

# Energy use in cattle in intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* and its relationship to animal performance<sup>x</sup>

*Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena leucocephala y su relación con el desempeño animal*

*Uso da energia em bovinos pastejando em sistemas silvopastoris intensivos com Leucaena leucocephala e sua relação com o desempenho animal*

César Augusto Cuartas Cardona <sup>1\*</sup>, Zoot, cPhD; Juan Fernando Naranjo Ramírez <sup>1,3</sup>, Zoot, cPhD; Ariel Marcel Tarazona Morales <sup>2</sup>, Zoot, PhD; Rolando Barahona Rosales <sup>2</sup>, BSc, PhD.

*\*Autor para correspondencia: César Augusto Cuartas Cardona, Calle 42 No 74-79, Medellín, Colombia. E-mail: [cecuartas@gmail.com](mailto:cecuartas@gmail.com)*

<sup>1</sup>cPhD en Ciencias Animales, Universidad de Antioquia . Calle 42 No. 74-79 Medellín, Colombia. E-mail: [cecuartas@gmail.com](mailto:cecuartas@gmail.com);

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal.

<sup>3</sup>Investigador del Grupo INCA-CES. Línea de investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES, Calle 10 A No 22-04, Barrio el Poblado, Medellín, Colombia. E-mail: [jnaranjo@ces.edu.co](mailto:jnaranjo@ces.edu.co).

*(Recibido: 1 de enero, 2013; aceptado: 21 de junio, 2013)*

## Abstract

Intensive silvopastoral systems (ISS) have been presented in recent years as a form of agroforestry that aims to intensify livestock farming in a natural way and make it an environmentally and socially responsible activity. However, there are still many unsolved technical and scientific issues to understand how these systems work. One of those questions has to do with the efficient use of energy. The aim of this study was to make an approach to energy partition in cattle grazing under ISS and its implications on productive performance, comparing with conventional farming systems. Time spent by the animals in their main behavioral activities was characterized and compared with reports on conventional systems. Additionally, weight gain was projected for different body weight ranges, finding economic and productive improvements for ISS grazing. According to the observations and calculations of this study, it is suggested that cattle grazing under ISS use energy better because they spend less on walking and more energy can be saved for weight gain.

<sup>x</sup>Para citar este artículo: Cuartas CA, Naranjo JF, Tarazona AM, Barahona R. Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y su relación con el desempeño animal. Rev CES Med Zootec. 2013; Vol 8 (1): 70-81.

## Key words

*Animal behavior, cattle, energy efficiency, weight gain.*

## Resumen

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) se han presentado en los últimos años como una modalidad de agroforestería pecuaria que pretende intensificar naturalmente la ganadería y convertirla en una actividad responsable ambiental y socialmente. Sin embargo, aún son muchas las incógnitas de carácter técnico y científico que deben resolverse para tratar de entender cómo funcionan estos sistemas. Una de ellas tiene que ver con la eficiencia en el uso de la energía. El objetivo del presente estudio fue realizar una aproximación a la partición de la energía de bovinos en pastoreo en SSPi y sus implicaciones en el desempeño productivo, haciendo una comparación con sistemas ganaderos convencionales. Se caracterizó el tiempo invertido por los animales en las principales actividades de comportamiento y se comparó con reportes en sistemas convencionales. Adicionalmente, se proyectó la ganancia de peso para diferentes rangos de peso vivo, encontrando mejoras económicas y productivas durante el pastoreo en SSPi. Según las observaciones y cálculos realizados se sugiere que los bovinos que pastorean en SSPi utilizan mejor la energía al gastar menos en desplazarse, pudiendo invertir más en ganancia de peso.

## Palabras clave

*Comportamiento animal, eficiencia energética, ganadería, ganancia de peso.*

## Resumo

Os sistemas silvopastoris intensivos (SSPi) tem se apresentado nos últimos anos como uma modalidade de agroforesteria pecuária que pretende intensificar naturalmente a produção de gado e transformá-lo em uma atividade responsável ambiental e socialmente. Embora, ainda são muitas as incógnitas de caráter técnico e científico que devem ser resolvidas, e assim, deste jeito tentar entender adequadamente como funcionam esses sistemas. Uma delas, ainda não resolvida, tem que ver com o uso e a eficiência no uso da energia. O objetivo do presente estudo foi realizar uma aproximação à partição da energia em bovinos que pastejam em SSPi e avaliar suas implicações no desempenho produtivo, fazendo uma comparação com sistemas de produção de gado convencional. Desenvolveu-se um trabalho para caracterizar o tempo investido pelos animais nas principais atividades comportamentais em SSPi e comparou-se com reportes em sistemas convencionais. Adicionalmente, realizou-se uma projeção do ganho de peso de bovinos com diferentes amplitudes entre os pesos, evidenciando melhoras econômicas e produtivas quando os animais se encontram pastejando SSPi. Segundo as observações e cálculos realizados, é possível sugerir que os bovinos que pastejam SSPi utilizam melhor a energia ao gastar menos em se deslocar e ao contrario, investir mais no ganho de peso.

## Palavras chave

*Comportamento animal, eficiência energética, pecuaria, ganho de peso.*

## Introducción

En América tropical, la mayor parte de la producción de carne bovina se realiza en pasturas nativas y mejoradas en monocultivo sin árboles, donde la calidad de las gramíneas usadas para pastoreo es cuestionada, porque el forraje ofrecido a los animales no cubre sus requerimientos, con consecuencias negativas sobre la rentabilidad de la producción, que, por lo general, conducen al desgaste de los recursos naturales en la búsqueda de mejores respuestas productivas.

