

CONSUMO Y PRODUCTIVIDAD EN VACAS HOLSTEIN PASTOREANDO UN SISTEMA SILVOPASTORIL VS MONOCULTIVO DE KIKUYO Y SUPLEMENTADAS CON GRASAS INSATURADAS

Consumption and productivity in Holstein cows grazing silvopastoral system vs monoculture of Kikuyo and supplemented with unsaturated fats

Juan Leonardo Cardona-Iglesias¹, Liliana Mahecha-Ledesma² y Joaquín Angulo-Arizala²

Este trabajo formó parte de la tesis de grado de la maestría en Ciencias Animales del primer autor, en la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia.

Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de investigación en Ciencias Agrarias-GRICA, AA 1126, Medellín, Colombia. jleonardo.cardona@udea.edu.co, liliana.mahecha@udea.edu.co, joaquin.angulo@udea.edu.co
Autor para correspondencia: liliana.mahecha@udea.edu.co

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación con ácidos grasos polinsaturados, a vacas Holstein pastoreando un sistema silvopastoril (SSP) con botón de oro (*Tithonia-diversifolia*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex chior) (6vacas) o un monocultivo de kikuyo (MONO) en trópico alto (6 vacas), sobre el consumo de materia seca (CMS), la producción de leche y su composición. Se utilizó un concentrado base con tres diferentes combinaciones lipídicas: D1 concentrado testigo: 3 % grasa-saturada comercial; D2 concentrado 2: 1% de Aceite-Soya, 0,5% Aceite-pescado y 1,5% de grasa sobrepasante rica en ácidos grasos-n3 (omegas 3); D3 concentrado 3: 2,5% Aceite-Soya 0,5% Aceite-pescado. Las variables estudiadas se analizaron durante dos rotaciones mediante un diseño de bloques completos al azar (BCA). El CMS se evaluó por el método de los marcadores utilizando óxido de cromo como marcador externo y la materia seca indigerible (MSi) como marcador interno. El consumo de materia seca total (CMSt) fue mayor ($P<0,05$) para las vacas del SSP 19,26 kilogramos (kg) materia seca (MS)/día (d) vs 17,26 (kg MS/día), para las vacas del MONO. Así mismo, los valores de producción de leche (28,24 litros (L)/d; kg de grasa/d (0,89) y kg proteína/d (0,83) fueron mayores en SSP mientras que los valores de nitrógeno ureico en leche (MUN): 12,3 miligramos (mg) /decilitros (dL)) y recuento de células somáticas (RCS): 67,26 (1000 x mililitro (mL)), fueron menores para las vacas del SSP ($P<0,05$). La suplementación con grasas insaturadas no tuvo efecto negativo sobre las variables analizadas. Se concluye que los SSP con botón de oro y la suplementación con grasas insaturadas para vacas lecheras en trópico alto podrían ser una estrategia nutricional para mejorar la producción y calidad de leche.

Palabras clave: Consumo materia seca; producción de leche; *Tithonia diversifolia*

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of supplementation with polyunsaturated fatty acids, to Holstein cows grazing in a silvopastoral system (SSP) with wild sunflower (*Tithonia-diversifolia*) and kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex chior) (6 cows) or a monoculture of kikuyo (MONO) in the high tropics (6 cows), on dry matter consumption (CMS), milk production and its composition. A base concentrate was used with three different lipid combinations: D1 control concentrate: 3 % commercial saturated fat; D2 concentrate 2: 1% Soy-Oil, 0.5% Fish-Oil and 1.5% excess fat rich in fatty acids-n3 (omegas 3); D3 concentrate 3: 2.5% Soy-Oil 0.5% Fish-Oil. The studied variables were analyzed during two rotations by means of a random complete block design (BCA). CMS was evaluated by the marker method using chromium oxide as the external marker and indigestible dry matter (MSi) as the internal marker. Total dry matter consumption (TDC) was higher ($P<0.05$) for SSP cows 19.26 kilograms (kg) dry matter (DM)/day (d) vs 17.26 (kg MS/day), for MONO cows. Likewise, the values of milk production (28.24 liters (L)/d, kg of fat/d (0.89) and kg of protein/d (0.83) were higher for SSP cows while urea nitrogen in milk (MUN): 12.3 milligrams (mg) /deciliters (dL)) and somatic cell count (RCS): 67.26 (1000 x milliliter (mL)), were lower for SSP cows ($P<0.05$). Supplementation with unsaturated fats had no negative effect on the analysed variables. It is concluded that wild sunflower SSPs and unsaturated fat supplementation for dairy cows in the high tropics could be a nutritional strategy to improve milk production and quality.

Key words: Dry matter consumption; milk production; *Tithonia diversifolia*

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la mayoría de los sistemas ganaderos de lechería especializados en trópico alto se desarrollan bajo condiciones extensivas, donde predomina el monocultivo de gramíneas, la alta fertilización nitrogenada y es escasa la presencia de cobertura arbórea en las praderas [58, 74]. Dichos sistemas productivos requieren de cambios estructurales para tratar de mejorar la producción, la sostenibilidad y la calidad de su producto base, la leche [7]. En las ganaderías de trópico alto colombiano se hace fundamental diseñar estrategias de alimentación que mejoren la sincronía ruminal de energía – proteína, para así potencializar la productividad animal y de paso disminuir las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente [29,74].

En este sentido, en el documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) 3675 [23] donde se describe la política nacional para potencializar el sector lácteo colombiano se propone como una estrategia del plan de acción, la promoción e implementación de sistemas silvopastoriles (SSP) en zonas estratégicas del país con el fin de fortalecer la producción lechera. Los SSP se caracterizan por tener una mayor producción y calidad forrajera destinada a la nutrición animal, incrementándose así el aporte de nutrientes, lo que conlleva al aumento de la producción de leche por animal. Así mismo, los SSP contribuyen al bienestar animal y disminuyen el uso de fertilizantes especialmente nitrogenados [26, 56,58].

En concordancia con lo anterior, desde hace varios años se vienen impulsando en el país estos sistemas adaptados a condiciones de trópico alto [9,55], cada vez son más notorios los esfuerzos para tratar de intensificar el uso de especies forrajeras promisorias las cuales han demostrado sus ventajas a nivel ambiental, nutricional y productivo. Una especie forrajera tradicional es la *Tithonia diversifolia*, la cual se ha utilizado en la alimentación de bovinos (*Bos taurus*) tipo leche, pero de los cuales pocos estudios se han realizado, lo que hace necesario que se siga investigando al respecto [70]. En dicha arbustiva se ha identificado la presencia de metabolitos secundarios y un buen contenido de proteína y carbohidratos solubles, lo que podría contribuir a un mejor balance ruminal debido al aporte de

proteína y energía que hace al animal [28,50].

Las vacas en sistemas de pastoreo, requieren energía suplementaria para sostener la alta producción como compensación a los bajos consumos de energía provenientes de los pastos [3]. La tendencia mundial ha sido suplementar con granos ricos en lípidos o de forma directa con fuentes de grasa de origen animal o vegetal, sin embargo altos niveles de grasa en la dieta (> 6% de grasa como porcentaje de la materia seca (MS)) tiene efectos negativos sobre la digestibilidad de la fibra en rumen [6, 66, 75, 81]. Esta acción negativa también puede influenciar sobre la producción y la calidad composicional de la leche y su intensidad depende de la fuente y nivel de inclusión de éstos en la dieta [42].

Independiente de la estrategia nutricional en los sistemas de pastoreo, el objetivo principal debe ser garantizar un óptimo consumo de materia seca (CMS). Para establecer la capacidad productiva y evaluar el estado nutricional de los animales, es indispensable determinar el CMS por los bovinos [31]. El bajo consumo de forraje en bovinos en pastoreo se considera como uno de los factores limitantes para la producción de leche [79]. Los sistemas pastoriles donde los bovinos tienen acceso a una sola clase de pastura no permiten la selectividad en el animal, pero cuando el bovino tiene la opción de ser selectivo, el CMS se regula y permite que el animal mantenga un adecuado balance de nutrientes de acuerdo a sus necesidades [24]. Es por eso que la mejor opción de manejo es ofrecer al animal, sistemas de pastoreo que le permitan regular el consumo y la selectividad, fomentando así el bienestar y la eficiencia productiva [82].

