el trópico bajo de Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios de balances se realizaron en la unidad de docencia, investigación y vinculación (UDIV) Hato bovino de la Escuela Superior Poli-

técnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM MFL) situada a 15 m s n m, en el sitio El Limón parroquia Calceta, cantón Bolívar provincia de Manabí, a 00°49'23" de latitud sur 80°11'01" de longitud oeste. Este sitio tiene los siguientes datos de índices meteorológicos:

Precipitación media anual	962,4 mm
Temperatura media anual	25° C
Humedad relativa anual	87 %
Heliofanía anual	1 325,4 (h/sol)
Evaporación anual	1 739,5 mm

El estudio se inició en el mes de septiembre de 2011 y culminó en diciembre de 2014. Se desarrollaron balances de materia seca, energía y de nitrógeno.

Procedimiento

Esta unidad de producción de leche cuenta con un total de 102 bovinos de los cruzamientos de Holstein-Cebú, Brown Swiss-Cebú y Gyrolando. El ordeño es manual, una vez por día, cuenta con un área total de 24 ha, distribuidos de la siguiente forma:

- 8 ha con cercas eléctricas fijas y móviles con pastura.
- Pastos: *Panicum maximum* Jacq. (Saboya) y *Cynodon nlenfuensis* Vanderyst (Pasto Estrella).
- 5 ha con pasto de corte.
- Pastos: *Pennisetum purpureum* (king grass); *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) y *Pennisetum purpureum* (pasto elefante variedad morado).
- 6 ha al pastoreo con cercas de alambres de púas.
- Pastos: *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf in Prain; *Brachiaria decumbens* Stapf in Prain y *Brizantha* y *Panicum maximum* Jacq (Pasto Saboya).
- 4 ha sin pasturas.
- Pastos: *Erythrina crista-galli* L. (Caraca); recursos forrajeros arbóreos y arbustivos (*Gliricidia* y *Guazuma*).
- 1 ha con cultivo de caña.
- Pastos: *Saccharum officinarum* (caña de azúcar).

La carga global fue de 1,09 UGM/ha. Los animales diariamente recibieron en la nave de orde-

ño-alojamiento balanceado con 16 % de PB a razón de 0,46 kg a partir del tercer kilogramo de leche/vaca y se les suministró forraje de maíz cosechado y molido con máquina en estado de planta entera con 66-75 % de grano formado, aproximadamente a razón de 22,5 kg/vaca/día de forraje fresco pesado.

El suministro de agua fue *ad libitum*. Las áreas tenían arborización de 1-4 árboles de Algarrobo/ha (*Prosopis juliflora*) en 2011 y con un incremento por regeneración natural y algunos trasplantes por agrotecnia a 8-35 árboles/ha en 2014. Las especies de pasto que predominan son *Panicum maximum* (Saboya) y *Cynodon nlemfuensis* (Pasto Estrella) y otras especies como pasto tejana (*Paspalum notatum* Flugge). En relación con las leguminosas rastreras nativas predominaron especies de los géneros *Centrosema*, *Desmodium*, *Macroptilium* y *Teramnus*. Se realizaron los balances de materia seca, nitrógeno y energía los cuales se determinaron de la siguiente forma:

Balance forrajero

El balance forrajero se realizó en función del grado de arborización y los años de evaluación de la unidad lechera bajo el manejo descrito y los rendimientos y disponibilidades de las áreas de corte y pastoreo, respectivamente. Se utilizó la metodología de Guevara (1999) con cambios en algunos coeficientes por indicadores y esto permitió calcular el forraje producido y realizar el balance por la diferencia entre el forraje producido y el necesario para el total del rebaño en UGM de la unidad, calculado en toneladas de materia seca de forrajes.

Balance de nitrógeno

Se aplicó la metodología descrita por Kirchmann, Torsell y Roslon (1988) con variables de entrada y salida de nitrógeno al sistema, así como variables intermedias o de circulación, modificado para áreas tropicales por Guevara (1999). Entre las variables de entrada se consideraron:

- Nitrógeno por fertilizante (kg/ha/año)
- Nitrógeno que cae por la lluvia que según datos del Instituto de Ciencia Animal es aproximadamente 1 kg de N₂/52,5 mm de precipitación (Cuesta, 1995).
- Nitrógeno que aportan las leguminosas nativas que sí alcanzan 30 % de población. Se consideró un estimado de 60 kg de N₂/ha/año (CIAT, 1990).

