

January 2017

Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein

Luis Miguel Gómez Osorio

Universidad de Antioquia, lmgomezo@solla.com

Sandra Lucía Posada Ochoa

Universidad de Antioquia, sandra.posada@udea.edu.co

Martha Olivera Ángel

Universidad de Antioquia, martha.olivera@udea.edu.co

Ricardo Rosero Noguera

Universidad de Antioquia, jaime.rosero@udea.edu.co

Pablo Aguirre Martínez

Universidad de Antioquia, paguirre@solla.com

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/mv>

Citación recomendada

Gómez Osorio LM, Posada Ochoa SL, Olivera Ángel M, Rosero Noguera R y Aguirre Martínez P. Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. *Rev Med Vet.* 2017;(34): 9-22. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.4251>

Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein

Luis Miguel Gómez Osorio¹ / Sandra Lucía Posada Ochoa² / Martha Olivera Ángel³ / Ricardo Rosero Noguera⁴ / Pablo Aguirre Martínez⁵

- 1 Médico veterinario zootecnista, MSc, Dr. Sc. Grupo de investigación y desarrollo Nutri-Solla, Solla S. A., Medellín (Colombia). Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín. Grupo de investigación Biogénesis, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín.
✉ imgomezo@solla.com
- 2 Zootecnista, MSc., Dr. Sc. Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín (Colombia).
✉ sandra.posada@udea.edu.co
- 3 Médico veterinario Dr. Sc. Grupo de investigación Biogénesis, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín (Colombia).
✉ martha.olivera@udea.edu.co
- 4 Zootecnista, MSc., Dr. Sc. Grupo de investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín (Colombia).
✉ jaime.rosero@udea.edu.co
- 5 Zootecnista, MSc. Grupo de Investigación y Desarrollo Nutri-Solla, Solla S. A., Medellín (Colombia).
✉ paguire@solla.com

Resumen

En Latinoamérica, Colombia es el cuarto productor de leche. El elevado costo de los insumos alimenticios puede ser limitante para la rentabilidad de esta actividad. El precio del maíz como ingrediente energético extensamente demandado por el sector de alimentos y la producción de biocombustibles es uno de los factores que más influye en el costo de alimentación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la rentabilidad de la producción de leche en función de la fuente del carbohidrato utilizada para la suplementación de vacas holstein en pastoreo. El tratamiento 1 (T1) incluyó como fuente principal de energía (en el suplemento) el maíz (*Zea mays*); en los tratamientos 2, 3 y 4, aproximadamente el 50% de los nutrientes digestibles totales (NDT) aportados por el maíz fueron garantizados por sorgo (*Sorghum vulgare*, T2), yuca (*Manihot esculenta*, T3) y pulpa cítrica (*Citrus* sp., T4). Si bien entre tratamientos no se registraron diferencias estadísticas en la producción de leche y su calidad composicional ($p > 0,05$), la inclusión de yuca mejoró el ingreso por venta de leche al incidir positivamente en el precio base del producto (gramos de proteína y grasa producidos). Además de ello, la inclusión de yuca redujo el costo asociado con la suplementación y el costo total de producción del litro de leche, lo que finalmente mejoró los indicadores de rentabilidad evaluados. El tratamiento que incluyó pulpa cítrica fue el que registró menor rentabilidad, consecuencia de su menor disponibilidad y mayor costo de adquisición.

Palabras clave: costo de producción, eficiencia alimenticia, rentabilidad, suplemento nutricional.

Analysis of milk production profitability according to variation in the carbohydrate source used in the supplementation of Holstein cows

Abstract

In Latin America, Colombia is the fourth largest milk producer. The high cost of food supplies can limit the profitability of this activity. The price of corn as an energy ingredient widely demanded by the food sector and biofuel production is one of the factors that most influences food costs. This work aimed to evaluate the profitability of milk production according to the carbohydrate source used in the supplementation of grazing Holstein cows. Treatment 1 (T1) included corn (*Zea mays*) as the main source of energy (in the supplement); in Treatments 2, 3, and 4, approximately 50% of the total digestible

Cómo citar este artículo: Gómez Osorio LM, Posada Ochoa SL, Olivera Ángel M, Rosero Noguera R, Aguirre Martínez P. Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. Rev Med Vet. 2017;(34 Supl):9-22. doi: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.4251>

nutrients (TDN) provided by corn were guaranteed by sorghum (*Sorghum vulgare*, T2), cassava (*Manihot esculenta*, T3), and citrus pulp (*Citrus sp.*, T4). Although there were no statistical differences among treatments regarding milk production and compositional quality ($p > 0.05$), the inclusion of cassava improved the income from milk sales by positively affecting the base price of the product (grams of protein and fat produced). In addition, the inclusion of cassava reduced the cost associated with supplementation and the total cost of production of a liter of milk, which ultimately improved the profitability indicators evaluated. It was the treatment that included citrus pulp that registered lower profitability, due to its lower availability and higher acquisition costs.

Keywords: cost of production, food efficiency, profitability, nutritional supplement.