En el trópico alto Colombiano son pocos los trabajos en los que se haya estimado el CMS, la producción y calidad composicional de la leche de vacas lecheras en SSP de trópico alto, consumiendo *Tithonia diversifolia* como forrajera de ramoneo y menos aún, que además de pastorear en esta clase de sistemas sean suplementadas con fuentes lipídicas insaturadas. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar en vacas Holstein pastoreando un SSP o en monocultivo, el efecto de la suplementación con ácidos grasos polinsaturados (AGPI), sobre el CMS, la producción de leche y su composición.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LOS ANIMALES UTILIZADOS EN AMBOS SISTEMAS

Parámetros	Sistema (SSP)	Sistema (MONO)
	Prom D.E	Prom D.E
Peso vivo (kg)	500 ± 65,0	538 ± 18,5
Condición corporal (cc)	3,25 ± 0,2	3,25 ± 0,5
Días de lactancia (DEL)	113,5 ± 38,0	105 ± 39,0
Producción leche (L/día)	24 ± 4,0	24 ± 4,7
Contenido de grasa, %	2,96 ± 0,26	2,97 ± 0,15
Contenido de proteína, %	2,85 ± 0,17	2,82 ± 0,19

SSP: Sistema Silvopastoril; MONO: Monocultivo; Prom: promedio; D.E: desviación estándar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se desarrolló durante el primer semestre del 2016 en la hacienda La Montaña, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia-Colombia); zona de vida: bosque húmedo montano bajo, 2350 - 2500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) temperatura promedio 15°C y coordenadas: 6° 26 '59.606 N 75° 32'37.088 W.

Animales

Se seleccionaron 12 vacas de raza Holstein, con más de 2 partos, entre 60 y 150 días de lactancia (DEL). Antes del inicio del ensayo se pesaron en báscula marca TRU-TEST-Ec2000, Colombia, en los animales se evaluó la condición corporal (escala de 1 a 5, considerando 1 como un animal excesivamente delgado y el 5 obeso). Se verificó que estuvieran en un estado sanitario óptimo. Las 12 vacas del ensayo fueron repartidas aleatoriamente en los dos sistemas de pastoreo. Seis vacas estuvieron pastoreando en un sistema silvopastoril (SSP) con Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y las otras seis en un monocultivo (MONO) de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinum Hochst ex chior*) (TABLA I) El número de animales en cada sistema fue definido con base en la capacidad de carga estimada, previa a la realización de la investigación de campo.

Sistemas de pastoreo

La investigación se efectuó en dos sistemas de pastoreo diferentes, cada uno con un área total de 1,4 hectáreas (ha). Los sistemas fueron: un SSP de baja densidad con arbustos de Bo-

tón de oro (*Tithonia diversifolia*) como forrajera de ramoneo y un MONO de solo pasto kikuyo. La TABLA II muestra la composición química de los forrajes en ambos sistemas.

El SSP estuvo conformado por pasto kikuyo y surcos de Botón de oro sembrados a 8 metros (m) entre surcos y 1 m entre plantas y 30 árboles para sombrío distribuidos en toda el área. En ambos sistemas se utilizó un pastoreo rotacional por franjas (36 franjas) con un promedio de 389 m² cada una. La ocupación de cada franja fue de 1 día (d) y el periodo de descanso para el pasto kikuyo fue de 35 d y para el Botón de oro de 70 d. Por lo tanto, el SSP se manejaba con una rotación donde los animales tenían acceso al Botón de oro y en otra no; para lograr esto, los surcos de botón de oro se protegieron mediante cinta eléctrica (Cinta eléctrica Ultra White-Super Fox-Colombia), en la rotación en la cual los bovinos no tenían acceso a la forrajera. El SSP no recibió fertilización química alguna, mientras que los potreros del MONO se fertilizaban 10 d después de cada rotación con fertilizante comercial con alto contenido de nitrógeno (N) (42-0-5) a razón de 52,73 kg N/ha y con bovinaza como fertilizante orgánico 10,000 litros (L)/ha.

Alimento concentrado y suplementación lipídica

Se formuló un concentrado isoproteico e isoenergético el cual se elaboró en la misma finca (TABLA III). En la formulación se utilizaron fuentes lipídicas con un nivel máximo de inclusión correspondiente al 3% del CMS, este consumo para los sistemas evaluados se estimó en un ensayo previo. Para la formulación se incluyeron tres combinaciones de fuentes lipídicas ricas en ácidos grasos poliinsaturados AGPI pero dichas fuentes cambiaron en proporción, también se utilizó una fuente de grasa saturada sobrepasante (GSP). Para la investigación se elaboró un solo concentrado base, pero hubo variación en la fuente de

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS FORRAJES SUMINISTRADOS A LAS VACAS EN AMBOS SISTEMAS

Fracción química % de la MS	Kikuyo (SSP)	Kikuyo (MONO)	Botón oro (SSP)
MST	14,7	14,1	18
PC	20,3	23,9	18,3
FDN	56,3	58,5	44,3
FDA	24,8	25,6	33,3
EE	3,1	2,8	3
Energía Bruta (Kcal/EB)	4373	4360	4183
CEN	12,1	11,9	15
Ca	0,7	0,6	0,9
P	0,4	0,3	0,4
CNE	8,2	3	19,4

SSP: Sistema silvopastoril; MONO: Monocultivo; MST: Materia seca total; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido; EE: Extracto etéreo; CEN: Cenizas; Ca: Calcio; P: Fósforo; CNE: Carbohidratos No Estructurales; Kcal: kilocalorías; EB: Energía Bruta.

TABLA III
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALIMENTO CONCENTRADO

Fracción química % de la MS	D1	D2	D3
MST	86,9	86,9	86,9
PC	15,6	15,6	15,6
FDN	11,7	11,7	11,7
FDA	4,5	4,5	4,5
EE	6	6	6
Energía Bruta (Kcal/EB)	4587,2	4649	4521,4
CEN	7,5	7,5	7,5
Ca	1,5	1,5	1,5
P	0,4	0,4	0,4
CNE	62,2	62,2	62,2

MST: Materia seca total; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido; EE: Extracto etéreo; CEN: Cenizas; Ca: Calcio; P: Fósforo; CNE: Carbohidratos No Estructurales.

Lípidos incluida, lo que dio como resultado a tres concentrados (dietas): concentrado testigo (D1): 3 % grasa saturada comercial; concentrado 2 (D2): 1% de Aceite Soya (AS), 0,5% Aceite de pescado (AP) y 1,5% de grasa sobrepasante rica en ácidos grasos n3 (omega 3); concentrado 3 (D3): 2,5% AS, 0,5% AP.

El concentrado se suministró a los animales dos veces al d, en los ordeños 5:00 am y 2:30 pm, la ración que se suministró por animal correspondió a una relación leche litros L/d: concentrado (kg/d) de 3.5:1, con un consumo máximo de 10 kg concentrado/animal/d. En la TABLA III se presenta la composición química del alimento concentrado utilizado en la investigación. Los animales siempre tuvieron acceso *ad libitum* al agua en el potrero y en la sala de espera del ordeño.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño en Bloques Completos al Azar (BCA), donde los bloques estuvieron representados por dos rotaciones (36 d cada una) en las cuales los animales tuvieron acceso al consumo de Botón de oro en el SSP. La primera rotación se efectuó entre el mes de enero y febrero 2016 y la segunda entre los meses de marzo y abril 2016. Las dos rotaciones evaluadas tuvieron una intermedia (no evaluada) donde el Botón de oro se recuperó. Cada rotación (36 d), tuvo dos periodos de medición (5 d cada uno), antecedidos por dos periodos de acostumbramiento (7 d cada uno). El periodo de acostumbramiento fue para el consumo del óxido de cromo (estimación CMS) de todos los animales y para el acostumbramiento de las vacas al SSP, ya que antes de la investigación pastoreaban en un monocultivo de kikuyo. El periodo de medición hace énfasis a los d en que se recolectaron las diferentes muestras.

Se aplicaron 6 tratamientos en cada rotación (bloque) cada uno en 4 unidades experimentales (vacas), los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

T1: SSP + D1 (4 vacas pastoreando en SSP + D1)

T2: SSP + D2 (4 vacas pastoreando en SSP + D2)

T3: SSP + D3 (4 vacas pastoreando en SSP + D3)

T4: MONO + D1 (4 vacas pastoreando en MONO + D1)

T5: MONO + D2 (4 vacas pastoreando en MONO + D2)

T6: MONO + D3 (4 vacas pastoreando en MONO + D3)

Variables evaluadas

Consumo materia seca (CMS)

Para la estimación del CMS del forraje se utilizó el método de los marcadores, utilizando el contenido de materia seca indigerible (MSi) como marcador interno para estimar la digestibilidad de la materia seca MS [43, 44, 61] y óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo para estimar la producción de heces [14, 46]. En un experimento previo se estimó la tasa de recuperación del cromo en las heces que fue del 80,4%. El Cr_2O_3 se les suministró a los animales a razón de 20 gramos (g)/d en el concentrado durante 12 d (periodos de acostumbramiento (7 d) + medición (5 d) repartidos en ambos ordeños (am/pm). El Cr_2O_3 fue preparado en pellets al ser mezclado (50%) con un alimento comercial (40%) y melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (10%). El consumo diario de concentrado se registró, así como el desperdicio, para tener un acercamiento más preciso del consumo de concentrado/vaca/d.