Las variables intermedias o de circulación en el sistema fueron:

- Nitrógeno de las leguminosas presentes en el pastizal, determinado por bromatología o por información de la literatura (CIAT, 1990).
- Nitrógeno excretado en estiércol-orina, (se consideró 1,54 % de N en estiércol y 1,10 % de N en orina), a razón de 25 kg de estiércol fresco (3,3 kg en MS) y 9,0 L de orina/vaca/día (Arteaga, Mojena y Espinoza, 1985).
- Nitrógeno del pasto según por ciento de la MS y rendimiento.
- Nitrógeno del animal (2,4 % de su peso vivo).
- Nitrógeno consumido que se transforma a N₂ de la leche (40 % del consumido, Kirchmann, Torsell y Roslon, 1988).
- Nitrógeno que no es consumido por el animal y recircula en el pasto, (generalmente se acepta un consumo del 75 % del N, CIAT, 1990).

En relación con las salidas del sistema se tuvieron en cuenta las variables:

- Nitrógeno que sale del sistema en la leche producida, según CIAT (2012) (3,42-3,58 % de la PB de la leche).
- Nitrógeno del animal eliminado del sistema (2,4 % de su peso vivo es N).
- Nitrógeno que se pierde del excretado por vía heces-orina y que según CIAT (1990) es cercano al 75 %.
- Nitrógeno que no regresa al pasto pues se excreta en naves entre ordeños y por las mangas.
- Nitrógeno perdido del que cae en las lluvias (60 % aproximadamente se volatiliza).

Balance de energía

Se tomaron datos de los registros de la unidad correspondientes a la producción animal, reproducción, producción forrajera y recursos materiales. Para obtener información de tipo social se entrevistaron a los trabajadores de la unidad. Los indicadores empleados para evaluar el uso de energía en la unidad figuran en la Tabla 1.

Ingreso de energía

Se contabilizó el total de la energía ingresada, diferenciando energía directa e indirecta. La ener-

gía directa es aquella que se consumió en las labores vinculadas a las actividades productivas, incluyendo combustibles, lubricantes y electricidad, y fuerza trabajo humano. La energía indirecta ingresada incluye a la energía involucrada en el proceso de producción de los fertilizantes, herbicidas, insecticidas, alimentos balanceados y maquinarias. Para obtener el ingreso de energía, se multiplicó la cantidad de cada insumo/año/ha por su correspondiente contenido energético.

Egreso de energía

Para determinar la salida de energía se consideró la producción anual de leche/ha del sistema y se multiplicó por su contenido energético. Los ingresos y egresos de energía se expresaron en MJ/ha.

Por tratarse de una evaluación en base a registros productivos y reproductivos del ganado de la Unidad de Docencia, Investigación y Vinculación Hato bovino de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, para la recolección de datos se entrevistaron a los asistentes, trabajadores y al administrador. No se utilizó ninguna técnica estadística específica para las comparaciones por año por ser valores únicos y calculados del modo informado y se aprecian las diferencias matemáticas entre años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balances forrajeros

En la Tabla 2 se comparan los balances forrajeros de los años 2011 y 2014, mostrando que en este último año resultó positivo por el incremento de las leguminosas asociadas con gramíneas; esto marcó una diferencia con el inicio de 268 t de forraje total producido en el 2014, respecto al valor de 212 t en 2011 y coinciden con los beneficios reportados por Vera y Riera (2003) al conjugar árboles con pastizales en la zona norte de Ecuador.

En igual modo hay otros reportes de estos efectos como los explica Pérez Infante (2010) al evaluar el incremento de la oferta de forrajes en pruebas de pastoreo de gramíneas con *Leucaena*, *Kudzu*, *Gliricidia* y *Siratiro*, que superan a las gramíneas solas en más de 2 kg de leche/vaca/día, lo que demuestra la importancia para el año completo de tener un sistema que provea de forraje sin restricciones y menor dependencia de balanceados (Guevara, 1999; Altieri y Funes-Monzote, 2012).