Las gramíneas tropicales se caracterizan por tener alto contenido de carbohidratos estructurales, bajo contenido de carbohidratos solubles, proteína inferior al 7% <sup>1</sup> y digestibilidad menor a 55% <sup>2</sup>. Además, la composición química de los forrajes tropicales se ve fuertemente afectada por las condiciones ambientales y por la calidad de los suelos, que son fundamentalmente deficientes en nitrógeno <sup>3</sup>. Como estrategia para enfrentar estas (y otras) limitaciones de nuestros sistemas productivos, se han propuesto los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), que son una forma de agroforestería para la producción ganadera que combina arbustos forrajeros en altas densidades (más de 10.000/ha), árboles y palmas, y pastos mejorados. Las altas cargas y la producción natural de leche y carne en estos sistemas se logran a través de un pastoreo rotacional con cerca eléctrica y permanente suministro de agua para el ganado, lo que permite intensificar naturalmente la ganadería y convertirla en una actividad social y ambientalmente responsable <sup>4</sup>. Así mismo, los SSPi ofrecen a los animales dietas con contenidos de proteína y energía ajustados a sus requerimientos <sup>5,6</sup>.

La disponibilidad de energía es una de las mayores limitantes nutricionales para los bovinos alimentados en condiciones tropicales <sup>19</sup>. La energía utilizada por los animales es obtenida de los alimentos por procesos digestivos y metabólicos. Debido a que la energía es esencial para sustentar todos los procesos vitales, su deficiencia se manifiesta en retraso del crecimiento,

falla reproductiva y pérdidas en las reservas corporales, generando disminución en la productividad animal <sup>6</sup>.

En bovinos destinados a producción de carne, los requerimientos de energía para mantenimiento pueden ser hasta el 70% de las exigencias totales de energía <sup>5</sup>. Estos requerimientos, incluyen los gastos de energía para mantenimiento en actividades voluntarias -como el consumo de alimentos y la locomoción- e involuntarias -mantenimiento de la presión sanguínea, tono muscular, actividad cardíaca, termorregulación, transmisión de impulsos nerviosos o el transporte de iones a través de membranas-. La energía restante es utilizada para la síntesis de tejidos, proteínas, grasas, y se denomina energía neta para ganancia de peso.

La eficiencia en la utilización energética está dada por la relación entre la energía retenida en forma de producto (carne, leche, lana, pelo, etc.) respecto de la contenida en los alimentos que consumen los animales. Esa eficiencia puede variar según la composición de la dieta, la composición de la ganancia de peso (tasa de deposición de proteína y grasa), grupo genético, ganancia diaria de peso promedio, el ambiente y el estado fisiológico de los animales <sup>7</sup>. Entre los animales domésticos, los bovinos son considerados energéticamente ineficientes, debido a las pérdidas que ocurren en los diversos procesos de asimilación de los nutrientes <sup>8</sup>. Sin embargo, esta consideración es en alguna medida injusta, ya que los rumiantes pueden utilizar con eficiencia alimentos fibrosos que para otros animales domésticos monogástricos son indigestibles o de mínima disponibilidad.

En el esquema de fraccionamiento de energía en animales domésticos, probablemente el concepto más problemático y de mayor incertidumbre en su estimación, es el incremento calórico. Esto obedece a que este concepto termina albergando toda la energía que no puede explicarse o que resulta “perdida” al estimar los demás parámetros. Aunque esto está fundamentado en las leyes de la termodinámica, el incremento calórico es un concepto aun no completamente

entendido, lo que hace necesario adelantar estudios al respecto. Los objetivos del presente estudio fueron realizar una descripción de la partición de la energía de bovinos en pastoreo en SSPi, y relacionar la eficiencia energética con el desempeño productivo.

## Materiales y métodos

### Localización

El estudio se realizó en el departamento del Tolima (Colombia) (04°29'06,7"N 74°59'15,4"W), en bosque seco tropical (bs-T) <sup>9</sup>, a 605 m de altitud. En promedio, las características de esta región son 1350 mm de precipitación anual, 71% de humedad relativa y 26 °C de temperatura. El SSPi estuvo compuesto por una asociación de *L. leucocephala* como arbusto para ramoneo a densidad mayor a 10.000 arbustos/ha con la gramínea *Cynodon plectostachyus* y plantaciones maderables en líneas triples cada 30 metros (300 a 500 árboles/ha) de *Azadirachta indica*, *Albizia guachapele* y *Tectona grandis*. En este sistema pastorearon 20 machos enteros de mezcla racial cebuina, con peso promedio de 357 kg, en franjas de 600 m<sup>2</sup> (1200 m<sup>2</sup>/d) con 2 rotaciones cada 12 horas realizadas a las 6h y 18h. Se simuló un sistema control (SC) (usualmente encontrado en la misma región donde se ubica el SSPi evaluado), compuesto por una pradera de pasto nativo colosuana o kikuyina (*Bothriochloa pertusa*) en pastoreo semiextensivo, con un grupo de 20 machos con mezcla racial cebuina, de 320 kg promedio, usando indicadores de productividad vegetal y animal reportados para las condiciones de localización del SSPi <sup>10</sup>.

### Presión de Pastoreo

Se realizaron aforos periódicos para estimar la cantidad de biomasa comestible, tanto de la pastura como de los arbustos de *L. leucocephala*, encontrando un promedio de presión de pastoreo de 7,05 kg de materia seca (MS) por cada 100 kg de peso vivo (PV) para SSPi y 4,1 kg MS/100 kg PV para SC.