Durante los 5 d de periodo de medición se tomaron muestras de heces colectadas directamente del recto de cada animal en ambos ordeños. Posteriormente se mezclaron dichas muestras de heces (am y pm/vaca) y se realizó un pool por animal, dichas muestras fueron conservadas bajo congelación (Congelador de laboratorio Value 51 litros-02LREETSA-Colombia) hasta los

procedimientos de laboratorio respectivos [43]. La concentración de Cr_2O_3 se estimó mediante espectrómetro de absorción atómica GBC A8125 (SavantAA AAS (Canada) [83], en el laboratorio de bromatología de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). La producción de heces H se calculó utilizando la ecuación de Lippke [46] ajustada por el contenido de cromo (Cr) en las heces H antes de comenzar el suministro del óxido de cromo:

$$H, g = (g \text{ de Cr en el alimento}) \times (\text{tasa de recuperación del Cr en las heces H}) / (\% \text{ de Cr en las heces H}).$$

La tasa de recuperación del cromo en las heces H utilizada para los cálculos se realizó en un ensayo previo a la investigación, esta fue del 80,4 % (datos sin publicar por el autor), este valor estuvo dentro de los rangos reportados por otros autores como Phar y col. [65] de 79,4 % y Correa [13] de 85,7 %. Para la determinación de la MSi, las muestras del forraje, concentrado y de las heces H de cada vaca se sometieron a una prueba de digestibilidad *in situ* durante 144 horas (h) [14]. Para lo anterior se empacaron 3 submuestras de 3 g de cada muestra en bolsas de nailon de 5 x 12 centímetros (cm) [13, 43]. Estas fueron luego fijadas a dos cadenas de hierro galvanizada mediante cordel de cáñamo y posteriormente fueron incubadas en el fondo del rumen de dos vacas Holstein canuladas, las cuales pastoreaban pasto kikuyo y se encontraban en la hacienda La Montaña perteneciente a la Universidad de Antioquia.

Cuando finalizó el periodo de medición, las bolsas fueron lavadas con abundante agua hasta que éstas salieran limpias, posteriormente las bolsas con el residuo posincubación se secaron en estufa de ventilación forzada marca Memmert-Alemania a 65°C durante 48 h. Después del secado, las bolsas se volvieron a pesar y por diferencia se calculó la MSi. Con los datos de la concentración de este marcador interno en las heces (MSih), en el concentrado (MSic) y en los forrajes (MSif) y con la información del CMS del concentrado (CMSc), se calculó el CMS del forraje (CMSf), mediante la siguiente fórmula [30]:

$$CMSf \text{ kg/vaca/d} = ([MSih] \cdot H - [MSic] \cdot CMSc) / [MSif]$$

También se estimó el CMSf mediante el método agronómico (entrada y salida), donde se asumió que la diferencia entre el aforo de entrada y el de salida fue la cantidad de forraje consumido por los animales. Para la realización del aforo del kikuyo se utilizó la metodología del doble muestreo Haydock y Shaw [39]. El aforo del Botón de oro se realizó mediante una adaptación que se le hizo a la metodología descrita por Mahecha y col. [48], en la cual se seleccionaban tres estratos de la arbustiva en cada franja, luego se recolectaban u “ordeñaban” todas las hojas y tallos tiernos de los arbustos seleccionados y se pesaban. Posteriormente y de acuerdo a los estratos establecidos, se calificó visualmente cada uno de los arbustos en cada franja y se estimó la disponibilidad de forraje por arbusto y por franja mediante ecuación de regresión lineal. La realización del aforo por el método agronómico también sirvió para estimar la relación kikuyo: botón de oro

consumida por los animales en el SSP.

Producción y calidad de leche

Se registró la producción de leche (L/vaca/d durante los periodos de medición. Para la calidad composicional de la leche se tomaron 2 muestras por periodo, la primera correspondiente al pool de los d 1 y 2; la segunda correspondiente al pool de los d 3; 4 y 5. Las muestras individuales se recolectaron directamente de un medidor de leche en el ordeño mecánico. Posteriormente se determinó el contenido de grasa, %; proteína, %; sólidos totales, %, lactosa, %; MUN (Nitrógeno Ureico Leche), miligramos (mg)/decilitros (dL) en un equipo Milkoscan FT1(FOOS - Dinamarca) y Recuento Células Somáticas (RCS) en un equipo Milkoscan FT1(FOOS - Dinamarca) en el laboratorio de calidad de leche de la Universidad de Antioquia (Medellín-Colombia). Para corregir la leche por grasa al 4 % se realizó según la National Research Council (NRC) [57] ($LCG = 0,4 \times \text{kg leche} + 1,5 \times \text{kg grasa}$).

Composición química de la dieta

Las muestras de forrajes y de concentrado se secaron en estufa de ventilación forzada marca Memmert-Alemania durante 65°C por 72 h, posteriormente fueron molidas en un molino estacionario Thomas-Wiley modelo 4 (EUA) con una malla de 1,0 milímetros (mm). Para la determinación de la composición química de los alimentos se utilizaron las técnicas analíticas de la Association Of Official Analytical Chemist (AOAC) [1]. Calcio (Complexométrica con EDTA), Fósforo (Espectrometría UV-VIS, NTC 4981), Cenizas totales (Incineración directa AOAC 942,05), Fibra detergente ácida (Van Soest norma AOAC 973,18), Fibra detergente neutra (AOAC 962,09 y 978,10), Humedad (Termogravimétrico IR), Extracto etéreo (AOAC ID 973,18), proteína bruta (Kjeldahl basado en NTC 4657) [1].

Análisis estadístico

Los datos de producción de leche, calidad composicional y CMS, fueron analizados en un diseño de bloques completos al azar (BCA), en un arreglo factorial 2 x 3 (2 sistemas x 3 dietas), 4 vacas por tratamiento y 6 tratamientos. Para ello se utilizó el PROC LSMEANS del programa estadístico SAS [76]. Se utilizó la sentencia PDIFF para separación de medias y un error alfa de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del sistema sobre las variables estudiadas

Consumo de materia seca

La estimación del CMS en bovinos en pastoreo sigue siendo una limitante técnica y científica, debido a que son complejos los múltiples mecanismos que regulan el consumo y la selectividad [35] La materia seca MS consumida por los bovinos es fundamental en la nutrición, ya que de esto depende el estatus nutricional del animal, su salud, reproducción y eficiencia productiva [18]. Todas

TABLA IV
EFFECTO DEL SISTEMA SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA (KG/DÍA) DEL CONCENTRADO, PASTO KIKUYO Y CONSUMO TOTAL, EN VACAS PASTOREANDO UN SSP CON BOTÓN DE ORO Y MONOCULTIVO DE KIKUYO

Sistema pastoreo	SSP	EE	MONO	EE
CMSc	6,34	0,28	6,23	0,48
CMSk	10,13 ^b	0,71	11,02 ^a	0,83
CMSt	19,26 ^a	0,38	17,26 ^b	0,62

SSP: sistema silvopastoril; MONO: monocultivo; CMSc: consumo materia seca concentrado; CMSk: consumo materia seca pasto kikuyo; CMSt: consumo materia seca total; EE: error estándar; a, b valores con superíndice no comunes en la horizontal difieren $P < 0,05$ (Tukey)

las evaluaciones que se hagan al respecto serán de importancia para seguir documentando el tema, más aún en SSP en trópico alto, donde pocos son los reportes que tratan de explicar el CMS en vacas en pastoreo.

El consumo del pasto kikuyo está limitado por algunas características, entre las que se destacan el bajo contenido de materia seca (MS), el alto contenido de FDN (fibra detergente neutra) y una baja palatabilidad debido a un reducido contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) [47, 52]. Los datos de CMS del pasto kikuyo encontrados en el presente ensayo, tanto para vacas lecheras pastoreando en un SSP (10,13 kg/MS/d) y un MONO (11,02 kg/MS/d) están dentro de los rangos reportados por Correa y col. [15]. Las investigaciones de Betancur y Trujillo [5] y Saldarriaga y Soto [73] señalan en el departamento de Antioquia para vacas en pastoreo, un promedio de CMS del pasto kikuyo de 10,9 kg MS/d, con un máximo de 16,9 y un mínimo de 3,8 kg MS/d. Consumos similares también fueron reportados por Correa y col. [16], los cuales al investigar con vacas Holstein de características similares a las de la presente investigación, pastoreando praderas de kikuyo, encontraron promedios de consumo de 11,6 kg/MS/d con pasto kikuyo.