Lo anterior ha sido confirmado en los ensayos del CIAT (2012) dentro del programa de I+D+i, denominado Tropileche para ambientes ganaderos en ecosistemas de Colombia, Nicaragua, Costa Rica y Perú, cuando para rebaños de doble propósito (medio potencial lechero), probaron sistemas reales con pastos más *Arachis pintoi* Krapov y W.C.Greg., *Kudzu* con *Cratylia argentea* (Desv.) *Kuntze* y *Saccharum officinarum* L. con algún suplemento de la zona, demuestran que los sistemas con leguminosas tuvieron mejor balance forrajero y nutricional, y aunque tienen más de gastos operacionales de agrotecnia para establecerse, son más sostenibles y rentables cuando las producciones superan los 1 700kg/ha/año de leche.

Estos resultados de balances forrajeros en función del incremento del grado de arborización, coinciden con sistemas para Cuba, Costa Rica y Colombia que reportan ventaja en las asociaciones gramíneas-leguminosas y alguna suplementación de forrajes (Sánchez, 2007; Lamela, 2010).

Balance de nitrógeno

En la Tabla 3 se observa el balance de nitrógeno que se realizó en la unidad, donde se destacan las entradas al sistema (86,01 kg de N₂/ha/año), mientras que las salidas fueron inferiores a 32,47 kg de N₂/ha/año. Resultan de interés los datos altos de N₂ en el “pool” del elemento que circula en la fase intermedia entre entradas y salidas que fue de 393,01 kg de N₂/ha/año.

En cuanto a las variables de entrada el aporte N₂ por parte de los fertilizantes fue mayor, seguido de las leguminosas nativas con un aporte de 21,68 kg N₂/ha/año, estos resultados concuerdan con Hristov, Hazen y Ellsworth (2006) quienes señalan que el aporte de N₂ por medio de leguminosas puede llegar a ser el segundo en importancia. Seguidamente en una comparación con las variables de salidas, se observa que la leche implica una cantidad superior a 16,69 kg N₂/ha/año que sale del sistema, en comparación con las otras variables.

Hernández y Sánchez (2006) al evaluar el comportamiento de diferentes indicadores químicos y biológicos en un amplio número de unidades pecuarias en la zona occidental de Cuba, encontraron que la introducción de los árboles en los pastizales contribuyó a incrementar la densidad y la biomasa de los individuos pertenecientes a la macrofauna del suelo, lo que influyó en el contenido de nutrientes del binomio suelo-pastizal y el suelo

en los sistemas silvopastoriles presentó mayor contenido de materia orgánica y de N₂ en comparación con el monocultivo de gramíneas, lo que coincide con los resultados que reporta Dueñas *et al.* (2006).

Las especies de pastos difieren, en gran medida, en la cantidad y calidad de la hojarasca que producen (Bardgett y Walker, 2004). Así, en las gramíneas las relaciones C/N y lignina/nitrógeno son mayores que en las leguminosas, lo que hace más lenta la velocidad de descomposición. En este caso una mayor arborización con *P. juliflora* favoreció que la hojarasca de plantas con alta relación C/N forman una cobertura estable que contribuye al incremento del contenido de materia orgánica y N₂, mejoran la estructura del suelo y lo protegen de la lluvia y la radiación solar. Esta alta relación C/N favorece además el desarrollo del sistema radical, la formación de nódulos y la fijación simbiótica del nitrógeno (Yadava y Tobouda, 2008).

Los estudios en ecosistemas de pastizales en Cuba indicaron que la tasa de descomposición de la hojarasca muestra marcadas variaciones entre las especies de pastos y es más rápida en las leguminosas arbustivas que en las gramíneas (Crespo, 2013; Crespo, 2015). Según Sánchez (2008) la dinámica de descomposición de la hojarasca fue más intensa en el sistema silvopastoril que en el de monocultivo de gramíneas y fue mayor el aprovechamiento del N₂.

