



Rendimiento de leche derivado de energía y proteína de vacas en pastoreo recibiendo suplementos en un sistema agrosilvopastoril



Sherezada Esparza-Jiménez ^a

Benito Albarrán-Portillo ^{a*}

Manuel González-Ronquillo ^b

Anastacio García-Martínez ^a

José Fernando Vázquez-Armijo ^a

Carlos Manuel Arriaga-Jordán ^c

^a Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Km 67.5 Carretera Toluca-Tejupilco, Temascaltepec. 51300. Estado de México, México.

^b Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Estado de México, México.

^c Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: balbarranp@uaemex.mx

Resumen:

En el suroeste del Estado de México producen leche y becerros en sistemas agrosilvopastoriles subtropicales. Durante la época de estiaje, el ganado es suplementado debido a la baja disponibilidad y calidad de los pastos, sin considerar la contribución de especies leñosas a las necesidades de consumo de energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC). El objetivo del estudio fue determinar leche producida a partir de aportes de energía (LFe) y proteína (LFp) de forrajes, de vacas en pastoreo con tres tipos de suplemento. El primero consistió en mazorca de maíz molida y concentrado comercial (14 % de PC) (S14). A la mezcla S14 se añadió 7 % de pasta de soya para incrementar a 16 % la PC (S16); y se utilizó concentrado comercial 16 % de PC (SC16) como tercer

suplemento. Seis vacas en lactación se asignaron al azar en un diseño de cuadro latino 3x3 repetido (tres vacas/cuadro), y tres periodos experimentales (PE). El tipo de suplemento no tuvo efecto sobre las variables de respuesta ($P=0.80$). Leche producida a partir de LFe y LFp de forrajes fue 0.08 y 6.1 kg/vaca/día, respectivamente. Se detectaron altos niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL), sin importar el tipo de suplemento. El tratamiento SC16 incrementó los niveles de nitrógeno en orina (44.1 mg/dl) ($P=0.001$) y en heces (1.4 mg/g) ($P=0.04$). Las vacas obtuvieron el 90 y 10 % de sus necesidades de PC y EM para mantenimiento y producción de leche a partir de forrajes consumidos en un sistema agrosilvopastoril.

Palabras clave: Leche, Forraje, Excreción de nitrógeno.

Recibido: 04/10/2019

Aceptado: 29/06/2020

Introducción

México es el octavo productor mundial de leche (considerando a la Unión Europea como un solo bloque), con una producción de 12.4 millones de toneladas en el año 2019, pero es el mayor importador de leche descremada en polvo con un equivalente al 30 % de la demanda nacional⁽¹⁾, y una tasa de crecimiento de 1.6 % en el año 2018.

El inventario nacional de ganado bovino se estima en 33.5 millones de cabezas de las cuáles el 51 % se localiza en regiones tropicales y subtropicales en pastoreo extensivo, en donde predominan unidades de producción de doble propósito que contribuyen con el 18 % de la producción nacional⁽²⁾. Estas unidades de producción tienen un papel social importante al proveer los modos de vida de las familias⁽³⁾.

La disponibilidad y calidad de forraje durante la época de estiaje (noviembre a mayo) es baja, por lo que los productores recurren al uso de suplementos con el objetivo de mantener rendimientos de leche y peso corporal de las vacas, así como ganancias de peso de los becerros⁽⁴⁾.

El uso de suplementos representa una proporción importante en los costos de producción⁽²⁾, alcanzando hasta el 70 % de los costos de producción en unidades de producción de doble propósito⁽⁵⁾. Para reducir costos algunos productores mezclan mazorca de maíz (con hoja) producida en la unidad de producción con concentrados comerciales (50:50), con un contenido de proteína cruda (PC) de 14 % en la mezcla resultante, mientras que otros productores prefieren utilizar concentrados comerciales con concentraciones de PC que varían entre 16 y 18 % de PC^(3,5).

La cantidad de suplemento asignado a las vacas oscila entre 5 y 9 kg/vaca/día, lo que representa entre el 40 y 75 % del consumo de materia seca (CMS). La cantidad asignada

se basa principalmente en los rendimientos de leche y varía durante la época de estiaje dependiendo de la disponibilidad de forraje (principalmente pastos) en las praderas, sin tomar en cuenta otros recursos disponibles como árboles y arbustos forrajeros presentes en los potreros, muchos de los cuales contribuyen a las necesidades de CMS, energía y proteína. Lo anterior, ocasiona desbalances en las raciones de las vacas causando baja productividad, problemas de salud o altos costos de producción⁽⁶⁾.

Los pastos tropicales son la principal fuente de nutrientes para el ganado en unidades de producción de DP en los trópicos; sin embargo, su bajo valor nutritivo (bajo contenido de PC, energía y digestibilidad) restringen la productividad del ganado. La falta de conocimiento técnico acerca del manejo de praderas, evaluación de la disponibilidad y calidad de forraje, además de conocimientos básicos de las necesidades nutricionales del ganado, deja a los productores sin ninguna otra herramienta que el uso de suplementos basados en granos para contrarrestar la falta de forraje en cantidad y calidad adecuada durante la época de estiaje^(3,4).