El CMSk fue superior ($P < 0,05$) para las vacas en el MONO vs el SSP, con un incremento de 0,89 kg/CMS/d, pero cuando se analizó el CMSt las vacas del SSP tuvieron un consumo de 2 kg/MS/d más frente a las vacas del MONO ($P < 0,05$). Montoya y col [54] también encontraron mayor CMSt en vacas lecheras pastoreando un SSP con botón de oro en trópico alto de 10,9 frente a 7,92 kg/MS/d de vacas en un MONO de pasto kikuyo. En la presente investigación no hubo diferencia ($P > 0,05$) para el CMS del concentrado (CMSc), por lo que probablemente el factor diferenciador para que hubiera un mayor CMSt en las vacas pastoreando el SSP fue el consumo de la forrajera (botón de oro). Con el método agronómico se pudo establecer que el consumo promedio de botón de oro/vaca/d fue de 2,78 kg/MS, lo que equivale a 15,5 kg de forraje verde/animal/d.

En el SSP se evidenció de manera general durante la investigación una relación kikuyo: botón de oro de 84,5:17,5, no obstante se presentaron consumos hasta de 6,1 kg/MS de botón de oro/animal/d, cuando en algunas franjas la relación kikuyo: botón de oro era de 68,5:31,5. Rivera y col. [72] reportan en vacas

lecheras cruzadas (*Bos taurus x Bos indicus*) pastoreando SSP intensivos con botón de oro inclusiones de la forrajera del 15% respecto a la gramínea sin afectar el CMS. Mahecha y col. [49] mencionan que inclusiones hasta del 35% de botón de oro en la dieta de vacas lecheras (Holstein x cebú) sin verse afectado el consumo, lo que permite intuir que el CMS en vacas pastoreando SSP con botón de oro, parece estar limitado solo por la cantidad de forraje ofertado y no por el contenido de FDN o FDA de la forrajera.

El aumento del CMSt de vacas consumiendo botón de oro podría estar favorecido por la aceptabilidad que tienen los animales de la forrajera, la alta degradabilidad en rumen (hasta 73,7 %) y al buen nivel de fermentación ruminal que permite mejorar la sincronía entre energía y nitrógeno que ingresa al rumen [36,45,50]. La diversidad de los forrajes en los sistemas silvopastoriles, promueve la regulación del consumo y selectividad dentro de la pradera y le permite al animal mantener un adecuado balance de nutrientes de acuerdo a sus necesidades [78].

Se ha postulado que cuando los bovinos tienen un solo tipo de forraje disponible, éstos no pueden minimizar el estrés metabólico, debido a que se hace difícil cambiar la proporción de alimentos consumidos para balancear los nutrientes de manera eficiente. En tal caso, el animal prefiere consumir alimento en exceso en un intento por llenar requerimientos nutricionales lo que podría generar otros problemas, como sobrecarga de su capacidad gástrica o desordenes metabólicos [24].

En esta investigación, la selectividad de forrajes que ofreció a las vacas el SSP permitió que el CMSt por animal fuera mayor (10,4 % más) respecto al MONO. Es posible que las vacas del SSP hayan disminuido el consumo de kikuyo, porque la reemplazaron por la forrajera, al tener la posibilidad de hacer selectividad. Comprender que los bovinos por naturaleza realizan la selección de los forrajes, es esencial para aprovechar de la mejor forma los recursos naturales [24].

Producción y calidad composicional de la leche

Para la variable producción de leche (L/d) y leche corregida por grasa (LCG) al 4%, solo se evidenció efecto del sistema. Durante la investigación las vacas que pastoreaban el SSP con botón de

TABLA V
EFFECTO DEL SISTEMA SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD COMPOSICIONAL DE LA LECHE,
EN VACAS PASTOREANDO UN SSP CON BOTÓN DE ORO Y MONOCULTIVO DE KIKUYO

	SSP	EE±	MONO	EE±	P-value
PL, litros/vaca/día	28,24 ^a	0,97	24,89 ^b	0,81	0,0001
Contenido de grasa, %	3,19	0,02	3,18	0,02	0,6592
Contenido de Proteína %	3,00 ^a	0,02	2,89 ^b	0,02	0,0001
Contenido de Sólidos Totales %	11,04 ^b	0,11	11,83 ^a	0,04	0,0317
Contenido de Lactosa %	4,56	0,03	4,61	0,03	0,1315
MUN (mg/ dL)	12,3 ^b	0,28	14,7 ^a	0,41	0,0001
RCS x1000/mL	67,26 ^b	6,67	125,35 ^a	20,8	0,0130

SSP: sistema silvopastoril; MONO: monocultivo; PL: producción de leche; MUN: nitrógeno ureico en leche; RCS: recuento células somáticas; EE: error estandar; a, b valores con superíndice no comunes en la horizontal difieren $P < 0,05$ (Tukey).

oro presentaron un mayor promedio de producción de leche (L/d) ($P < 0,05$) respecto a las vacas del MONO (TABLA V).

Las vacas del SSP produjeron en promedio 3,35 L de leche/d más comparadas con las del MONO, la eficiencia de producción de leche (L leche/kg MSt consumida) fue mayor para el SSP 1,5 frente a 1,4 de las vacas del MONO, los datos hallados de producción de leche están relacionados con los de CMSt los cuales también fueron superiores para las vacas del SSP. Bajo condiciones de pastoreo el CMS ha sido catalogado como el componente más limitante para la producción de leche, en sistemas de monocultivo con pasto kikuyo [79]. En praderas de kikuyo, el CMS se podría ver reducido debido al bajo contenido de MS, altos niveles de fibra y bajo contenido de azúcares de la gramínea, lo que sin duda se refleja en la producción de leche [52]. Es común encontrar que en sistemas de lechería especializada en trópico alto, se suplemente con altas cantidades de alimentos balanceados comerciales, con el fin de cubrir las deficiencias energéticas de la gramínea base, el pasto kikuyo [12]. Pero esta práctica en la mayoría de las veces va en contra de la rentabilidad de la empresa ganadera, por el alto costo de los suplementos, además de problemas metabólicos en el animal cuando no se ofrecen de una manera [51, 71]. Urbano y col. [80] mencionan que los SSP incrementan la producción de leche/animal/área, a la vez que disminuyen la suplementación y el uso de fertilizantes nitrogenados en la pradera. La incorporación del botón de oro como forrajera de ramoneo, mejora el aporte de N al rumen por su adecuado contenido de PC y CNE, para este experimento los valores de CNE fueron respectivamente, de 18,3 y 19,4 %.

Los valores de CNE en el botón de oro fueron mayores a los hallados por Medina y col. [50] los cuales reportan porcentajes entre 9,6 y 12,9 %. Los aportes de CNE del botón de oro a la dieta, inducen un impacto positivo en la alimentación de vacas de alta producción, porque favorecen un mejor balance de proteínas pero además debido a la presencia moderada de taninos, este conjunto de nutrientes contribuye a optimizar el balance ruminal de energía proteína y así maximizar la producción de leche [29].

Como la utilización del amoníaco presente en el rumen depende principalmente de la disponibilidad de energía para sintetizar proteína microbiana por los aportes que el botón de oro hace de este nutriente a la dieta, es de esperar una mejor eficiencia en la síntesis de la proteína microbiana. Esta acción favorece la síntesis de proteína láctea y una disminución en el gasto energético por concepto de menores pérdidas de amoníaco, metano y CO_2 , lo cual a su vez disminuye la contaminación ambiental [29]. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por varios autores, los cuales señalan que la inclusión de botón de oro optimiza la calidad composicional de la leche, porque mejora el paso de ácidos grasos de cadena larga y por efecto sobre pasante que ejercen los taninos de la forrajera sobre las proteínas [27,40].

El % de proteína para las vacas del SSP fue de 3,0 %, un 0,11 % más que para las vacas del MONO ($P < 0,05$). La composición de la proteína es un factor muy importante para la industria láctea ya que influye de forma directa sobre el rendimiento y la aptitud tecnológica de la leche bovina, además de ser el nutriente más difícil de aumentar porcentualmente en la leche [10]. Auldíst y col. [4] y Escobar y Carulla [25] argumentan que, un aumento en el CMS en los bovinos aumentan la producción de leche y la concentración de proteína, mientras que la concentración de grasa tiende a mantenerse estable. Lo anterior coincide con lo hallado en esta investigación donde el % de grasa fue igual para la leche de las vacas en ambos sistemas pero la proteína aumentó en la leche de las vacas del SSP. El efecto de un SSP en el aumento de la proteína coinciden con los reportados por Quevedo [69], el cual al evaluar un SSP de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y un MONO (*Cynodon nlemfuensis*), halló un % de proteína de 3,16 para el SSP y de 3,1 % para el MONO ($P < 0,05$), el autor atribuyó el aumento de la fracción proteica de la leche a un mejor balance de nutrientes en el animal por la inclusión del botón de oro en la dieta. Mahecha y col. [49], en una investigación con vacas Holstein x cebú encontraron valores de 3,51 % para la proteína en leche en el tratamiento control y de 3,82 % cuando incluyeron 35 % de la forrajera en la dieta. Son escasos los reportes de

calidad composicional de la leche en vacas, ramoneando botón de oro en SSP de trópico alto. Rivera y col. [72], al evaluar un SSP intensivo de *Leucaena leucocephala* y un sistema tradicional con gramíneas de trópico bajo en el caribe seco colombiano, presentó diferencia significativa ($P<0,01$) para el % de proteína 3,47 % en el SSP frente a 3,36 % del sistema tradicional. Castro y col. [11], al evaluar la calidad composicional en un monocultivo de gramíneas en trópico alto vs una pastura asociada con leguminosa, obtuvieron un promedio de proteína en la pradera asociada de 3,19 % ($P<0,01$) frente a 2,80 % de la pastura sola, resultados que coinciden con lo obtenido en la presente investigación.