### Evaluación de comportamiento

Reconociendo que los principales comportamientos de los bovinos son caminar, consumir y rumiar <sup>11</sup>, en este trabajo se adaptaron los protocolos de Martín y Bateson <sup>11</sup>, Forbes <sup>12</sup>, Gordon y Prins <sup>13</sup> para evaluar el comportamiento de los animales.

Previo al inicio de las evaluaciones y durante 3 días, se realizó un proceso de habituación de los animales a la presencia de los evaluadores. En este período, no se tomaron registros. Se calificaron como animales habituados aquellos que no se aproximaron o alejaron del evaluador durante los primeros 15 minutos de permanencia de éste dentro de su rango de observación <sup>11</sup>; los animales no habituados fueron aquellos que en ese lapso de tiempo mostraron algún comportamiento dirigido hacia la persona en el rango de observación.

La evaluación del comportamiento en SSPi se realizó durante periodos continuos de 24 horas iniciando la observación a las 18 h, con 3 repeticiones no consecutivas. El intervalo máximo entre el final de un periodo y el inicio del siguiente fue de 24 horas. Las mediciones se realizaron desde torres de observación por grupos de evaluadores de 4 personas con cambio de grupo cada 6 horas. Se realizó un test de confiabilidad inter observador <sup>11,14</sup>, considerando un observador apto cuando la coherencia fue mayor al 80% entre registros de observaciones independientes. Durante el día se emplearon binoculares y en la noche linternas, ya que los experimentos preliminares no evidenciaron diferencias entre el uso de binoculares de infrarrojo y la observación directa con linternas. Se registró el número de animales en cada estado de comportamiento haciendo un barrido cada 20 minutos con el fin de estimar la proporción de tiempo empleado por el animal en cada estado de comportamiento.

Los criterios de reconocimiento y exclusión de cada comportamiento para la clasificación categórica fueron:

*Consumiendo*. Se incluyeron en este estado animales con comportamientos de *pastoreo* o *ramoneo*, donde: *Pastoreo*: cuando hay aprehensión de las

gramíneas del primer estrato, corte de las mismas y masticación. *Ramoneo*: cuando hay aprehensión de ramas y hojas de los arbustos del segundo estrato.

*Rumiando*. Se incluyeron en este estado animales con masticación consecutiva de bolos ruminales que retornan a la cavidad oral después de ser consumidos, la postura corporal puede ser de pie o echado (decúbito).

*Desplazándose*. Se registró la distancia recorrida por los bovinos, teniendo en cuenta dos puntos de referencia en los extremos del área de pastoreo y el número de veces que los animales se movían entre los puntos.

Los registros se convirtieron en proporción de tiempo mediante la fórmula:

$$\frac{a_i * t}{n},$$

Donde,  $a_i$  = número de animales que ejercen la actividad.

$t$  = tiempo entre 2 observaciones sucesivas.

$n$  = No total de animales.

Se obtuvo el total de minutos empleados en cada comportamiento para la fracción de tiempo evaluada. Posteriormente se transformaron los datos a porcentajes de tiempo para realizar los diferentes análisis.

#### *Requerimiento por balance energético*

Para calcular los requerimientos de energía, se utilizó la herramienta BR-CORTE (<http://cqb.al.agropecuaria.ws/webcqb/br corte/index.php>), que usa los cálculos realizados por Valadares-Filho *et al.*,<sup>15</sup> para condiciones tropicales. Esta herramienta condensa y sintetiza la información generada en Brasil en los últimos años para calcular los requerimientos nutricionales de animales

cebuinos y realizar predicciones del desempeño, teniendo en cuenta las características nutricionales de los principales forrajes y alimentos para bovinos en pastoreo en el trópico. Los datos básicos que se ingresan a la herramienta son los promedios de peso vivo del grupo de bovinos, ganancia diaria de peso, densidad energética de la dieta y composición racial de los animales.

Se analizaron las ganancias diarias de peso de 80 registros, estableciendo ecuaciones de regresión y obteniendo una ganancia diaria promedio para cada sistema. Para cada rango de peso, se realizaron simulaciones usando una ganancia de peso promedio de 80 registros. El contenido energético de la dieta consumida por los animales se estimó a partir de la caracterización química de los forrajes y su digestibilidad *in vivo* de la MS (DIVMS)<sup>16</sup>. Con el propósito de presentar un escenario de referencia que incluyera SSPi se estimaron los requerimientos para animales en el mismo rango de peso, con unas ganancias representativas para esas condiciones y con una densidad energética de la dieta reconocida para condiciones extensivas<sup>10,16</sup>.

#### *Producción de calor y eficiencia en el uso de la energía*

A partir del registro de actividades de los animales se realizaron cálculos de gasto energético para las principales actividades desarrolladas y se determinó la eficiencia en el uso de la energía para propósitos productivos. El escenario referencia se construyó promediando los trabajos reportados por Kilgour<sup>17</sup> sobre las mismas actividades.

## Resultados

### *Caracterización bromatológica de la dieta consumida en cada sistema SSPi*

En la tabla 1 se presentan los análisis bromatológicos para los forrajes individuales que componían la dieta de los animales.

**Tabla 1.** Contenido de nutrientes de los forrajes en SSPi y en el sistema control (valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones estándar de las determinaciones).