La leche producida a partir de forraje de vacas en pastoreo puede ser estimada a partir de substraer la producción teórica de leche debida al consumo de concentrados, asumiendo que los requerimientos de mantenimiento son cubiertos por el consumo de forrajes⁽⁷⁾. Para poder contabilizar la contribución del consumo de forraje a las necesidades de energía y proteína, la leche a partir de forraje (LF) puede ser estimada siguiendo los procedimientos ya descritos⁽⁸⁾.

El objetivo del estudio fue estimar la cantidad de leche producida a partir de energía y proteína de forraje (LFe y LFp, respectivamente), de vacas pastoreando en un sistema agrosilvopastoril, con tres diferentes tipos de suplemento. El segundo objetivo fue estimar el ingreso sobre costo de suplemento.

Material y métodos

Localización

El estudio se realizó en una unidad de producción de doble propósito en el municipio de Zacazonapan, Estado de México entre las coordenadas 19° 00' 17" y 19° 16' 17" N, y entre 100° 12' 55" y 100° 18' 13" O, a una altitud de 1,470 m. El clima es semiseco del grupo A, subhúmedo con lluvias en verano y una marcada estación seca de noviembre a mayo, clasificado como A(c) (w2) (w), con una temperatura promedio de 23 °C y 1,115 mm de precipitación anual. El experimento se llevó a cabo del 22 de marzo al 13 de junio del año 2010. El manejo del ganado se llevó a cabo de la misma forma que el productor maneja al ganado, respetando rutinas de manejo y horarios evitando estresar a los animales.

Descripción del sistema agrosilvopastoril

La unidad de producción (UP) tiene una superficie de 100 ha con cerco perimetral, en donde el ganado pastorea con una carga animal de 0.25 UA por ha. Las fuentes de forraje dentro del sistema agrosilvopastoril han sido reportadas previamente⁽⁹⁾, y consisten en: pradera (áreas con cobertura continua de pastos); ramoneo (incluye hojas y ramas de arbóreas y arbustivas y guías trepadoras); herbáceas (plantas de hoja ancha diferentes a pastos); y residuos de cultivos (maíz y caña de azúcar)⁽¹⁰⁾.

El componente pradera consistió en pasto Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) como el principal con 44 % de presencia, el resto de los pastos en orden de importancia fueron *Brachiaria plantaginea* (17 %), *Paspalum convexum* (12 %), *Cynodon dactylon* (11 %), *Eleusine indica* (5 %), *Paspalum notatum* (4 %), *Paspalum conjugatum* (4 %), *Paspalum scrobicunatum* (2 %), *Digitaria bicornis* (1 %).

El componente ramoneo consistió en 27 especies leñosas que son consumidas por el ganado. De estas especies el ganado consume hojas, flores y frutos. Se encontraron 22 especies de herbáceas la mayoría de las cuales son consumidas por el ganado. Finalmente, a mediados o finales de la época de estiaje, el ganado tiene acceso a residuos de la cosecha de cultivo de maíz (*Zea mays*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), que son cultivados en el 30 % de la superficie de la UP.

Unidades experimentales y manejo general

Se utilizaron seis vacas multíparas de la raza Pardo Suizo con un promedio de 4 ± 1.2 partos, 73 ± 27 días en lactación, con un peso promedio (PV) de 491 ± 57 kg y 2.5 puntos de condición corporal (CC) en escala de 1 a 5. Las vacas tuvieron un rendimiento promedio de leche de 5.3 kg/vaca/día, y fueron ordeñadas a mano una vez al día de 0700 a 0900 h. Antes de ser ordeñadas, se utilizó a los becerros de las vacas para despuntar y estimular la bajada de la leche por pocos segundos (manejo habitual en la UP); posteriormente los becerros se amarraban al cuello de las vacas para ser ordeñadas. Las vacas se ordeñaban completamente y una vez terminada la ordeña, se les permitía a los becerros mamar la leche residual y permanecer con sus madres hasta las 1400 h. Posteriormente, los becerros eran separados de sus madres y confinados en una pradera de características similares a las descritas anteriormente. Los becerros eran suplementados con 1.8 kg/día (base seca) de mazorca de maíz y concentrado comercial (14 % de PC), teniendo agua y mezcla de minerales *ad libitum*.

Suplementos

Los suplementos utilizados en este estudio pretendieron replicar las características e ingredientes de los suplementos comúnmente utilizados por los productores de la región de estudio. Se mezcló mazorca de maíz molida con concentrado comercial (50:50),

resultando en una concentración de 14 % de PC (S14). A la mezcla S14 se le adicionó 7 % de pasta de soya para incrementar la concentración de PC a 16 % (S16); y concentrado comercial con 16 % de PC (SC16) como tercer suplemento. En el Cuadro 1 se muestra la composición química y los ingredientes utilizados.

Cuadro 1: Composición química de los ingredientes utilizados en los suplementos

Ingredientes, g/kg MS	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente neutro	Fibra detergente ácido
Mazorca de maíz	980	83	324	120
Concentrado comercial (16 % PC)	918	161	198	103
Pasta de soya	943	437	110	47

Previo al ordeño, las vacas recibían 4.5 kg/vaca/día (base seca) de los suplementos experimentales en bolsas atadas a la cabeza. La duración de la ordeña era suficiente para que cada vaca consumiera el total del suplemento ofrecido; en caso contrario, la bolsa permanecía atada a la cabeza de la vaca hasta que esta consumiera la totalidad del suplemento.