González y col. [34] y Gualdrón y col. [37] argumentan que, la composición de la leche proveniente de vacas pastoreando SSP, se favorece por la calidad y diversidad de la oferta forrajera. Nutrientes como la grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y MUN de la leche también mejoran por el aporte de CNE, proteínas con mayor digestibilidad y minerales que propician las forrajeras como el botón de oro. En este trabajo, los sólidos totales en el sistema MONO fueron mayores 11,83 % ($P<0,05$) respecto al SSP 11,04, lo cual se atribuye a que las vacas del MONO tuvieron 13,7% menos producción de leche, a menor producción de leche mayor concentración de los sólidos totales. Los valores de MUN y el RCS también fueron diferentes ($P<0,05$) entre ambos sistemas.

El MUN mg/dL para las vacas pastoreando el SSP fue de

12,3 y para el MONO de 14,7, valores que están considerados dentro del rango normal [21]. Cuando se relacionan el valor del MUN con el % de proteína en la leche, es factible hacer un mejor acercamiento del estatus nutricional del animal y del uso del nitrógeno a nivel metabólico. Según Acosta y col. [2] un valor de MUN entre 12 a 18 (mg/100mL) es considerado como moderado y si se relaciona con valores de proteína entre 3,0 a 3,2 % en vacas entre los 46 y 150 d posparto, ello indica que a nivel ruminal existe un adecuado balance entre las fracciones proteicas y los carbohidratos fermentables [38, 41].

Los datos hallados indican que se produjo un adecuado estatus proteico, lo que permite al disminuir la excreción de nitrógeno al medio ambiente, contribuir a la sostenibilidad ambiental [62]. En ambos sistemas, los RCS estuvieron dentro del rango apropiado de $< 400,000$ células somáticas/mL, rangos en los cuales los productores pueden acceder a bonificaciones por la venta de leche cruda en Colombia [17]. Para el SSP, la presencia de RCS fue de 67,26 (CS/mL) y para el MONO 125,35 (CS/mL) ($P<0,05$), estos valores son favorables en la leche bovina porque permiten disminuir la incidencia de mastitis además de ser un reflejo de un buen estado sanitario y nutricional del animal [17].

En la actualidad no hay estudios que relacionen directamente el consumo de botón de oro en SSP de trópico alto y la disminución en el RCS en la leche de vacas pastoreando dichos sistemas. Aunque es conocido que el botón de oro posee compuestos

TABLA VI
EFFECTO DEL SISTEMA SOBRE LA LCG Y KG DE NUTRIENTES EN LA LECHE DE VACAS PASTOREANDO UN SSP CON BOTÓN DE ORO Y MONOCULTIVO DE KIKUYO

	SSP	EE	MONO	EE	P-value
LCG	24,6 ^a	0,80	21,9 ^b	0,68	0,0001
Kg Grasa	0,89 ^a	0,02	0,79 ^b	0,02	0,0001
Kg Proteína	0,83 ^a	0,02	0,72 ^b	0,02	0,0001
Kg Sólidos Totales	3,06 ^a	0,09	2,82 ^b	0,08	0,0001
Kg Lactosa	1,27 ^a	0,04	1,16 ^b	0,04	0,0001

SSP: sistema silvopastoril; MONO: monocultivo; LCG: leche corregida por grasa; Kg: kilogramos; EE: error estándar; a, b valores con superíndice no comunes en la horizontal difieren para $P<0,05$ (Tukey).

TABLA VII
ESTIMACIÓN DEL PRECIO COMERCIAL DE LA LECHE, PROVENIENTE DE VACAS DEL SSP O EL MONOCULTIVO DE KIKUYO, POR CONCEPTO DE PAGO DE GRAMOS DE NUTRIENTES (SÓLIDOS)

Nutriente	Kg del nutriente en leche vacas SSP	Kg del nutriente en leche vacas MONO	Precio (\$) del gramo de nutriente	Precio (\$) leche vacas SSP	Precio (\$) leche vacas MONO	Diferencia precio (\$) de las leches
Proteína	0,83	0,72	18,27	15164	13154	2010
Grasa	0,89	0,79	6,09	5420	4811	610
Sólidos Totales	3,06	2,82	6,46	19768	18217	1551
Total diferencia						4171

SSP: sistema silvopastoril; MONO: monocultivo; Kg: kilogramos; \$: pesos.

bioactivos que podrían estar involucrados en la disminución de los procesos inflamatorios como la mastitis [19, 20, 32, 33, 59, 60, 63, 64], esa es una hipótesis que tendrá que ser evaluada en futuras investigaciones TABLA VI

En la TABLA se observa diferencia estadística ($P < 0,05$) entre los sistemas evaluados, para las variables leche corregida por grasa (LCG) y demás nutrientes expresados en kg. Es importante tratar de aumentar los sólidos en leche bovina, debido a que en Colombia el pago de leche cruda al productor se reglamenta según su calidad composicional mediante la resolución 0012 de 2007 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Esta ley hace referencia a las características físico-químicas de la leche, e incluye la cantidad de g de proteína, grasa y sólidos totales [53].

Una leche con mayor contenido de nutrientes, es una leche con mejores rendimientos en los procesos industriales para la elaboración de derivados lácteos, se ha comprobado que un incremento de tan solo 0,5 unidades porcentuales de sólidos en la leche, significa un aumento de hasta 5 toneladas en subproductos, por cada millón de litros de leche procesada [7,8]. Un ejemplo del cálculo del valor de la producción promedio de vacas del SSP y del MONO, por concepto del pago de g de nutrientes, se presenta a continuación (TABLA VII):

Según el ejercicio anterior es más rentable comercializar la leche de una vaca del SSP de la presente investigación, por su mayor contenido de nutrientes en términos de g/L de leche producida, además de ser una leche con un mayor valor tecnológico.

Efecto de la dieta (tipo de suplementación lipídica) sobre las variables analizadas

Se hallaron efectos de la dieta para el porcentaje y kg de grasa y para el MUN (mg/dL) (FIGS.1, 2 y 3) en leche, para las demás variables no hubo efecto de la dieta o interacciones.

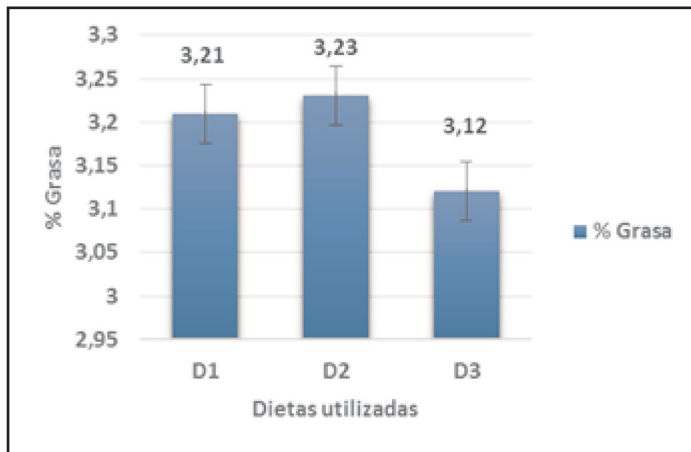


FIGURA 1. PORCENTAJE DE GRASA EN LECHE DE ACUERDO A LA DIETA SUMINISTRADA A LOS ANIMALES.

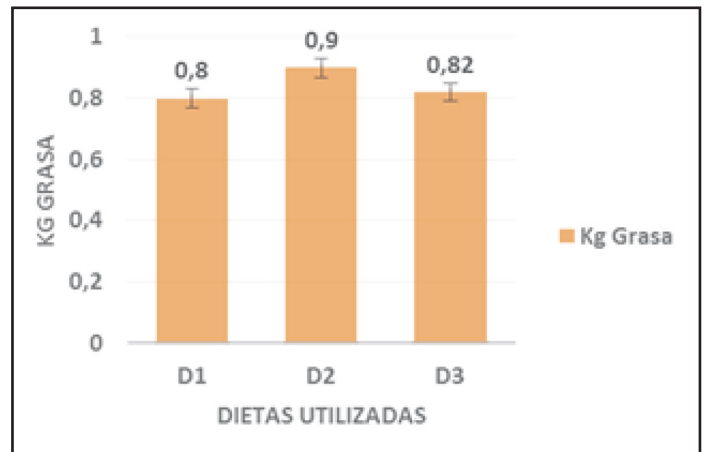


FIGURA 2. KILOS DE GRASA EN LECHE DE ACUERDO A LA DIETA SUMINISTRADA A LOS ANIMALES.