Forraje	SSPi		Sistema control	
	<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	Composición de la dieta	<i>Bothriochloa pertusa*</i>
MS, %	22,36 (1,49)	21,99 (1,07)	14,70	11,91
PC, %	8,59 (1,81)	27,68 (0,73)	57,39	7,1
FDN, %	69,14 (1,95)	32,42 (2,19)	28,03	74,57
FDA, %	35,43 (1,54)	12,30 (0,28)	6,14	47,05
Lignina, %	5,4	7,7	1,58	8,2
EE, %	1,23	2,31	8,53	0,8
Cenizas, %	9,29 (2,09)	6,92 (1,58)	0,99	8,07
Ca, %	0,78 (0,19)	1,43 (0,66)	2,81	0,67
P, %	4,04 (6,64)	0,21 (0,01)	22,24	3,54

\* Valores promediados de tres estudios <sup>10,18,19</sup>

### Gasto energético de los bovinos en pastoreo

En la tabla 2 se presenta el ejercicio de fraccionamiento del incremento calórico asociado con un aumento de 100 kg de PV en animales pastoreando SSPi y SC. El ejercicio consideró bovinos con peso inicial de 250 kg.

**Tabla 2.** Fraccionamiento del incremento calórico asociado con un aumento de 100 kg de PV en animales pastoreando en los dos sistemas evaluados.

Parámetros del incremento calórico	SSPi	SC
<b>Datos de comportamiento/animal/día</b>		
Caminar; kilómetros	0,56	5,95
Rumiar; horas	6,10	6,73
Pastorear; horas	9,50	9,05
Echarse-pararse; no de veces	10	10
<b>Datos de comportamiento/animal/periodo</b>		
Caminar; kilómetros	69	1.983
Rumiar; horas	749	2.243
Pastorear; horas	1.167	3.017
Echarse-pararse; no de veces	1.228	3.333
<b>Incremento Calórico Mcal/periodo/grupo</b>	<b>18.848</b>	<b>36.364</b>
Caminar; Mcal/d	305	8.800
Rumiar; Mcal/d	2.557	7.657
Pastorear; Mcal/d	4.977	12.870
Echarse-pararse; Mcal/d	545	1.480
<b>Total; Mcal/d</b>	<b>8.384</b>	<b>30.803</b>
<b>Diferencia (total – incremento calórico); Mcal/d</b>	<b>10.464</b>	<b>5.557</b>

Este ejercicio consideró bovinos en pastoreo con pesos iniciales de 350 kg y finales de 450 kg, GDP de 807 y 300 g y días en el periodo de 124 y 333 para bovinos SSPi y en SC, respectivamente. Para las variables mostradas por grupo, n = 20 bovinos.

Se realizó una proyección para grupos de 20 bovinos en ambos sistemas con el fin de entender mejor la importancia relativa de la producción de calor en SSPi y sus implicaciones como sistema productivo. Se estimó el gasto energético representado en la producción de calor derivada de las principales actividades en pastoreo.

Según Berchielli *et al.*,<sup>7</sup> la producción de calor incluye procesos como el metabolismo basal, actividades voluntarias, formación de productos, digestión y absorción, regulación térmica, calor de fermentación, excreción y otros.

**Tabla 3.** Fraccionamiento del uso de energía asociado con aumentos de 100 kg de PV en animales de tres rangos de peso, pastoreando en SSPi y SC.

Parámetro	Rangos de PV por Sistema						Totales por sistema		Cálculos Totales por kg de PV ganado	
	SSPi	SC	SSPi	SC	SSPi	SC	SSPi	SC	SSPi	SC
Sistema productivo	250 – 350		350 - 450		450 - 550				Ganancia de 300 kg de PV	
Rango de peso; kg										
Ganancia diaria de peso; g/an/d	830	300	807	8300	822	300	836	300		
Días en la categoría	120	333	124	333	122	333	366	999		
Consumo de MS; kg a	6,54	4,98	8,02	6,52	9,50	7,96	2.351	4.937	7,8	16,5
Energía Digestible (ED); Mcal/an a	17,25	12,50	20,28	15,11	23,51	17,55	6.201	12.420	20,7	41,4
Energía Metabolizable (EM); Mcal/an a	14,15	10,25	16,63	12,39	19,28	14,39	5.086	10.187	17,0	34,0
Energía Metabolizable de mantenimiento (EMm); Mcal/an a	7,47	7,97	9,21	9,79	10,80	11,49	2.679	7.910	8,9	26,4
Eficiencia de uso de EMm (km); %	64	60	64	60	65	61				
Energía Metabolizable de ganancia (EMg); Mcal/an a	6,68	2,28	7,42	2,60	8,48	2,90	2.407	2.277	8,0	7,6
Eficiencia de uso de EMg; %	39	38	42	41	45	43				
Energía Neta de mantenimiento (ENm); Mcal/an a	4,78	4,78	5,89	5,87	7,02	7,01	1.707	4.723	5,7	15,7
Energía Neta de ganancia (ENg); Mcal/an a	2,61	0,86	3,14	1,06	3,79	1,26	936	850	3,1	2,8
Incremento Calórico; Mcal/an a	6,76	4,61	7,60	5,46	8,47	6,12	2.442	4.613	8,1	15,4
ED, Mcal/kg de dieta	2,64	2,51	2,53	2,32	2,48	2,21	2,66	2,58		
EM, Mcal/kg de dieta	2,16	2,06	2,08	1,90	2,03	1,81	2,18	2,12		
EN, Mcal/kg de dieta	1,13	1,13	1,13	1,06	1,14	1,04	1,12	1,15		
Energía Bruta (EB), Mcal/kg de dieta	4,41	4,32	4,41	4,32	4,41	4,32	4,41	4,32		
ED, % de la EB	59,75	58,12	57,28	53,66	56,06	51,05	60,30	59,77		
EM, % de la EB	49,01	47,66	46,97	44,00	45,98	41,86	49,45	49,02		
EN, % de la EB	25,60	26,23	25,51	24,61	25,78	24,06	25,46	26,62		
ENm, % de la EB	16,56	22,23	16,64	20,85	16,74	20,39	16,40	22,57		
ENg, % de la EB	9,04	4,00	8,87	3,76	9,04	3,67	9,06	4,06		
Consumo de EB, Mcal a	28,87	21,51	35,40	28,16	41,94	34,38	10.376	21.319	34,6	71,1
Perdida de energía en las heces, Mcal a	11,62	9,01	15,12	13,05	18,43	16,83	4.175	8.899	13,9	29,7
Perdida de energía en orina y gases, Mcal a	3,1	2,25	3,65	2,72	4,23	3,16	1.116	2.233	3,7	7,4
Perdida de energía como calor, Mcal a	6,76	4,61	7,6	5,46	8,47	6,12	2.442	4.613	8,1	15,4
Perdida total de energía, Mcal a	21,48	15,87	26,37	21,23	31,13	26,11	7.733	15.746	25,8	52,5
Total de energía recuperada, Mcal a,b	7,39	5,64	9,03	6,93	10,81	8,27	2.644	5.573	8,8	18,6