Muestreo y análisis

Los rendimientos de leche kg/vaca/día fueron registrados individualmente por dos días consecutivos, durante la última semana de cada periodo experimental (PE), utilizando una báscula colgante de 20 kg de capacidad.

Después del registro individual del rendimiento de leche, se colectaron dos muestras de leche. A la primera muestra se le determinó la composición (grasa, proteína y lactosa), utilizando un analizador de leche por ultrasonido portátil dentro de las dos primeras horas posteriores a la ordeña. A la segunda muestra (40 ml), se le adicionó Bromopol como conservador manteniéndose en hielo hasta llegar a laboratorio. En el laboratorio las muestras se congelaron a -20°C hasta que fueron analizadas. Para poder ser analizadas las muestras se descongelaron a temperatura ambiente, y procesadas mediante la técnica de colorimetría enzimática⁽¹¹⁾ para la determinación de nitrógeno ureico en leche (NUL).

El peso de las vacas se registró posterior a la ordeña durante dos días consecutivos al inicio del experimento y al final de la tercera semana de cada PE, utilizando una báscula ganadera portátil. La condición corporal se estimó después del pesaje⁽¹²⁾.

Se obtuvieron muestras de orina (60 ml) por estimulación vulvar posterior al pesaje por dos días consecutivos durante la última semana de cada PE. Las muestras se preservaron adicionándoles 15 ml de 0.05N H₂SO₄. Las muestras se congelaron a -20°C hasta que fueron analizadas. A las muestras se les determinó nitrógeno ureico por colorimetría⁽¹¹⁾. Las muestras de heces se colectaron en un envase de plástico con tapa y se almacenaron a -20°C. Posteriormente, las muestras de heces se colocaron en charolas de aluminio para

ser secadas en una estufa de aire forzado a 60°C por 48 h, y posteriormente molidas utilizando una criba de 1 mm. El nitrógeno en heces se determinó de acuerdo con el procedimiento estándar⁽¹³⁾.

Los suplementos se muestrearon diariamente durante la última semana de cada PE, se mezclaron para obtener una submuestra compuesta para la determinación de la composición química. A las muestras se les determinó la materia seca mediante el secado a 60°C en una estufa de aire forzado por 48 h, y las cenizas se obtuvieron por incineración de una submuestra en una mufla a 550°C. La PC fue determinada mediante la técnica Kjeldahl, y fibra detergente neutro y detergente ácido mediante la técnica de micro bolsas Ankom⁽¹³⁾. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los suplementos, fue determinada utilizando la técnica de producción de gas *in vitro*⁽¹⁴⁾.

Cálculos

Leche a partir de energía y proteína de forrajes⁽⁸⁾.

Energía

$$LF \text{ energía (kg)} = LCE(\text{kg}) - \frac{[EN_L \text{ suplemento (Mcal)} - EN_L \text{ req cambio de PV (Mcal)}]}{0.75 \text{ Mcal / kg leche}}$$

en dónde LCE = leche corregida a energía (4% grasa, 3.4% proteína PC, kg) = leche (kg) x (0.124% grasa + 0.073% PC + 0.256).

EN_L = energía neta de lactación del suplemento (Mcal) = CMS (kg) x $\sum_{i=1}^n$ porcentaje de CMS del suplemento_i + EN_L del suplemento_i (Mcal/kg), en dónde $i = 1, 2, \dots, n$ y n es el número de suplementos.

EN_L requerimientos (req) para cambio de PV (Mcal) = cambio de PV (kg) x EN_L req (Mcal/kg de cambio de PV), en donde EN_L (Mcal/kg de cambio de PV) = 5.34 Mcal/kg de ganancia de PV = -4.68 Mcal/kg de pérdida de PV.

Proteína

$$LF \text{ proteína (kg)} = LCP(\text{kg}) - \frac{[PC \text{ suplemento (Kg)} - PC \text{ req cambio de PV (kg)}]}{0.088 \text{ kg de PC / kg leche}}$$

en dónde LCP = (leche corregida a proteína; 3.4% PC, kg) = leche (kg) x 0.294 % PC.

PC del suplemento (kg) =

$$CMS \text{ (kg)} \times \sum_{i=1}^n [\% \text{ CMS del suplemento}_i \times PC \text{ del suplemento}_i (\%)]$$

en donde $i = 1, 2, \dots, n$, y n es el número de suplementos.

Requerimientos (req) de PC para cambio de PV (kg) = cambio PV (kg) x PC req (kg de PC/ kg de cambio PV), donde PC req (kg de PC/kg de cambio PV) = 0.078 kg de PC/kg de ganancia de PV = -0.094 kg de PC/kg de pérdida de PV.

Estimaciones de consumo de forraje

El consumo de materia seca de forraje se estimó indirectamente utilizando el método de energía metabolizable⁽¹⁵⁾, tomando los requerimientos de energía metabolizable (EM) para las vacas⁽¹⁶⁾. La EM estimada (EMe) provista por los suplementos fue sustraída del total de requerimientos de EM, y el resultado dividido entre EMe del forraje para obtener el CMS de forraje estimado. El total del CMS fue la suma del el consumo de forraje y el consumo de los suplementos en base seca.