Para ambas gráficas: concentrado testigo (D1): 3 % grasa saturada comercial, concentrado 2 (D2): 1% de aceite soya (AS), 0,5% aceite de pescado (AP) y 1,5% de grasa sobrepasante rica en ácidos grasos n3. concentrado 3 (D3): 2,5% aceite soya (AS), 0,5% aceite de pescado (AS).

El % de grasa en leche fue igual para las D1 y D2, 3,21 y 3,23, % respectivamente ($P < 0,5626$), pero la D3 (3,12 %) difirió de las otras dos ($P < 0,0031$), pero cuando se analizaron los kg de grasa la D2 fue mayor ($P < 0,0001$) que las otras dos, presentando valores de 100 y 80 g más de grasa respecto a la D1 y D3. Los animales que consumieron la D2 en ambos sistemas fueron los que mayor volumen de leche produjeron (27 L/d) frente a 26 L/d de la D1 y 26.7 L/d de la D3, lo que explicaría el por qué en términos de kg de grasa la D2 fue la mejor seguida de la D3.

La D3, aunque presentó el menor % de grasa fue la segunda mejor en términos de kg de grasa, debido al buen volumen de leche hallado en las vacas que consumieron este concentrado. La tendencia mundial de investigar los distintos tipos de grasa

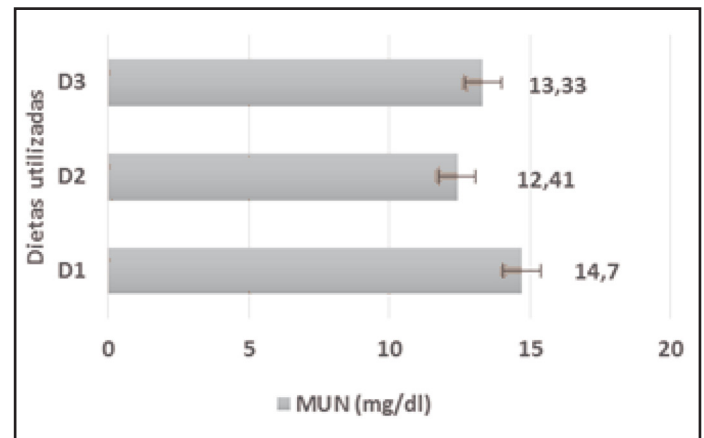


FIGURA 3. VALORES DE MUN (MG/DL) EN LECHE DE ACUERDO A LA DIETA SUMINISTRADA A LOS ANIMALES.

en la suplementación de bovinos, está orientada hacia el mejoramiento de la producción y la calidad de la leche, con el fin entre otros de cambiar la composición de la grasa para hacerla un producto funcional [22].

En este trabajo, los niveles de grasas están por debajo de los valores considerados como críticos, por lo que no se presentó disminución en el consumo y los valores de producción y calidad composicional estuvieron dentro de rangos normales respecto a las demás vacas del predio experimental.

concentrado testigo (D1): 3 % grasa saturada comercial, concentrado 2 (D2): 1% de aceite soya (as), 0,5% aceite de pescado (AP) y 1,5% de grasa sobrepasante rica en ácidos grasos n3. concentrado 3 (D3): 2,5% aceite soya (AS), 0,5% aceite de pescado (AP).

Los valores de MUN (mg/dL) en las vacas que consumieron las tres dietas, estuvieron dentro de los rangos aceptables en los cuales se considera que existe una buena sincronía entre energía- nitrógeno a nivel ruminal [21]. No obstante se presentó un menor nivel de este indicador para las D2 y D3, 12,41 y 13.3 mg/DI, respectivamente, siendo menores estos valores a la D1 (concentrado testigo) la cual contenía grasa saturada comercial. La disminución del MUN en la leche de vacas suplementadas con grasas polinsaturadas, también ha sido reportada por otros autores. Prieto [68] señala disminuciones en el MUN cuando suplementó con niveles del 2 y 4 % de aceite de girasol (*Helianthus annuus*).

Stoffel y col. [77] encontraron disminuciones en el MUN de la leche de vacas suplementadas con distintos niveles de aceite al compararlas con dietas sin suplementación. Además encontraron que el aceite linolénico era más efectivo que el oleico (aceite palma (*Elaeis guineensis*)). Prado y col. [67] consideran que los aceites reducen el MUN en leche como resultado de una mejor utilización del nitrógeno (N) y sugieren que la energía provista de estas fuentes lipídicas, contribuyen a la desaminación y a incrementar la cantidad de aminoácidos necesarios para la gluconeogénesis.

CONCLUSIONES

Se concluye que los SSP con botón de oro como forrajera de ramoneo son una alternativa nutricional para vacas lecheras en trópico alto, porque mejoran el CMS, la producción y la calidad composicional de la leche. La suplementación con diferentes niveles y fuentes de grasas polinsaturadas, no tuvo un efecto negativo sobre el consumo o indicadores productivos, mientras que la proporción D2 fue la mejor opción de suplementación lipídica al presentar los mejores resultados de producción, % y kg de grasa y menor MUN en leche.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al proyecto "Fortalecimiento de la

producción de la cadena láctea del distrito Norte Antioqueño", convenio N° 2012AS180031 firmado entre La Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Antioquia, La Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín) y La Universidad de Antioquia, con recursos del Sistema General de Regalías- SGR, por el apoyo económico para ejecutar este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). Official Methods of Analysis. 18th Ed. AOAC Int. 105 pp. 2005.
- [2] ACOSTA, M.Y.; DELUCCHI, M.O.; OLIVERA, M; DIESTE, C. Urea en leche: Factores que la afectan. En: **Jornada técnica de lechería**. INIA, Florida, 06-06. Uruguay. Pp 97-106. 2006.
- [3] ARENAS, A.F.; NOGUERA, R.R.; RESTREPO, L.F. Efecto de diferentes tipos de grasa en dietas para rumiantes sobre la cinética de degradación y fermentación de la materia seca in vitro. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 23 (1): 55-64. 2010.
- [4] AULDIST, M. J.; THOMSON, N. A.; MACKLE, T. R; HILL, J.P.; PROSSER, C. G. Effects of Pasture Allowance on the Yield and Composition of Milk from Cows of Different β -Lactoglobulin Phenotypes. **J. Dairy Sci.** 83:2069–2074. 2000.
- [5] BETANCUR, J. F.; TRUJILLO, L. G. Balance de nitrógeno en vacas lecheras de alta producción alimentadas con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y dos niveles de suplementación de proteína no degradable en el rumen. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Trabajo de Grado. 30 pp. 2004.
- [6] BOERMAN, J.P.; LOCK, A.L. Effect of unsaturated fatty acids and triglycerides from soybeans on milk fat synthesis and biohydrogenation intermediates in dairy cattle. **J. Dairy Sci.** 97: 7031–7042. 2014.
- [7] CALDERÓN, A.; GARCÍA, F.; MARTÍNEZ, G. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. **Rev. MVZ Córdoba.** 11:725-737. 2006.
- [8] CALDERÓN, A.; GARCÍA, F.; MARTÍNEZ, G. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. **Rev. MVZ Córdoba.** 11: 725-737. 2011.
- [9] CHAMORRO, D.R.; BLANCO, G.; REY, A. Evaluación nutricional del ensilaje de *Sambucus nigra*, *Acacia decurrens* y *Avena sativa*". En: **V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible**. Espinosa, F.; Argenti, P.; Obispo, N.; José, G. (Eds.). Maracay, 12/01-05.Venezuela. 59 pp. 2008.