Estos resultados con mayor arborización pueden estar asociado al microclima favorable que se crea en el sistema con más densidad de árboles y que favorecen la actividad de los organismos descomponedores. Se demuestra que la introducción de leguminosas arbóreas en los pastizales de gramíneas es una vía de gran valor para lograr producciones de hojarasca de diferente naturaleza, lo que proporciona una relación C/N intermedia. Esto favorece, por una parte, la reserva de humedad en el suelo y por otra garantiza una mineralización más lenta del nitrógeno. Todo esto conduce a una mayor sincronía entre los procesos de asimilación de nutrientes fácilmente disponibles y el contenido de humus del suelo. Según Ruiz *et al.* (2003) y Alonso (2004) los árboles han aumentado la fertilidad de los suelos en las áreas ganaderas en Cuba por medio de la producción y la descomposición de la hojarasca y los residuos de la poda.

Otros aportes sensibles como el fertilizante nitrogenado y el concentrado (balanceados) fueron

reducidos en el año 2014 respecto al 2011 y 2012, efecto que en buena medida tiene que ver con el consumo en pastoreo de la asociación, que se incrementa por la calidad total de la ración con más proteína bruta y digestible. También se encontró este fenómeno de reducción del consumo de balanceados al mejorar la calidad de los forrajes y disminuyó el consumo de otros alimentos complementarios (Orskov, 2005; INIAP, 2012; Mileira, 2013; Roca, 2014).

Los abonos orgánicos aplicados en los últimos dos años son cifras pequeñas, pero representan diferencias respecto al año 2011 y 2012 y contribuyeron también al mejor balance del elemento en el sistema (Peña, Guevara, Guevara y Vidal, 2006). Las salidas del N₂ del sistema incrementada hacia el periodo 2013-2014 como efecto del aumento en la leche producida, no superaron las entradas del N₂ biológico, que incluye además el N₂ de las lluvias y difieren menos entre las entradas del año 2014 cercanas a 80 kg (79,6 kg/ha/año) con salidas de 40 kg N₂/ha/año y balance de 39,3 kg, para una eficiencia de 50 % en el uso del elemento en el sistema en ambos años, con mayor prevalencia de N₂ de fuentes naturales. Esto coincide con los reportes de February y Higgins (2010) en ecosistemas secos de sabanas en Sudáfrica, donde la distribución espacial y densidad de los árboles fue decisiva para incrementar el contenido de N₂ en el suelo (CIAT, 2012; Sánchez, 2007).

Balance de energía

En la Tabla 4 se presenta el balance de energía de la unidad en los años 2012 a 2014, donde puede apreciarse los diferentes aspectos que determinaron un balance positivo favorable a la gestión ambiental de la unidad; estos resultados concuerdan con Denoia, Bonel, Montico y Di Leo (2008) y Fernández (2010), los cuales indican que las entidades que presentan integración ganadería-agricultura logran un balance favorable a diferencias de otras unidades que solamente obtienen producción animal.

Fernández (2010) indica que la contribución a la entrada de energía debido a la mano de obra humana, aunque fue pequeña dentro de los ingresos y no alcanza los niveles asiáticos, es superior a otros sistemas cubanos y del trópico latinoamericano (Funes-Monzote, 2009; Botero y de la Ossa, 2010; Funes-Monzote, 2013).

Estos resultados confirman los reportes de la eficiencia esperada por sistemas ganaderos arbo-

rizados que reportan Ruiz *et al.* (2014) y Altieri y Funes-Monzote (2012), donde se logra más eficiencia en el uso de la energía al reducir fertilizantes, agro-tóxicos y maquinarias en sistemas con leguminosas asociadas y con la recuperación del ecosistema vía arborización.

CONCLUSIONES

El incremento de la densidad de árboles de Algarrobo hacia el año 2014 favoreció los rendimientos de forrajes del sistema con mejoras en la eficiencia de uso del N₂ y la energía.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los técnicos y obreros de la UDIV Hato Bovino de la carrera de Pecuaria perteneciente a la ESPAM MFL de Calceta, Manabí por todo el trabajo de ayuda en la conducción práctica y la toma de datos en el período y también en el caso del análisis del balance energético, los aportes de los equipos de impacto ambiental de las Universidades de Latacunga en Cotopaxi y en la Universidad de Cuenca en el Ecuador.