Análisis costo beneficio

El análisis costo beneficio fue realizado a partir del procedimiento de presupuestos parciales para determinar el costo por concepto de suplemento y los retornos por la venta de leche⁽¹⁷⁾. Los presupuestos parciales evalúan únicamente los cambios en los gastos e ingresos derivados de la implementación de una alternativa (suplemento), sin considerar otros factores o actividades que no cambian tales como mano de obra, combustible, costo de pastoreo. Los resultados del análisis de costo beneficio están expresados en dólares de Estados Unidos (\$ EUA).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue un cuadro latino 3x3 repetido (con periodos de 21 días). Las secuencias de suplementos fueron aleatorizadas para el cuadro uno, y el cuadro dos funcionó como espejo en la secuencia de tratamientos para dar cuenta de efectos residuales. Los periodos experimentales duraron tres semanas, las primeras dos se consideraron como de adaptación a los suplementos y en los dos últimos días de la tercera semana se tomaron muestras y mediciones en las variables de respuesta. Las vacas fueron asignadas al azar a la secuencia de tratamientos en ambos cuadros.

Las variables de respuesta fueron analizadas utilizando el procedimiento Proc Mixed del programa SAS⁽¹⁸⁾ de acuerdo con la siguiente ecuación⁽¹⁹⁾:

$$Y_{ijkm} = \mu + S_m + C_{i(m)} + P_{j(m)} + \text{Sup}_k + e_{ijkm}$$

donde:

μ = media general,

S_m = efecto fijo de los cuadros ($m = 1$ y 2),

$C_{i(m)}$ = efecto aleatorio de la vaca dentro de cuadro ($i = 1, 2$ y 3),

$P_{j(m)}$ = efecto fijo del periodo j dentro de cuadro m ($j = 1, 2$ y 3),

Sup_k = efecto fijo del suplemento ($k = S14, S16$ y $SC16$), y

e_{ijkm} = error residual.

Diferencias significativas entre medias ($P < 0.05$) fueron estimadas con la prueba de Tukey.

Se realizó un análisis de correlación entre proteína en leche, NUL, nitrógeno en heces y nitrógeno ureico en orina utilizando el procedimiento Corr de SAS⁽¹⁸⁾. Los coeficientes de correlación ≤ 0.39 se consideraron bajos, mientras que ≥ 0.40 y ≤ 0.60 se consideraron moderados.

Resultados

Composición química de los suplementos

En el Cuadro 1 se muestra la composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de los suplementos y en el Cuadro 2 se muestra el nivel de inclusión de los ingredientes y la composición química de los suplementos. Los contenidos de MS, MO, FDN y FDA fueron numéricamente similares entre suplementos. Se observaron diferencias en la concentración de PC de acuerdo con lo balanceado con 141 para S14, 159 para S16 y 161 para SC16 g/kg MS. La DIVMS de S14 fue 5 y 9 % mayor que S16 y SC16, respectivamente. Una tendencia similar se observó para la energía metabolizable estimada (Eme) MJ/kg MS, S14 (12.6) fue mayor que S16 (12.0) y SC16 (11.4).

Cuadro 2: Nivel de inclusión y composición química de los suplementos con 14 % (S14) y 16 % (S16, SC16) de proteína cruda, ofrecido a vacas en un sistema agrosilvopastoril

Nivel de inclusión (%)	S14	S16	SC16
Mazorca de maíz	50	46.5	
Concentrado comercial (16 % PC)	50	46.5	100
Pasta de soya		7	
Total	100	100	100
Nutriente, g/kg MS			
Materia seca	907	889	918
Materia orgánica	842	846	813
Proteína cruda	141	159	161
Fibra detergente neutro	190	174	198
Fibra detergente ácido	90	84	103
DIVMS	800	758	729
Energía metabolizable estimada, MJ/kg MS	12.6	12.0	11.4

DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Variables de respuesta animal

El efecto de los suplementos sobre las variables CMS, rendimientos de leche, composición de leche y excreciones de N se observa en el Cuadro 3. No existieron diferencias significativas en las variables de respuesta debida a los suplementos ($P>0.05$). Los rendimientos promedio de leche fueron 6.8 ± 1 kg/vaca/día. Las concentraciones de grasa, proteína y lactosa fueron 20.8 ± 7 , 31.0 ± 1 , y 44.6 ± 2 g/kg, respectivamente. Peso vivo promedio fue 495 ± 53 (kg), y la condición corporal fue de 2.6 ± 0.1 puntos. No existieron diferencias en NUL debida a suplementos ($P=0.47$). El NUO fue mayor ($P>0.01$) para SC16 (44.1) que S14 (25.7) y S16 (23.9 mg/dl) (Cuadro 3). También, se determinaron diferencias para NH ($P=0.04$), S16 y SC16 fueron iguales, pero S16 fue diferente de S14.