- [10] CEJNA, V.; CHLÁDEK, G. The importance of monitoring changes in milk fat to milk protein ratio in Holstein cows during lactation. **J. Central Europ. Agricult.** 6: 539-546. 2010.
- [11] CASTRO, R. E.; MOJICA, J. E.; LEÓN, J. M.; PABÓN, M. L.; CARULLA, F. J. E.; CÁRDENAS, R. Productividad de pasturas y producción de leche bovina bajo pastoreo de gramínea y gramínea+ *Lotus uliginosus* en Mosquera, Cundinamarca. **Rev. Med. Vet. Zoot.** 55: 9-21. 2008.
- [12] CORREA, H. J. Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. **Livest. Res. Rural Dev.** 18 (43): 1-20. 2006.
- [13] CORREA, H. Producción de leche con base en pasturas: el caso de los hatos especializados en Colombia. **Rev. Fac. Nal. Agron.** 62:1-5. 2009.
- [14] CORREA, H.J.; PABÓN, M. L.; CARULLA, J. Balance y eficiencia en el uso del nitrógeno en vacas Holstein lactantes bajo pastoreo. **Rev. Fac. Nal. Agron.** 62 (1): 34. 2009.
- [15] CORREA, H.J.; PABÓN, M.L.; CARULLA, J.E. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. **Livest. Res. Rural Dev.** 20 (59): 1-15. 2008.
- [16] CORREA, H. J.; PABÓN, R. M. L.; SANCHÉZ, M.; CARULLA, F. J. Efecto del nivel de suplementación sobre el uso del nitrógeno, el volumen y la calidad de la leche en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia en el trópico alto de Antioquia. **Livest. Res. Rural Dev.** 23(77): 1-20. 2011.
- [17] CORREA, P. Papel del MUN en la glándula mamaria de vacas lactantes. Universidad CES. Medellín. Trabajo de Grado. 89 pp. 2012.
- [18] FREER, M.; DOVE, H.; NOLAN, J. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing. Collingwood, Australia. 265 pp. 2007.
- [19] CHAGAS, P.; OLIVEIRA, R.B.; ROCHA, B.A.; DA COSTA, F.B. Ethnobotany, chemistry, and biological activities of the genus *Tithonia* (Asteraceae). **Chem. Biodivers.** 9: 210–235. 2012.
- [20] DI GIACOMO, C.; VANELLA, L.; SORRENTI, V.; SANTANGELO, R.; BARBAGALLO, I. CALABRESE, G.; C, GENOVESES, C.; MASTROJENI, S.; RAGUSA, S.; ACQUAVIVA, R. Effects of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray Extract on Adipocyte Differentiation of Human Mesenchymal Stem Cells. 2015. PLoS ONE. En línea: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0122320>. 26-06-16.
- [21] DRUDIK, D.; KEOWN, J.; KONONOFF, P. Milk urea nitrogen testing. 2007. Dairy herd management. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln. En línea: <http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1661.pdf>. 20-07-16.
- [22] DUQUE, M.; OLIVERA, M.; ROSERO, R. Metabolismo energético en vacas durante la lactancia temprana y el efecto de la suplementación con grasa protegida. **Rev. Col. Cien. Pec.** 24:74-82. 2011.
- [23] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DE COLOMBIA (DPN). 2010. Documento CONPES 3675. Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Comercio Industria y Turismo, Ministerio de la protección social, COLCIENCIAS. En línea: http://www.minagricultura.gov.co/archivos/conpes_3675_sector_lacteo.pdf. 28-07-16.
- [24] FORBES, J.M. Diet digestibility, energy concentration and supplementation of forages. In: **Voluntary food intake and diet selection in farm animals**. 2nd Ed. CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp 219-243. 2007.
- [25] ESCOBAR, A.; CARULLA, J. E. Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá. **Rev. Col. Cien. Pec.** 16 (Supl): 74. 2003.
- [26] FRANCO, M.H. Sistemas silvopastoriles o agroforestería pecuaria en trópico de altura. **I Congreso Nacional de Ganadería Agroecológica para el Trópico Colombiano**. Bogotá, 04/10-12. Colombia. 20 pp. 2008.
- [27] FUENTES, M. Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional en vacas lecheras: el papel del rumen. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España. Trabajo de Grado. 235 pp. 2009.
- [28] GALINDO, J.; GONZÁLEZ, N.; SOSA, A.; RUÍZ, T.; TORRES, V.; ALDANA, A.; DÍAZ, H.; MOREIRA, O.; SARDUY, L.; NODA, A. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. **Rev. Cub. Cien. Agríc.** 45:33-37. 2011.
- [29] GALLEGO, L.A.; MAHECHA, L.; ANGULO, J. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. **Agron. Mesoam.** 25:393-403. 2014.

- [30] GEERKEN, C.M.; CALZADILLA, D.; GONZÁLEZ, R. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. **Pastos y Forrajes**. 10: 266-273. 1987. _
- [31] GAVIRIA, X.; RIVERA, J.E.; BARAHONA, R. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. **Pastos y Forrajes**. 38 (2): 194-201. 2015.
- [32] GHOSH, S.; HAYDEN, M.S. New regulators of NF-kappa B in inflammation. **Nat. Rev. Immunol.** 8: 837-848. 2008.
- [33] GOFFIN, E.; ZIEMONS, E.; DE MOL, P.; DE MADUREIRA, C.; MARTINS, A.P.; DA CUNHA, A.P.; PHILIPPE, G.; TITS, M.; ANGENOT, L.; FREDERICH, M. In vitro antiplasmodial activity of *Tithonia diversifolia* and identification of its main active constituent: tagitinin C. **Planta Med.** 68: 543-545. 2002.
- [34] GONZÁLEZ, I.; VEGA, J.; CASTILLO, R. Estudio de la calidad físico-químico de la leche entera de vaca en un sistema silvopastoril. **Trop. Subtrop. Agroecosyst.** 1(1): 25-27. 2002.
- [35] GORDON, I.J.; PRINS, H.H. Introduction: Grazers and Browsers in a Changing World. In: **The Ecology of Browsing and Grazing**. Gordon, I.J.; Prins, H.H, (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Pp 309-319. 2008
- [36] GUALBERTO, R.; SOUZA, O.; COSTA, N.; BRACCIALLI, C.; GAION, L. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. **Nucleus**. 7(2):135-149. 2010.
- [37] GUALDRON, E.; PADILLA, C.E. Producción y calidad de leche en vacas Holstein en dos arreglos silvopastoriles de *Acacia decurrens* y *Alnus acuminata* asociadas con pasto kikuyo, (*Pennisetum clandestinum*). **Rev. Zoot.** 1: 63-76. 2007.
- [38] GUO, K.; RUSSEK-COHEN, E.; VARNER, M.A.; KOHN, R.A. Effects of Milk Urea Nitrogen and Other Factors on Probability of Conception of Dairy Cows. **J. Dairy Sci.** 87:1878-85. 2004.
- [39] HAYDOCK, K.P.; SHAW, N.H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 15: 663-670. 1975.
- [40] HERVÁS, G.; FRUTOS, P.; MANTECÓN, A. R. Protección de suplementos proteicos frente a la degradación ruminal: utilización de taninos. **Mundo ganadero**. 135: 40-42. 2001.
- [41] IRIGOYEN, A.; RIPPOLL, G. Alimentación posparto de la vaca lechera. Cartilla para productores, 2011. INTA. En línea: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/37-Alimentacion_postparto.pdf. 05-08-16.
- [42] JACOB, A.; BALAKRISHNAN, V.; KATHIRVELAN, C. Effect of amount and source of vegetable oils in a high fibrous cattle diet on in vitro rumen fermentation, nutrient degradability and rumen cis-9, trans-11 CLA concentration. **J. Appl. Anim. Res.** 40: 148-153. 2012.
- [43] JAIMES, L.J.; CERÓN, J.M.; CORREA, H.J. Efecto de la época del año y la etapa de lactancia sobre el consumo alimenticio de vacas Holstein pastoreando Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en Colombia. **Livest. Res. Rural Dev.** 27 (244): 1-20. 2015.
- [44] KANANI, J.; PHILIPP, D.; COFFEY, K.; KEGLEY, E.B.; WEST, C.P.; GADBERRY, S.; JENNINGS, J.; YOUNG, A.N.; Y-RHEIN, R. *In situ* evaluation of internal markers for predicting digestibility and fecal output in cattle fed various bermudagrass hays. **Arkansas Anim. Sci. Depart. Rep.** 508: 78 - 81. 2012.
- [45] LA, O.O.; GONZÁLEZ, H.; OROZCO, A.; CASTILLO, Y.; RUÍZ, O.; ESTRADA, A.; RÍOS, F.; GUTIÉRREZ, E.; BERNAL, H.; VALENCIAGA, D.; CASTRO, B.; HERNÁNDEZ, Y. Composición química, degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. **Rev. Cub. Cien. Agric.** 46:47-56. 2012.
- [46] LIPPKE, H. Estimation of forage intake by ruminants on pasture. **Crop Sci.** 42: 869-872. 2002.
- [47] MARAIS, J. P. Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review. **Trop. Grasslands.** 35: 65-84. 2013.
- [48] MAHECHA, L.; DURÁN, C.V.; ROSALES, M. Análisis de la relación planta-animal desde el punto de vista nutricional en un sistema silvopastoril de *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. **Acta Agron.** 50: 59-70. 2000.
- [49] MAHECHA, L.; ESCOBAR, J.; SUÁREZ, J.; RESTREPO, L. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). **Livest. Res. Rural Dev.** 19 (2): 16. 2007
- [50] MEDINA, M.; GARCÍA, E.; GONZÁLEZ, L.; COVA, L.; MORANTINOS, P. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. **Zoot. Trop.** 27:121- 134. 2009.