<sup>a</sup> Valores expresados en Mcal/d para el caso de los datos mostrados para cada rango de peso, en Mcal/periodo para el caso de los valores totales del sistema y en Mcal/kg de peso vivo ganado (últimas dos columnas)

<sup>b</sup> La energía recuperada incluye tanto la energía neta de mantenimiento como la energía neta de ganancia de peso.

**Cálculos de las necesidades energéticas de los animales.**

En las simulaciones se reporta un incremento del consumo de MS (kg/d) en función del incremento en PV. Este consumo estuvo en el rango de 6,54 y 9,50 para los SSPi; y entre 4,98 y 7,96 para el escenario de referencia.

La ED está representada como la diferencia entre el consumo total de energía menos la energía perdida en

heces, representando en su mayoría nutrientes que no estuvieron disponibles ni para los microbios del rumen ni para el animal<sup>5</sup>. En estas modelaciones la ED varió según el rango de peso entre 17,25 a 23,51 y de 12,50 a 17,55 para SSPi y SC, respectivamente.

La EMm es definida como la tasa de producción de calor de un animal mantenido en un ambiente termoneutro cuando el nivel de consumo es exactamente igual a la

tasa de pérdida de calor <sup>20</sup>. En este estudio, los valores de EMm oscilaron entre 7,47 a 10,8 para el SSPi y entre 7,97 a 11,49 para el SC.

La eficiencia en la utilización de la energía se expresa usualmente como una razón de la EB de entrada y la EB de salida, es decir, es una relación entre la energía retenida como producto animal y la energía total del alimento. Así, la eficiencia en la utilización de la EMm puede expresarse como *km* y es igual a ENm/EMm. En el SSPi se encontró entre 64 y 65%, mientras que el escenario de referencia estuvo entre 60 y 61%. La *km* es poco variable porque la ENm se dirige hacia el mantenimiento de la temperatura corporal, los procesos metabólicos y la actividad física <sup>5</sup>.

La EM para ganancia de peso es la relación entre la EN para ganancia y la eficiencia en el uso de esa energía, es decir,  $EMg = ENg/kg$ . Estos valores fueron 2 veces superiores en los SSPi sobre el escenario de referencia; con un rango de 6,68 a 8,48 para el rango de peso evaluado (entre 250 y 550 kg). La EMg está relacionada con la energía requerida para comer, digerir y metabolizar el alimento y con el calor liberado en estos procesos <sup>7</sup>. El calor producido por el animal está relacionado con el procesamiento de la dieta, el trabajo realizado para masticar del alimento, el movimiento del aparato digestivo, el calor de fermentación, el incremento calórico de la transformación de los nutrientes, el gasto para mantener la temperatura corporal y otras actividades como la circulación, respiración, locomoción y renovación de tejidos <sup>20</sup>. En ese sentido es comprensible que los animales requieran más EMm dados los niveles de consumo que tienen en estos sistemas.

La eficiencia en el uso de la EM para ganancia de peso está relacionada con un conjunto de funciones metabólicas del animal y la habilidad para absorber nutrientes y cubrir sus necesidades metabólicas <sup>7</sup>; puede ser expresada así:  $kg = ENg/EM - EMm$ . En el SSPi este parámetro estuvo entre 39 y 45%, mientras que en el escenario de referencia estuvo entre 38 y 43%.

La EN para mantenimiento es la energía responsable del mantenimiento de la temperatura corporal, la renovación de las moléculas y es parte de la EN que se destina al metabolismo basal <sup>21</sup>. Los valores simulados son similares porque el cálculo que realiza la herramienta (BR-CORTE) es para animales del mismo rango de peso.

La ENm está influenciada por varios factores como: edad, peso, raza, especie, estado fisiológico, nutrición y condiciones ambientales <sup>15</sup>. En este estudio, en los SSPi la ENm estuvo entre 7,47 y 10,8 y entre 7,97 y 11,49 para el escenario de referencia.

La EN para ganancia de peso es la responsable de la respuesta productiva en ganadería de carne (i.e. ganancia de peso). En SSPi la ENg estuvo entre 2,61 y 3,79 Mcal/día; siendo 3 veces más alta que en el escenario de referencia para los mismos rangos de peso.