Cuadro 3: Variables de respuesta de vacas en pastoreo con tres tipos de suplemento y dos niveles de proteína cruda (14 vs 16 % PC)

Tratamiento	S14	S16	SC16	P =	EEM
Consumo de MS, kg/día	12.9	12.8	13.0	0.40	0.25
Leche, kg/día	6.7	6.7	6.9	0.80	0.70
Grasa, g/kg	22.9	22.0	17.4	0.16	2.0
Proteína, g/kg	31.0	30.8	31.3	0.85	1.6
Lactosa, g/kg	44.9	44.1	44.9	0.79	1.6
Peso vivo, kg	491	491	503	0.36	25.27
Condición corporal	2.5	2.7	2.5	0.20	0.02
NUL, mg/dl	23.3	22.4	29.7	0.47	2.58
NUO, mg/dl	25.7 ^b	23.0 ^b	44.1 ^a	0.001	2.4
NH, mg/g MS	1.3 ^a	1.5 ^b	1.4 ^{ab}	0.04	0.06

S14 = Mazorca de maíz + concentrado comercial lechero 16% (50:50); S16 = Mazorca de maíz (43 %) + concentrado comercial lechero 16% PC (50%) + Pasta de soya (7 %); SC16 = Concentrado comercial lechero (16 % PC). EEM= Error estándar de la media. NUL = Nitrógeno ureico en leche; NUO = Nitrógeno ureico en orina; NH = Nitrógeno en heces.

Existieron diferencias significativas entre periodos experimentales en algunas variables. El CMS disminuyó de 13.0 a 12.6 (3 %) del PE1 al PE3 ($P=0.04$). La concentración de proteína en leche disminuyó 6 y lactosa 7 % en los mismos PE. La mayor reducción entre periodos se observó en la concentración de NUL la cual decreció de 32.9 a 15.7 mg/dl, que representa una reducción de 52 % del PE1 al PE3.

Existió una tendencia ($P=0.08$) para grasa en leche la cual decreció al avanzar los periodos experimentales (de 25.0 a 18.9). El resto de las variables de respuesta y excreciones de nitrógeno en orina y heces se mantuvo constante de principio a fin del experimento.

En el Cuadro 4 se muestran los coeficientes de correlación entre rendimiento de leche (RL), proteína en leche (PL) NUL, NUO y NH. Se detectó una moderada pero significativa correlación entre PL y NUL ($r=0.49$). Una correlación negativa entre PL y NH ($r=-0.58$, $P<0.01$), y NH con NUL ($r=-0.48$). Las restantes correlaciones fueron bajas y no significativas ($P>0.05$).

Cuadro 4: Coeficiente de correlación entre leche kg/día, proteína en leche g/kg, nitrógeno ureico en leche (NUL) mg/dl, Nitrógeno en heces (NH) mg/g y Nitrógeno ureico en orina (NUO) mg/dl

	Proteína en leche	NUL	NH	NUO
Leche	-0.32	-0.35	0.09	-0.12
Proteína en leche		0.49*	-0.58**	0.36
NUL			-0.48*	0.37
NH				-0.39

* $P<0.05$, ** $P<0.01$.

Cálculos

Rendimientos de leche a partir de pastoreo

En el Cuadro 5 se muestran los cálculos de leche LF de acuerdo con los aportes de EM y PC a las necesidades de las vacas. Leche producida a partir de EM de forrajes no fue mayor a 1.0 kg/día, con una tendencia hacia una mayor LF cuando las vacas consumieron S14 (0.9) y SC16 (1.0), comparado con S16 (0.05 kg/día). Leche producida a partir de PC de forrajes fue en promedio 6.1 kg/vaca/día, sin efecto significativo debido a suplementos ($P=0.74$). Leche producida a partir de EM de forrajes fue en promedio 0.8 kg/día. La producción promedio de leche a partir de forraje ($LF_{Fe} + LF_{Fp}/2$) fue 3.3 kg/día lo que indica que el 49 % de los rendimientos de leche fueron debidos al consumo de forraje.

Cuadro 5: Leche a partir de energía y proteína de forrajes de vacas en pastoreo en un sistema agrosilvopastoril, con tres tipos de suplemento y dos niveles de proteína cruda (14 vs 16 %)

Tratamiento	S14	S16	SC16	P =	EEM
LF energía, kg/día	0.9	0.5	1.0	0.06	0.32
LF proteína, kg/día	6.0	6.0	6.3	0.74	0.57
LF promedio, kg/día	3.1	3.3	3.6	0.13	0.39

LF energía = Leche a partir de energía de forrajes; LF proteína = Leche a partir de proteína de forrajes; y LF promedio = Promedio de leche a partir de forrajes.

Análisis de costo beneficio

En el Cuadro 6 se muestra el beneficio sobre costo de suplementación en dólares (EUA) del uso de suplementos en vacas en pastoreo. El SC16 tuvo el mayor costo 0.34 seguido por S16 0.29, siendo el más bajo para S14 0.28 \$/kg, el cual fue 3 y 18 % más barato que S16 y SC16, respectivamente. La diferencia de producción total de leche entre S14 y SC16 fue solo de 3 %, mientras que los retornos fueron iguales entre ambos suplementos. El mayor margen de ganancia se obtuvo con S14 0.22 que fue 19 % mayor comparado con el más bajo que fue para SC16 de 0.18 \$/kg.