REFERENCIAS

- ALONSO, J. (2004). *Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril con Leucaena (L. leucocephala, vc. Perú) y guinea (P. maximum vc. Likoni)*. Tesis de doctorado, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.
- ARTEAGA, O.; MOJENA, A.; ESPINOSA, W. (1985). Efectividad del estiércol vacuno y otras fuentes comerciales en la nutrición fosfórica de la Bermuda Cruzada 1. *Pastos y forrajes*, 8 (2), 65-68.
- BARDGETT, R. D. y WALKER, L. R. (2004). Impact of Coloniser Plant on the Development of Decomposer Microbial Communities Following Deglaciation. *Soil Biology and Biochem.*, 35 (1), 55-58.
- BOTERO, A. y DE LA OSSA, V. (2010). *Un sistema de producción silvopastoril con enfoque agroecológico, departamento del Magdalena, Colombia*. Recuperado el 1 junio de 2013, de http://www.recia.edu.co/documentosrecia/recia3nuevo/estudio de caso/Agroecol_Botero.pdf.
- CIAT (1990). *Relación suelo-planta y reciclaje de nutrientes. Programa de pastos tropicales*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- CIAT (2012). *La promesa de la agricultura tropical hecha realidad. El árbol, el bosque y los sistemas agroforestales*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- CRESPO, G. (2013). *El reciclaje de nutrientes y su impacto en sistemas ganaderos en el occidente de Cuba*. Tesis de doctorado, Instituto de Ciencia Animal, Universidad Agraria de La Habana, Cuba.
- CRESPO, G. (2015). Factores que influyen en el reciclaje de nutrientes en pastizales permanentes, avances en el desarrollo de su modelación. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49 (1), 1-11.
- CUESTA, O. (1995). *Caracterización de las concentraciones de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico en Cuba y su relación con los tipos de situaciones sinópticas*. Tesis de doctorado, La Habana, Cuba.
- DENOIA, J.; BONEL, B.; MONTICO, S.; DI LEO, N. (2008). Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos. *Revista FAVE*, 7 (1-2), 43-56.
- DUEÑAS, G.; RODRÍGUEZ, N.; IRIGOYEN, H.; MUÑOZ, R.; HERNÁNDEZ, M. y PASCUAL, J. (2006). *Manejo sostenible de suelos dedicados a la ganadería en la provincia La Habana*. VI Congreso de la Sociedad Cubana de Ciencias del Suelo (CD-ROM), La Habana, Cuba.
- ESPAM MFL (2015). *Informe meteorológico*. Ecuador: Estación Meteorológica, Campus Politécnico El Limón, Calceta.
- FEBRUARY, E. C. y HIGGINS, S. I. (2010). The Distribution of Tree and Grass roots in Savannas in Relation to Soil Nitrogen and Water. *South African J. Botany*, 76 (1), 5-10.
- FERNÁNDEZ, E. (2010). *Metodologías para la evaluación y mejora del impacto ambiental de los sistemas ganaderos: análisis comparado y posibilidades de aplicación en el sector de los pequeños rumiantes de Andalucía*. Recuperado el 28 de mayo de 2013, de http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/20_10_02,Trabajo_de_Master.pdf.
- FUNES-MONZOTE, F. (2009). *Eficiencia energética en sistemas agropecuarios: Elementos teóricos y prácticos*. Recuperado el 28 de mayo de 2013, de http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=682&cf_id=24.
- FUNES-MONZOTE, F. (2013). *Sistemas agroecológicos. Movimiento Faros Agroecológicos en la Agricultura Cubana*. Cuba: ACTAF.
- GUEVARA, R. (1999). *Contribución al estudio del pastoreo racional con bajos insumos*. Tesis de doctorado, La Habana, Cuba.
- HERNÁNDEZ, M. y SÁNCHEZ, S. (2006, abril). *Evolución de la composición química y la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles*. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. III Simposio sobre Sistemas Silvopastoriles para la Producción, La Habana, Cuba.
- HRISTOV, A.; HAZEN, W. y ELLSWORTH, J. (2006). Efficiency of Use of Imported Nitrogen, Phospho-