La deposición de ENg ocurre cuando la ingestión de alimento excede las necesidades para mantenimiento y por lo tanto, la energía disponible se invierte en la ganancia de peso. Las exigencias de ENg son estimadas por la cantidad de energía depositada como materia orgánica (proteína o grasa) en el cuerpo del animal <sup>5</sup>. Los valores encontrados en la simulación indican que los animales en el SSPi tienen entre 2,23 y 2,46 más Mcal de ENg para llevar a producto animal respecto al escenario de referencia.

La producción de calor en SSPi se estimó relacionando el uso y eficiencia de la energía para ser transformada en producto animal. Para tal efecto se realizó un ejercicio comparando los sistemas con relación a la energía invertida y utilizada para la ganancia de 100 Kg de PV (Tabla 3).

En el ejercicio presentado en la Tabla 3, se aprecia que la permanencia (en días) de los bovinos en el SSPi fue casi una tercera parte que la de los animales en SC para todos los rangos de peso evaluados: 120 vs 333 (250 a 350 kg), 124 vs. 333 (350 a 450 kg), y 122 vs 333 (450 a 550 kg) para el SSPi y el SC, respectivamente.

## Discusión

### *Caracterización bromatológica de la dieta consumida en cada sistema SSPi*

Es importante resaltar la contribución de la leguminosa *L. leucocephala* en términos de aumentar la oferta en la dieta de PC y Ca y disminuir la oferta de FDN y FDA. Al calcular el contenido esperado de la dieta en SSPi, considerando los valores de consumo observados por Cuartas (2013) de 32% de *L. leucocephala* y 68% de gramínea, se estima una oferta de PC de 13,3%; la cual es adecuada para los requerimientos de los animales en el estado fisiológico evaluado <sup>5</sup>.

### *Gasto energético de los bovinos en pastoreo*

Las proyecciones realizadas indican que los SSPi permiten a los animales ser más eficientes en el uso de la energía, como se describió anteriormente en los resultados individuales (Tabla 2). Además, en hatos que pastorean juntos, representan una opción para mejorar la disipación de calor, porque la producción de calor derivada de *caminar* representa una parte importante del cálculo de incremento calórico en animales que pastorean sistemas extensivos con baja disponibilidad de forraje y calidad nutricional pobre.

El calor de actividad representa una pérdida de energía neta para los animales, por caminar, rumiar, pastorear y echarse y levantarse. Como se muestra en la Tabla 2, la actividad que genera mayor gasto energético es el pastoreo; siendo superior en SC (12.870) que en SSPi (4.977), probablemente por la contribución de los arbustos en la oferta de forraje, que incrementan sustancialmente la tasa de consumo diario <sup>16</sup>. *Caminar* presentó valores diarios por animal de 0,56 km para SSPi y 5,95 km para el SC. Esto está asociado a que en los SSPi evaluados, el manejo de los lotes de pastoreo se realiza en áreas pequeñas, disminuyendo la necesidad de caminar largas distancias en búsqueda de alimento, agua y sal mineralizada. En SC, por el contrario, se utilizan áreas mayores de pastoreo, obligando a los animales a invertir mayor cantidad de energía en la búsqueda, selección y

consumo de alimento, agua y sal mineralizada. Para el SC se utilizó el promedio de caminata de varios estudios en bovinos en pastoreo, dando como resultado 5,96 km/animal/d <sup>17</sup>, valor que supera más de 10,63 veces al mismo parámetro encontrado en SSPi.

El incremento calórico fue 1,92 veces más alto en el grupo SC que en SSPi, y el gasto energético asociado a las actividades de rumia, pastoreo y cambio de postura (echarse-pararse) representó cerca de 3 veces más en el grupo SC respecto al SSPi. En consecuencia, la diferencia en el uso de la energía favorece a los SSPi, ya que la energía disponible para convertir a producto representa 132% cuando se compara con el SC (12.682 vs 9.577 Mcal/d). Según estos cálculos, es posible afirmar que los SSPi ofrecen más energía que puede transformarse en producto animal.

### *Cálculos de las necesidades energéticas de los animales*

Los animales que pastorean SSPi requieren consumir menos (MS kg/d) para ganar un kilogramo de peso vivo, es decir, retienen más energía como producto (carne). Esto a pesar de que el consumo de MS (kg/día) fue mayor en animales en SSPi, siendo 6,5 vs 5,0 para animales entre 250 y 350 kg, 8,0 vs 6,5 para animales entre 350 y 450 kg y 9,5 vs 8,0 para animales entre 450 a 550 kg para SSPi y SC, respectivamente. El consumo diario de forraje como porcentaje del PV, es superior en SSPi comparado con el de monocultivos de pasturas <sup>16</sup>.

Respecto a la eficiencia en el uso de la EMm (km), diversas alteraciones metabólicas están asociadas al proceso de pastoreo donde el animal necesita caminar mucho para buscar el forraje, seleccionarlo y consumirlo; lo que resulta en un aumento de la actividad física y en mayor gasto energético. En consecuencia, las variaciones en el incremento calórico también están relacionadas con la cantidad de energía disponible para mantenimiento y crecimiento que están asociadas a la actividad física de los animales <sup>22</sup>. Según Fox *et al.*, <sup>23</sup> km varía entre 56,7% (típica de gramíneas) y 68,6% (típica de granos); por lo cual los resultados obtenidos para los SSPi son satisfactorios (entre 64 y 65%).

La actividad de pastoreo puede aumentar la movilización de reservas energéticas en el tejido muscular como creatina y fosfocreatina<sup>(24)</sup> que son renovadas a partir del consumo de niveles adecuados de energía<sup>(25)</sup>, reduciendo la disponibilidad de ENg y su eficiencia en animales que tienen que caminar distancias considerables para buscar el alimento, tal como se simuló en el escenario de referencia. Mientras que en los SSPi los animales cuentan con forraje disponible y no tienen que caminar largas jornadas (Tabla 2).