Cuadro 6: Costos y retornos por concepto de suplementos \$/kg (\$ dólares EUA) de la producción de leche y tres tipos de suplemento

Tratamiento	S14	S16	SC16
Costo de suplemento, \$/kg	0.28	0.29	0.34
Costo total de suplemento	516	546	634
Leche/tratamiento, kg	2,523	2,514	2,596
Retornos totales	1,058	1,054	1,088
Margen bruto	544	509	455
Costo/retorno	0.49	0.52	0.58
Costo de producción de leche, \$/kg	0.20	0.22	0.24
Leche precio de venta, \$/kg	0.42	0.42	0.42
Margen de ganancia, \$/kg	0.22	0.20	0.18

S14 = Mazorca de maíz + concentrado comercial lechero 18 % (50:50); S16 = Mazorca de maíz (43 %) + concentrado comercial lechero 16 % PC (50%) + Pasta de soya (7 %); SC16 = Concentrado comercial lechero (16 % PC).

Discusión

El uso de suplementos en este estudio contribuyó a mantener el consumo de materia seca y energía de las vacas evitando pérdidas de producción de leche y peso vivo sin importar el tipo de suplemento. Los suplementos tienen ventajas y desventajas para los productores. El suplemento S14 elaborado en la unidad de producción utilizando recursos locales como la mazorca de maíz, resultó ser de mayor valor nutricional al ser más digestible y con una mayor densidad energética, con un menor costo comparado con los otros dos suplementos. La desventaja de esta estrategia de acuerdo con los productores es que requiere de mayor mano de obra para realizar la mezcla, pero la mayor desventaja es la falta de asesoría técnica para balancear los suplementos que cubran de forma adecuada los requerimientos de las vacas^(4,6).

Los concentrados comerciales tienen la ventaja de que no se requiere mano de obra extra, sin embargo, su costo es mayor reduciendo las ganancias⁽²⁰⁾, así como su calidad no es la ideal juzgando por la menor DIVMS, mayor FDA y menor contenido de EM.

La menor densidad energética de los suplementos S16 y SC16 pudo ser debida al mayor contenido de PC que reduce la EM. Una estrategia para reducir el desbalance entre PC y energía en suplementos, puede ser el uso de ingredientes energéticos como la melaza, almidón o grasa en situaciones en que las vacas consumen pastos de baja calidad^(21,22).

Los rendimientos de leche fueron menores a los reportados por vacas cruzadas (13.5 kg/vaca/día) pastoreando praderas de *Cynodon nlemfuensis*, y suplementadas con 5.1 kg/vaca/día de concentrado, y también menores a 14.5 kg/vaca/día en vacas cruzadas pastoreando en un sistema silvopastoril intensivo con leucaena y *C. nlemfuensis* recibiendo 5.5 kg de concentrado. Estos resultados fueron obtenidos en estudios

realizados bajo manejo intensivo de vacas y pastoreo⁽²³⁾, mientras que en este estudio se desarrolló bajo condiciones extensivas en una unidad de producción comercial, en dónde la producción de becerros destetados es igual de importante. Bajo este sistema de manejo los becerros permanecen con sus madres durante cinco horas diarias, mamando continuamente lo que contribuye a menores rendimientos de leche en la ordeña del siguiente día.

Los rendimientos de leche y proteína en leche obtenidos en este estudio fueron similares a los 7.0 kg/vaca/día de leche y 32.3 g/kg de proteína en leche, fueron reportados y corresponden a vacas en condiciones de pastoreo extensivo en praderas de pastos tropicales nativos e introducidos, con cantidades de suplemento similares a las utilizadas en este estudio⁽²⁴⁾.

La concentración de grasa fue más baja a los valores normales reportados en la literatura, pero similares a otro reporte (2 %) de unidades de producción de doble propósito en la misma región de estudio, y bajo condiciones similares de manejo⁽²⁵⁾. Una posible explicación de los bajos niveles de grasa en leche puede ser la calidad de fibra, ya que es bien sabido que los pastos tropicales son de baja calidad conteniendo altas cantidades de fracciones de FDN y baja digestibilidad⁽²²⁾. Los bajos contenidos de grasa en leche tienen implicaciones económicas, ya que los contenidos de grasa y proteína en leche son los principales componentes considerados para establecer el pago de leche al productor, en regiones del país en dónde la producción de leche está vinculada a la industria lechera; sin embargo, no es el caso en la región de estudio, ya que el pago de la leche a los productores no se determina en base a su composición. En este estudio, las bajas concentraciones de grasa pueden deberse a un efecto temporal⁽²⁵⁾, debido a la baja disponibilidad y calidad de forrajes por la época de estiaje.

La correlación entre NUL y proteína en leche en este estudio indican una relación lineal. Ambas variables tuvieron una alta concentración al inicio del experimento y en la medida que este progresó la concentración en ambas también disminuyó. Proteína en leche y NUL estuvieron negativamente correlacionadas con NH, lo que indica que las dos primeras decrecieron del PE1 al PE3, mientras que el NH tendió a incrementarse.

Los resultados en este estudio demuestran la importancia de los árboles y los arbustos de los cuales muchos son leguminosas presentes en el sistema agrosilvopastoril⁽⁹⁾ como fuentes de PC para vacas en lactación. Los forrajes aportaron 62, 11 y 89 % de las necesidades de CMS, EM y PC, respectivamente para mantenimiento y producción. Estos resultados muestran también la importancia de los suplementos para mantener rendimientos de leche y peso vivo.