- rous, and Potassium and Potential for Reducing Phosphorous Imports on Idaho Dairy Farms. *J. Dairy Sci.*, 89 (9), 3702-3712.
- INIAP (2012). *El Sistema silvopastoril una alternativa sostenible del uso de la tierra*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_content&view=article&id=799:el-sistema-silvopastoril-una-alternativa-sostenible-del-uso-de-la-tierra&catid=97&Itemid=208.
- KIRCHMANN, H., TORSELL, B. y ROSLON, E. (1988). A Simple Model for Nitrogen Balance Calculations of Temporary Grassland Ruminant Systems. *Swedish J. Agric. Res.*, 18 (1), 3-8.
- LAMELA, L. (2010). *Problemas de la adopción de la tecnología de silvopastoreo*. Ecuador: Campus Politécnico El Limón, Calceta.
- MILERA, MILAGROS (2013). *Principios de manejo y utilización de gramíneas, leguminosas y otras forrajeras para la producción de leche y carne vacuna en Cuba*. La Habana, Cuba: MINAGRI.
- MORALES, A. y SARMIENTO, D. (2008). *Árboles del bosque seco tropical en el área del Parque Recreativo y Zoológico Piscilago-Nilo Cundinamarca*. Recuperado el 10 julio de 2013, de [http://www.ecosistemassecos.org/doc/Cartilla_fin_al.web\[1\].pdf](http://www.ecosistemassecos.org/doc/Cartilla_fin_al.web[1].pdf).
- ORSKOV, E. R. (2005). *Nutrición de rumiantes*. Camagüey, Cuba: Universidad de Camagüey.
- PEÑA, I.; GUEVARA, R.; GUEVARA, G.; VIDAL, F. (2006). *Software para el balance de nitrógeno en rebaños bovinos*. Recuperado el 10 julio de 2013, de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n121206/120603.pdf>.
- PÉREZ INFANTE, F. (2010). *Ganadería eficiente, bases fundamentales*. La Habana, Cuba: ACPA.
- REYES, L. (2010). *Ciclo biológico de la polilla del algarrobo, Prosopis juliflora. En un sistema silvopastoril del Valle Del Cauca*. Recuperado el 16 julio de 2013, de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3911/4/CB-0439250.pdf>.
- ROCA, A. (2014). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. Bolívar, Manabí. *Revista ESPAMCIENCIA*, 1 (1), 15-25.
- RUIZ, T. E.; FEBLES, F.; JORDÁN, H.; CASTILLO, E. y MEJÍAS, R. (2003, junio). *Valoraciones sobre el proceso de introducción de Leucaena leucocephala en el sector ganadero*. Taller Internacional Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Modelos alternativos, La Habana, Cuba.
- RUIZ, T.; FEBLES, G.; CASTILLO, E.; JORDAN, H.; GALINDO, J.; CHONGO, B. *et al.* (2014). *Tecnología de producción animal mediante Leucaena leucocephala asociada con pastos en el 100 % del área de la unidad ganadera*. Recuperado el 10 julio de 2015, de http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermic/112-leucaena.pdf.
- SÁNCHEZ, J. (2007). *Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/forrajes.pdf>.
- SÁNCHEZ, T. (2008). *Producción de leche con vacas Mambí de Cuba en pastoreo y complementando en bancos de proteínas*. Matanzas, Cuba: EEPF IH.
- ULF, O. (2012). *Importancia del árbol en la producción animal (subtrópico seco argentino)*. Recuperado el 1 junio de 2013, de http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/129-IMPORTANCIA_ARBOL.pdf.
- VERA, A. y RIERA, L. (2003). *Desarrollo de alternativas silvopastoriles para rehabilitar pastizales en zona norte de la región amazónica ecuatorina*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/desarrollo_alternativas_silvopastoriles_rehabilitar_pastizales_zona_norte_regi%3%93n_amazonica_ecuatoriana.pdf.
- YADAVA, R. S. y TOBOUDA, N. S. (2008). Plant Litter Decomposition and Soil Respiration in the Natural Grassland Ecosystems of Kangpolpi, Maniput. En P. C. Missa (Ed.), *Advances in Ecology and Environment*. Sci. New Delhi, India: Asbush Publishing House.