En bovinos destinados a la producción de carne las exigencias de energía para mantenimiento (ENm) pueden llegar a corresponder hasta el 70% de las exigencias totales de energía de los bovinos<sup>5</sup>. Valadares-Filho *et al.*,<sup>15</sup> utilizando los datos de BRCORTE, estimaron las exigencias de ENm para cebuinos, encontrando que los animales en pastoreo requieren 11% menos que los animales en confinamiento. Los resultados de las simulaciones en este estudio reflejaron que en los SSPi la ENm estuvo entre 7,47 y 10,8 para SSPi y entre 7,97 y 11,49 para SC.

En lo que respecta a ENg, lo encontrado en la simulación indica que animales en SSPi tienen mayor energía suficiente para convertir en producto animal que los del escenario de referencia. Así; los animales pastoreando en el SSPi, destinaron el 35% de la EN a generación de producto (ganancia de peso), mientras que en aquellos en SC sólo destinaron el 15,3% de la EN para ganancia de peso corporal.

La producción de calor en los animales está influenciada por un número de factores interrelacionados — disponibilidad y calidad de forraje, condiciones ambientales y comportamiento de los animales en pastoreo—<sup>8</sup>. Cuando se ha estimado la producción de calor en animales en pastoreo a partir de la frecuencia cardiaca, el gasto energético relacionado con las actividades de locomoción y pastoreo, —tanto horizontales como verticales en las zonas de pastoreo—,

la producción de calor estuvo entre 8,0 y 11,2% de la producción total de energía<sup>8</sup>.

El cálculo de los días de permanencia en cada sistema de pastoreo para el incremento de 100 kg de PV, es consistente con evaluaciones de desempeño en SSPi. Mahecha *et al.*,<sup>26</sup> encontraron que la GDP estaba entre 832 y 856 g/d y que los animales alcanzaban el peso al sacrificio en 264 días. Además de mejorar el desempeño animal, los SSPi mejoran las características de la canal y su rendimiento<sup>27</sup>.

Con los resultados de estas proyecciones es posible presentar una aproximación económica para los sistemas según su eficiencia en el uso de la energía y con relación al desempeño productivo de los animales. Según la Tabla 3, se requieren 999 días en SC para que un animal logre ganar 300 kg de PV, mientras que en SSPi se necesitan sólo 366 días. En los 999 días que pasa un animal en SC para ganar 300 kg se generan US\$567<sup>a</sup>, mientras que un animal con manejos y tecnologías SSPi en ese mismo periodo produce 819 kg que pueden venderse en US\$1.548 (>US\$980 en SSPi). Teniendo en cuenta las capacidades de carga (UGG/ha) para SSPi (3,5) y SC (1,2) la producción de carne kg/ha/año sería de 154 y 1.229 para el SC y SSPi respectivamente, que corresponde a US\$291 en SC y US\$2.326 en SSPi por ha/año (>US\$2.035 en SSPi).

## Conclusiones

Los animales que pastorean SSPi son más eficientes en el uso de la energía como consecuencia de la menor dedicación de tiempo en actividades relacionadas con el pastoreo y presentan desempeños productivos superiores con respecto al escenario de referencia utilizado.

En SSPi se mejora la eficiencia en el uso de la energía por los animales, debido a que se reduce el tiempo necesario para llegar al sacrificio, en respuesta a mayores ganancias diarias de peso vivo; con lo que la eficiencia y

<sup>a</sup> Según el Boletín 47 (Nov 2012) de las estadísticas de precios semanales de FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos) el precio promedio por kilogramo de peso en pie es US\$1,89 con TRM del día Miércoles 16 de Enero de 2013: \$1.769,88 pesos colombianos por dólar estadounidense

la ganancia es superior casi tres veces en el SSPi.

En promedio para los rangos de peso evaluados, en los animales pastoreando en el SSPi, el 35% de la EN fue destinada a ganancia de peso, mientras que en aquellos del SC, solo 15,3% de la EN fue destinada a ganancia de peso corporal.

## Recomendación

Es necesario continuar realizando estudios en esta temática, a fin de elucidar los efectos asociados con diferentes periodos del año (lluvias y sequías); sistemas de manejo (confinamiento, semi-estabulación, pastoreo), sistemas de producción (especializados en leche, cría, carne, entre otros), sistemas de pastoreo utilizados, insumos empleados, y costos de producción. Esto permitirá una mejor comprensión de las variaciones en la eficiencia energética de los animales <sup>28</sup>, además de permitir una mejor toma de decisiones en relación al tipo de rotación a seguir, ajustes de la capacidades de carga o preferiblemente de la presión de pastoreo e intensidad en el uso de la mano de obra y de insumos requeridos para los diferentes sistemas.

## Agradecimientos

César A Cuartas, Juan F Naranjo y Ariel M Tarazona, agradecen la contribución recibida por el Posgrado en Ciencias Animales de la Universidad de Antioquia y al programa de formación doctoral “Francisco José de Caldas” Generación del Bicentenario de Colciencias.

A la Hacienda El Chaco y a sus propietarios, personal y todos los que apoyaron en la toma de los datos. A la Fundación CIPAV, líder en el país de los procesos de investigación pecuaria en campo y para este caso, de los sistemas silvopastoriles intensivos. Al proyecto “Mejoramiento de la productividad y calidad de carne mediante modelos de sistemas silvopastoriles intensivos asociados a maderables hacia una ganadería sostenible en la terraza de Ibagué” cofinanciado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y ejecutado por la

Fundación CIPAV y la Universidad de Antioquia en la Hacienda El Chaco, Tolima.