- [51] MEESKE, R.; ROTHAUGE, A.; VAN DER MERWE, G.D.; GREYLING, J.F. The effect of concentrate supplementation on the productivity of grazing Jersey cows on a pasture based system. **S. Afr. J. Anim. Sci.** 36 (2): 105-110. 2006.
- [52] MILES, N.; THURTELL, L.; RIEKERT, S. Quality of Kikuyu herbage from pastures in the Eastern Cape coastal belt of South Africa. **S. Afr. J. Anim. Sci.** 30 (Supl. II): 85-86. 2000.
- [53] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Resolución No. 0012 de 2007. "Por la cual se establece el sistema de pago de la leche cruda al productor". En línea: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3555/1/2007122162610_Resolucion0012_2007.pdf. 13-08-16.
- [54] MONTOYA, S.; VILLEGAS, G.; MOLINA, I.C.; DONEYS, G.; CHARÁ, J.D.; BARAHONA, R. Comparación del consumo de forraje y agua y sus correlaciones en un sistema silvopastoril intensivo y uno convencional en tres regiones de Colombia. **3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales**. Misiones, 05/07-09. Argentina. Peri, P (Ed.). 1ª Ed. INTA, Pp 117-122. 2015.
- [55] MURGUEITIO, E.; GALINDO, W. Reconversión ambiental de fincas ganaderas en los andes centrales de Colombia. En: **Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo**. Murgueitio, E; Cuartas, C.; Naranjo, J. (Eds.). Fundación CIPAV, Cali, Colombia. 490 pp. 2008.
- [56] NAVAS, A. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. **Rev. ACOVEZ**. 16: 3–5. 2007.
- [57] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academy Press, Washinton, DC. 157 pp. 1989.
- [58] NAVAS, A. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico y su importancia en la producción bovina tropical. **Rev. El Cebú**. 359: 14–17. 2008.
- [59] TONA, I.; KAMBU, K.; NGIMBI, N.; MESIA, K.; PENGE, O.; LUSAKIBANZA, M.; CIMANGA, K.; DE BRUYNE, T.; APERS, S.; TOTTE, J.; PIETERS, L.; VLIETINCK, A.J. Antiamoebic and spasmolytic activities of extracts from some antidiarrhoeal traditional preparations used in Kinshasa, Congo. **PhytoMed**. 7(1): 31-38. 2000.
- [60] TORNATORE, L.; THOTAKURA, A.K; BENNETT, J.; MORETTI, M.; FRANZOSO, G. Nuclear factor kappa B signaling pathway: integrating metabolism with inflammation. **Trends Cell Biol**. 22:557–56. 2012.
- [61] ORSKOV, E.; DEB HOVELL, F.; MOULD, F. The use of nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. **Trop. Anim. Prod.** 5: 195-213. 1980.
- [62] OTHMAN, A.; TORSTEN, H.; ASAAH, N. Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries. **Anim. Feed. Sci. Technol.** 166: 46-58. 2010.
- [63] OWOYELE, V.B.; WURAOLA, C.O.; SOLADOYE, A.O.; OLALEYE, S.B. Studies on the anti-inflammatory and analgesic properties of *Tithonia diversifolia* leaf extract. **J Ethnopharmacol**. 90: 317–321. 2004.
- [64] PASSONI, F.; BARBOSA, R.; CHAGAS, D.; GOBBO-NETO, L.; BATISTA, F. Repeated-dose toxicological studies of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) gray and identification of the toxic compounds. **J. Ethnopharmacol**. 147: 389-394. 2013.
- [65] PHAR, P.A.; BRADLEY, N.W.; LITTLE, C.O.; CUNDIFF, L.V. Effects of Confinement and Level of Feed Intake on Digestibility of Nutrients and Excretion of Chromic Oxide, Crude Protein and Gross Energy in the Bovine. **J. Anim. Sci.** 30: 589-592. 1970.
- [66] POPPI, D.P.; FRANCE, J.; MCLENNAN, S.R. Intake, Passage and Digestibility. En: **Feed Evaluation for Animal Production**. France, J.; Theodorou, M.K.; Lowman, R.S.; Beaver, D.E. (Eds.). CAB International Publishing. Wallingford, UK, Pp 35-52. 2000.
- [67] PRADO, R.M.; CÔRTEZ, C.; BENCHAAAR, C.; PETIT, H.V. Interaction of sunflower oil with monensin on milk composition, milk fatty acid profile, digestion, and ruminal fermentation in dairy cows. **Anim. Feed. Sci. Technol.** 207: 85-92. 2015.
- [68] PRIETO, E. Efecto de la suplementación con aceites vegetales a vacas pastoreando con/sin sistema silvopastoril intensivo con leucaena sobre los ácidos grasos en la leche y la producción de metano in vitro. Universidad de Antioquia, Medellín. Trabajo de Grado. 259 pp. 2015.
- [69] QUEVEDO, M. Efecto de un sistema silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Trabajo de Grado. 103 pp. 2014.
- [70] RIVERA, J. E.; NARANJO, J.F.; ARENAS, F.A.; CUARTAS, C.; MURGUEITIO, E.; MAURICIO, R. Evaluación nutricional de algunos forrajes arbustivos y dietas ofrecidas en lecherías de trópico de altura en Colombia con el empleo de la técnica *in vitro* de producción de gas. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 24 (3): 526. 2011.
- [71] RUEDA, S.; TABORDA, L.; CORREA, H. J. Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un ható lechero del Oriente Antioqueño. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 19 (1):27-38. 2006.

- [72] RIVERA, J. E.; CUARTAS, C.; NARANJO, J. F.; BARAHONA-ROSALES, R. Comparación del comportamiento productivo y calidad de la leche en vacas bajo un sistema silvopastoril intensivo y un sistema de producción convencional en el valle del Rio Cesar. Resúmenes X Encuentro Nacional III Internacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias-ENICIP. Medellín, Colombia. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 22:3. 2009.
- [73] SALDARRIAGA, C.; SOTO, S. Efecto de dos edades de rebrote del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre el balance de nitrógeno en vacas Holstein de alta producción. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Trabajo de Grado. 30 pp. 2004.
- [74] SANTACOLOMA, L.E. Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina. **RIIA.** 2 (1): 55-64. 2011.
- [75] SILVA, L.G.; TORRECILHAS, J.A.; GARCIA, M.; EIRAS, C.E.; PRADO, R.M.; PRADO, I.N. Glycerin and essential oils in the diet of Nellore bulls finished in feedlot: animal performance and apparent digestibility. **Acta Sci. Anim. Sci.** 36(2): 177-184. 2014.
- [76] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS). Version 9.1.3. USA. 2004.
- [77] STOFFEL, C.M.; CRUMP, P.M.; ARMENTANO, L.E. Effect of dietary fatty acid supplements, varying in fatty acid composition, on milk fat secretion in dairy cattle fed diets supplemented to less than 3% total fatty acids. **J. Dairy Sci.** 98: 431-442. 2015.
- [78] TARAZONA, A.M.; CEBALLOS, M.C.; NARANJO, J.F.; CUARTAS, C.A. Factors affecting forage intake and selectivity in ruminants. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 25 (3): 473-487. 2012.
- [79] TAWHEEL, H. Z. Improving dry-matter intake of perennial-ryegrass pasture by dairy cows. In: **Fresh Herbage for Dairy Cattle.** Elgersma, A.; Dijkstra, J.; Tamminga, S. (Eds.). Springer, Netherlands, Pp 159-174. 2006.
- [80] URBANO, D.; DÁVILA, C.; MORENO, P.; CASTRO, F. Efectos del tipo de pastura y suplementación sobre la producción y calidad de leche en vacas doble propósito. **Rev.Cientif FVC-LUZ.**XII (2): 524-527.2006.
- [81] VARGAS, E.; FEHRMANN, K.; ÍÑIGUEZ, G.; TORO, P.; GARNSWORTHY, P.C. Short communication: Chemical composition, fatty acid composition, and sensory characteristics of Chanco cheese from dairy cows supplemented with soybean and hydrogenated vegetable oils. **J. Dairy Sci.** 98: 111–117. 2015.
- [82] TARAZONA, A.M.; CEBALLOS, M.C.; NARANJO, J.F.; CUARTAS, C.A. Factors affecting forage intake and selectivity in ruminants. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 25 (3): 473-487. 2012.
- [83] WILLIAMS, C. H.; DAVID, D.J.; LISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **J. Agricult. Sci.** 59: 381-5. 1962.