El valor promedio de NUL fueron mayores a los valores de referencia de 12 mg/dL⁽²⁶⁾, lo cual indica que las vacas consumieron PC en exceso a sus requerimientos. Basado en lo anterior, los suplementos pueden balancearse con menores concentraciones de PC y una mayor densidad energética, utilizando fuentes de energía rápidamente disponible a nivel

ruminal como la melaza, así como nitrógeno no proteico (urea) con el objetivo de optimizar la captura de amoníaco a nivel ruminal⁽²⁷⁾.

La reducción de PC en los suplementos no solo permitirá reducciones en el costo de producción, ya que la proteína es el ingrediente de mayor costo en la dieta de las vacas⁽²²⁾, sino que también permitirá el incremento de la utilización de la PC de los forrajes, reduciendo principalmente las excreciones de nitrógeno en heces y orina al medio ambiente⁽²⁷⁾. Pero, para poder determinar el nivel adecuado de PC en el suplemento, el NUL debe ser monitoreado constantemente para poder hacer ajustes a la dieta de las vacas de forma apropiada⁽²⁸⁾.

La reducción de las concentraciones de NUL (52 %) que se observó en el último PE (avanzada época de estiaje), indica que una disminución en la disponibilidad y sobre todo valor nutricional del forraje consumido por las vacas, a partir del menor CMS observado; sin embargo, lo anterior no afectó el comportamiento productivo de las vacas. En un estudio diferente en la misma unidad de producción⁽⁵⁾, se documentó la disminución de la calidad nutricional de los pastos disponibles para vacas en pastoreo, observándose una disminución de 34 % en el contenido de PC, un incremento de 12 y 15 % en FDN y FDA, así como una reducción de 14 % en la DIVMS de inicio de la época de estiaje a finales de ésta.

La reducción de los niveles de NUL disminuirá las excreciones de N en orina. Sin embargo, existen evidencias de que las emisiones de N₂O a partir de NUO son menores en sistemas silvopastoriles comparado con sistemas de pastoreo en monocultivos⁽²⁹⁾. Lo anterior concuerda con una amplia revisión de literatura⁽³⁰⁾, en la cual se muestra que forraje proveniente de leguminosas leñosas (que contienen taninos condensados) mejoran el reciclaje de N, reducen la volatilización de este, disminuyendo las emisiones N₂O y pérdidas de N.

La sostenibilidad de unidades de producción de doble propósito en la región de estudio fue evaluada considerando las escalas agroecológicas, socio-territorial y económica. En las dos primeras, los puntajes de sostenibilidad fueron altos (87 y 73 de 100 puntos, respectivamente), pero la escala económica tuvo el menor puntaje (56 de 100 puntos), convirtiéndose en el factor limitante en las unidades de producción. La dependencia de insumos externos como los concentrados comerciales, aunado al bajo o nulo valor agregado a la producción de leche fueron los indicadores que limitaron la sostenibilidad en la escala económica⁽²⁰⁾.

Por lo tanto, el desarrollo de estrategias de alimentación basadas en el uso de recursos locales como las especies leñosas, bancos de proteína durante la época de estiaje, aunado a la formulación de suplementos utilizando recursos locales como maíz mazorca y melaza (fuente de energía rápidamente disponible), incrementará la eficiencia de la utilización de forrajes de baja calidad durante la época de estiaje a bajo costo.

Conclusiones e implicaciones

Bajo las condiciones en las que se realizó este estudio, es posible reducir los costos de producción al utilizar suplementos con un contenido de 14 % de PC e incluso menor, elaborados con mazorca de maíz producido en la unidad de producción sin afectar los rendimientos productivos de las vacas, peso o condición corporal. Vacas en sistemas agrosilvopastoriles obtuvieron 50 % de los requerimientos energía y proteína cruda para mantenimiento y producción de leche a partir del pastoreo. Los altos niveles de nitrógeno ureico en leche indicaron que las vacas en un sistema agrosilvopastoril consumieron forrajes ricos en proteína cruda. Para maximizar el aprovechamiento de este tipo de recursos forrajeros se debe incluir fuentes de energía rápidamente disponible en las raciones de vacas de forma que el balance entre energía y proteína cruda sea adecuado. Por lo tanto, es importante monitorear los niveles de NUL como una herramienta que ayude a determinar el correcto nivel de PC en los suplementos, con el fin de evitar excesos de proteína cruda en las dietas de las vacas.

Agradecimientos

Se agradece la cooperación del titular de la unidad de producción participante. A la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento al proyecto de investigación (UAEM 2564/2007U); así como a la SEP-PROMEP (103.5/07/2781). Al Consejo Nacional de Tecnología por la beca de posgrado del primer autor. Finalmente, a los árbitros por las sugerencias para mejorar este trabajo.

Literatura citada:

1. IndexMundi. Agricultural production, supply and distribution. www.indexmundi.com/agriculture/. Accessed July 15, 2019.
2. Lactodata Información sobre el sector lechero. Reporte 11 www.lactodata.info/produccion-de-leche-de-vaca. 2017. Consultado julio 2, 2018.
3. Albarrán-Portillo B, Rebollar-Rebollar S, García-Martínez A, Rojo-Rubio R, Avilés-Nova F, Arriaga-Jordán CM. Socioeconomic and productive characterization of dual purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2015;47:519-523.
4. Absalón-Medina VA, Blake RW, Gene Fox D, Juárez-Lagunes EG, Nicholson FC, Canudas-Lara EG. Limitations and potentials of dual-purpose cow's herds in central coastal Veracruz, Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2011;44:1131-1142. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0049-1>.