## Referencias

1. Poppi DP, McLennan SR. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *J Anim Sci.* 1995 Jan;73(1):278–90.
2. Juarez Lagunes FI, Fox DG, Blake RW, Pell AN. Evaluation of Tropical Grasses for Milk Production by Dual-Purpose Cows in Tropical Mexico. *J Dairy Sci.* 1999 Oct;82(10):2136–45.
3. Leng RA. Factors affecting the utilization of “poor-quality” forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr Res Rev.* 1990 Jan;3(1):277–303.
4. Murgueitio E, Calle Z, Uribe F, Calle A, Solorio B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol Manag.* 2011 May 15;261(10):1654–63.
5. NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. 7th ed. Washington, D.C.: The National Academies Press; 2000.
6. Freitas JA de, Queiroz AC de, Dutra AR, Vieira RAM, Lana R de P, Leonel F de P, et al. Body composition and net energy requirements for maintenance of feedlot purebred and crossbred Nellore young bulls. *R Bras Zootec.* 2006 Jun;35(3):878–85.
7. Berchielli TT, Pires AV, De Oliveira SG, editors. Nutrição de Ruminantes. 2.edição ed. Funep; 2011.
8. Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, et al. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: A repeated study in larger plots. *J Anim Sci.* 2010Jan1;88(1):315–23.
9. Holdridge LR. Ecología basada en zonas de vida. Agroamerica; 1987.
10. Cajas S, Cuesta P, Martínez J, Arreaza LC, Barahona R. Desarrollo y validación de tecnologías para mejorar la competitividad de los sistemas de ceba bovinos en el Valle del Sinú. *Rev Col Cienc Pec.* 2011;24(3):470.

11. Martin P, Bateson P. *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*. 2nd ed. Uk: Cambridge University Press; 1993.
12. Forbes JM. *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals: Selection of Farm Animals*. 2nd ed. Oxfordshire, UK: CABI; 2007.
13. Gordon IJ, Prins HHT. Introduction: Grazers and Browsers in a Changing World. In: Gordon IJ, Prins HHT, editors. *The Ecology of Browsing and Grazing* [Internet]. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008 [cited 2012 Dec 14]. p. 1–20. Available from: [http://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72422-3\\_1](http://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72422-3_1)
14. Caro TM, Roper R, Young M, Dank GR. Inter-Observer Reliability. *Behaviour*, 1979;69(3/4):303-315
15. Valadares Filho S de C, Marcos Inácio MI, Paulino PV. *Exigências nutricionais de Zebuínos, puros ou cruzados. BR-Corte. 2a Edição. Viçosa, MG.: Universidade Federal de Viçosa; 2010.*
16. Cuartas CA. Evaluación de la utilización de los nutrientes y comportamiento productivo de bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* [Investigación]. [Colombia]: Universidad de Antioquia; 2013.
17. Kilgour RJ. In pursuit of “normal”: A review of the behaviour of cattle at pasture. *Appl Anim Behav Sci*. 2012 Apr;138(1–2):1–11.
18. García A, Abadía B, Barahona R, Sánchez S. 2009. Caracterización fitoquímica de factores Antinutricionales en las hojas de uvito (*Cordia dentata* Poir) *Rev. MVZ Córdoba*. 2009; 4(1):1611-1623.
19. Barahona R, Sánchez S. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuarias*. 2005;6(1):69–82.
20. Lawrence TLJ, Fowler VR. *Growth of Farm Animals*. 2nd ed. Oxfordshire, UK: CABI; 2002.
21. Oliveira V de, Warpechowski M. Evaluation of models to predict metabolizable energy of corn for chickens. *Ciência Rural*. 2009 Aug;39(5):1514–20.
22. Herd RM, Oddy VH, Richardson EC. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric*. 2004 Jan 1;44(5):423–30.
23. Fox DG, Tylutki TP, Tedeschi LO, Amburgh MEV, Chase LE, Pell AN, et al. Sistema de carboidratos e proteínas “líquidos” para a avaliação da nutrição de rebanhos e excreção de nutrientes (CNCPS Versão 5.0): documentação do modelo CNCPS. *Embrapa Gado de Leite*; 2003.
24. Richardson EC, Herd RM, Archer JA, Arthur PF. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric*. 2004 Jan 1;44(5):441–52.
25. Andersen HJ, Oksbjerg N, Young JF, Therkildsen M. Feeding and meat quality – a future approach. *Meat Sci*. 2005 Jul;70(3):543–54.
26. Mahecha L, Murgueitio M, Angulo J, Olivera MC, Zapata A, Cuartas CA, et al. Ceba de bovinos doble propósito pastoreando en Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Memorias, IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos “En la Ganadería Con Ciencia, La red Global conectando la Biodinámica de la naturaleza y ética productiva. Morelia y Valle de Apatzingán/Tecalpatepec, Michoacán, México: Fundación Produce Michoacán; 2012. p. 143–51.*
27. Mahecha L, Angulo J. Nutrient Management in Silvopastoral Systems for Economically and Environmentally Sustainable Cattle Production: A Case Study from Colombia. In: Whalen J, editor. *Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management - A Global Perspective*. InTech; 2012. p. 201–16.
28. Kelly AK, McGee M, Crews DH, Fahey AG, Wylie AR, Kenny DA. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J Anim Sci*. 2010 Jan 1;88(1):109–23.