Recibido: 12-7-2017

Aceptado: 20-7-2017

Tabla 1. Coeficientes energéticos de insumos y productos

Concepto	Unidad	MJ/U
Diesel	L	43,30
Gasolina	L	3,40
Lubricantes	L	3,60
Fuerza trabajo humano	h	1,00
Electricidad	KWh	14,40
Urea	kg	58,00
Herbicidas	kg	238,00
Fertilizante orgánico	kg	0,30
Balanceado	kg	16,33
Leche	kg	0,059
Pasturas	kg	10,86

Fuente: Funes-Monzote (2009)

Tabla 2. Balances forrajeros de los años 2012 y 2014 con arborización de 1-4 árboles/ha y de 8-18 árboles/ha, respectivamente

Índices	Año 2012 (1-4 árboles/ha)			
	Pastos-leguminosas	Forrajes permanentes	Forrajes temporales	Total
Área/especie/animales	22,5	2,1	3,2	29,8
Número de UGM	-	-	-	42,0
Rendimiento de forrajes (t/ha)	8,3	14,6	15,6	
% de forraje utilizado	41	77	91	
Forraje producido según % de utilización				212
Necesidad de forrajes (t)				191
Balance de forrajes (t) (forraje prod.-forraje necesario)				+21
Índices	Año 2014 (8-35 árboles /ha)			
	Pastos-leguminosas	Forrajes permanentes	Forrajes temporales	Total
Área/especie/animales	23,3	1,6	4,9	29,8
Número de UGM	-	-	-	46
Rendimiento de forrajes (t/ha)	12,6	16,4	20,3	
% de forraje utilizado	48	86	93	
Forraje producido según % de utilización	129,9	47,2	90,1	268
Necesidad de forrajes (t)				216
Balance del forrajes (t) (forraje prod.-forraje necesario)				+52

Tabla 3. Balance de N₂ (kg/ha/año) en el tiempo según el grado de arborización (1-4 árboles /ha en 2011 a 8-35 árboles/ha en 2014)

VARIABLES DE ENTRADA DEL N ₂	2011	2012	2013	2014
Fertilizantes (Urea)	49,1	7,9	26,2	10,2
Fertilizantes orgánicos	-	-	9,1	5,2
N ₂ en lluvia	15,2	27,1	18,3	14,1
Leguminosas	14,6	10,3	21,7	29,6
Concentrados	25,1	23,6	14,2	10,5
Total de entradas	104,0	68,9	89,5	69,6
VARIABLES DE SALIDA DEL N ₂				
N ₂ en movimiento	10,6	7,9	12,1	7,5
N ₂ en leche	11,2	12,3	16,7	18,2
N ₂ en animales	5,6	10,9	3,1	1,8
N ₂ excretado en la orina	2,9	3,5	2,6	2,7
N ₂ excretado en naves	0,5	3,2	0,2	0,5
N ₂ perdido en lluvias	14,1	20,3	11,0	9,6
Total de salidas	44,9	58,1	45,7	40,3
Balance del N₂ (Entradas-salidas)	59,1	10,8	43,8	29,3

Tabla 4. Balance de energía durante los años 2012 al 2014 en la unidad

Parámetros de energía	Balance del 2012	Balance del 2013	Balance del 2014
Ingreso de energía directa (IE _d)	11 229,92	7 013,20	7 061,28
Electricidad	1 596,00	1 080,00	1 209,34
Concentrado	1279,33	751,51	708,22
Combustible	6 812,41	4 330,00	4 017,00
Fuerza de trabajo humano	1 542,18	851,69	1 126,72
Ingreso de energía indirecta (IE _i)	21 546,16	16 276,10	12 305,76
Fertilizantes minerales	21 419,00	16 240,00	12 102,45
Fertilizante orgánico	---	2,10	184,05
Herbicidas	127,16	34,00	19,26
Ingreso de energía (IE=IE _d +IE _i)	32 776,08	23 289,30	19 367,04
Egreso de energía (EE)	1 112,61	1 356,48	4 130,38
INDICADORES			
Balance energético (IE-EE)	31 663,47	21 932,82	15 236,66