5. Salas-Reyes IG, Arriaga-Jordán CM, Estrada-Flores JG, García-Martínez A, Rojo-Rubio R, Vázquez-Armijo JF, *et al.* Productive and economic response to partial replacement of cracked maize ears with ground maize or molasses in supplements for dual-purpose cows. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(2):335-352. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4569>.
6. Deen AU, Tyagi N, Yadav RD, Kumar S, Tyagi AK, Kumar Singh, S. Feeding balanced rations can improve the productivity and economics of milk production in dairy cattle: a comprehensive field study. *Trop Anim Health Prod* 2019;51:737-744 <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1747-8>.
7. Charbonneau E, Chouinard PY, Allard G, Lapierre H, Pellerin D. Milk from forage as affected by carbohydrates source and degradability with alfalfa silage-based diets. *J Dairy Sci* 2006;89:283-293.
8. Charbonneau E, Bregard A, Allard G, Lefebvre D, Pellerin D. Revisiting the prediction of milk from forage according to NRC 2001 [abstract]. *Can J Anim Sci* 2003; 83:647.
9. Albarrán-Portillo B, García-Martínez A, Ortiz-Rodea A, Rojo-Rubio R, Vázquez-Armijo JF, Arriaga-Jordán CM. Socioeconomic and productive characteristics of dual purpose farms based on agrosilvopastoral systems in subtropical highlands of central Mexico. *Agroforest Syst* 2018;93:1939-1947. doi: 10.1007/s10457-018-0299-2.
10. Grazing terminology. Terminology for grazing lands grazing animals. Forage information system. Oregon State University. Accessed April 2nd 2020. <https://forages.oregonstate.edu/fi/topics/pasturesandgrazing/grazingsystemdesign/grazingterminology>.
11. Broderick GA, and Clayton MK. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 1997;80:2964–2971. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76262-3.
12. Wildman EE, Jones GM, Wagner PE. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to select production characteristics. *J Dairy Sci* 1982;265:495-501.
13. AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed. AOAC International, Arlington, VA, USA. 2000.
14. Mauricio MR, Mould FL, Dhanoa MS, Owen E, Channa K, Theodorou MK. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Anim Feed Sci Technol* 1999;79(4):321-330.
15. Baker RD. Estimating herbage intake from animal performance. In: Leaver JD editor. *Herbage Intake Handbook*. Hurley: British Grassland Society. UK. 1982:77-93.

16. AFRC. Agricultural and Food Research Council. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. Wallingford: CAB International. 1993.
17. Harper JK, Cornelisse S, Kime LF, Hyde J. Budgeting for agricultural decision making. Pennsylvania State University. College of Agricultural Sciences. 2013. <https://extension.psu.edu/budgeting-for-agricultural-decision-making>. Accessed November 19, 2018.
18. SAS. SAS/STAT User's guide. (Version 9 ed.). Cary, NC, USA. 1989.
19. Kononoff PJ, Handford KJ. Technical Note: Estimating statistical power of mixed models used in dairy nutrition experiments. Faculty Papers and Publications in Animal Science. Paper 725. 2006 <http://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/725>.
20. Salas-Reyes IG, Arriaga-Jordán CM, Rebollar-Rebollar S, García-Martínez A, Albarrán-Portillo B. Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2015;47:1187-1194.
21. Gehman AM, Bertrand JA, Jenkins TC, Pinkerton BW. The effect of carbohydrate source on nitrogen capture in dairy cows on pasture. *J Dairy Sci* 2006;89(7):2659-2667.
22. Granzin BC, Dryden G McL. Monensin supplementation of lactating cows fed tropical grasses and cane molasses or grain. *Anim Feed Sci Technol* 2005;120:1-16.
23. Bottini-Luzardo MB, Aguilar-Pérez CF, Centurión-Castro FG, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC. Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *Leucaena leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Trop Grasslands-Forrajes Trop* 2016; 4:159–167. doi:10.17138/TGFT(4)159-167.
24. Salvador-Loreto I, Arriaga-Jordán CM, Estrada-Flores JG, Vicente-Mainar F, García-Martínez A, Albarrán-Portillo B. Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2016;48(3):643-648. doi:10.1007/s11250-016-1012-y.
25. Morales CH, Montes AH, Villegas De Gante AZ, Mandujano EA. El proceso socio-técnico de producción de Queso Añejo de Zacazonapan, Estado de México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2011;2:161–176.
26. Kohn RA, Kalscheur KF, Russek-Cohen E. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 2002;85:227-233.
27. Tamminga S. Nutrition management of dairy cows as a contribution of pollution control. *J Dairy Sci* 1992;75:345-357.

28. Jonker JS, Kohn RA, High J. Use of milk urea nitrogen to improve dairy cow diets. *J Dairy Sci* 2002;85:939-946.
29. Rivera JL, Chára J, Barahona R. CH₄, CO₂, and N₂O emissions from grasslands and bovine excreta in two intensive tropical dairy production system. *Agroforest Syst* 2019;93:915-928. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0187-9>.
30. Vandermeulen S, Ramírez-Restrepo CA, Beckers Y, Claessens H, Bindelle, J. Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Anim Prod Sci* 2018;58:767-777. <https://doi.org/10.1071/AN16434>.