Análise de rentabilidade da produção de leite segundo a variação da fonte de carbo-hidrato utilizada no suplemento de vacas Holstein

Resumo

Na América Latina, a Colômbia é o quarto produtor de leite. O elevado custo dos insumos alimentícios pode ser limitante para a rentabilidade desta atividade. O preço do milho como ingrediente energético extensamente demandado pelo setor de alimentos e a produção de biocombustíveis é um dos fatores que mais influi no custo de alimentação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a rentabilidade da produção de leite em função da fonte do carbo-hidrato utilizada para a suplementação de vacas Holstein em pastoreio. O tratamento 1 (T1) incluiu como fonte principal de energia (no suplemento) o milho (*Zea mays*); nos tratamentos 2, 3 e 4, aproximadamente o 50% dos nutrientes digestíveis totais (NDT) aportados pelo milho foram garantidos por sorgo (*Sorghum vulgare*, T2), mandioca (*Manihot esculenta*, T3) e polpa cítrica (*Citrus sp.*, T4). Mesmo que entre tratamentos não se registraram diferenças estatísticas na produção de leite e sua qualidade composicional ($p > 0,05$), a inclusão de mandioca melhorou o ingresso por venda de leite ao incidir positivamente no preço base do produto (gramas de proteína e gordura produzidos). Além disso, a inclusão de mandioca reduziu o custo associado com a suplementação e o custo total de produção do litro de leite, o que finalmente melhorou os indicadores de rentabilidade avaliados. O tratamento que incluiu polpa cítrica foi o que registrou menor rentabilidade, consequência de sua menor disponibilidade e maior custo de aquisição.

Palavras chave: custo de produção, eficiência alimentícia, rentabilidade, suplemento nutricional.

INTRODUCCIÓN

En los últimos treinta años, la producción mundial de leche creció a una tasa anual promedio de 1,8%, pasando de 482 a 754 millones de toneladas entre 1982 y 2012; la India fue el principal productor, con el 16% de la participación, seguido por Estados Unidos, Rusia,

Brasil y Nueva Zelanda, los cuales a su vez concentraron el 75% del total mundial (1,2). En Latinoamérica, Colombia ha conseguido ubicarse en el cuarto lugar, con un volumen aproximado de 6500 millones de toneladas en 2014, lo cual evidencia que se encuentra por debajo de Brasil, México y Argentina, cuya producción representa el 66% del total de la región. En el ámbito mundial,

Colombia se ubica en el decimoquinto lugar de la clasificación total de productores (3). En 2008, los países que registraron mayor productividad de leche fresca por vaca fueron: Estados Unidos, con 30,6 kg/d; Francia, con 20,7 kg/d, y Suiza, con 18,9 kg/d. Colombia presentó un rendimiento promedio de 6,1 kg/d (2), valor altamente influenciado por los sistemas doble propósito que generan el 55 % de la producción nacional (4).

En el contexto global, hay aproximadamente 300 millones de personas que dependen del ingreso diario por venta de leche. Si bien el desarrollo del mercado regional de leche es difícil de predecir, se considera que los países en vía de desarrollo, como Colombia, pueden beneficiarse de nuevas oportunidades, con un gran impacto social y económico (5). En 2012, la ganadería de leche en Colombia generó el 3,18 % del empleo total nacional, lo que correspondió al 13,92 % de los empleos del sector agropecuario, el 10,2 % del PIB pecuario y el 0,9 % del PIB nacional. La actividad agroindustrial de la leche proporcionó 13.000 empleos directos, con una participación del 2 % del empleo nacional y del 4 % en la producción industrial (6).

Los costos de producción afectan negativamente la rentabilidad de la operación. Estos varían en función del nivel tecnológico aplicado en la granja, la disponibilidad de mano de obra, agua y forrajes para el ganado, la genética animal, entre otros (2). Nueva Zelanda registra los costos de producción más bajos en el ámbito mundial. Al contrario, Japón, Noruega y Suiza presentan altos costos de producción, debido a la falta de tierras para el ganado (2). Los costos de producción en Colombia varían según la región y el sistema de producción. En el país, el costo promedio por litro para pequeños, medianos y grandes productores es de 802, 731 y 774 pesos, respectivamente (7). Los rubros alimentación y mano de obra son los más importantes, y representan el 75,8 % (7). El precio de los productos básicos, como el maíz, es uno de los factores que más influye en el costo de la alimentación. Este ingrediente, debido a su alto contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) —el almidón corresponde al 76 % del peso del grano (8)— es muy demandado por el sector de alimentos para humanos y

animales y para la producción de biocombustibles (9). En este sentido, es necesario evaluar otras fuentes de energía para la elaboración de alimentos concentrados para animales, que a su vez permitan disminuir los costos de producción y, por ende, mejorar la rentabilidad.

El sorgo es una fuente importante de almidones (71,3 %) (8) para la ganadería de leche, y su contenido de proteína cruda es más alto que el del maíz (10); no obstante, por presentar menor digestibilidad que este último, se le atribuye menor valor nutricional. Esta característica no siempre resulta en disminución de la producción de leche. Hay informes en la literatura que apoyan la hipótesis de que el reemplazo de maíz por sorgo en dietas para vacas de alta producción no disminuye el desempeño productivo (11,12).

La yuca contiene entre 65 y 85 % de CNF y se ha usado con frecuencia en la alimentación del ganado (13). Hay estudios en los cuales se muestra que los rumiantes responden favorablemente a la introducción de yuca en la dieta en reemplazo del maíz. Kanjanapruthipong y colaboradores (13) demostraron una mejor eficiencia alimenticia (EA) en producción de leche cuando se usó la yuca en el suplemento en reemplazo del maíz.

Los subproductos de cítricos son componentes importantes de los sistemas de alimentación de los rumiantes en muchas áreas del mundo, y son una buena fuente de energía dietaria (14). Uno de los subproductos cítricos más empleados es la pulpa cítrica, la cual contiene cantidades considerables de azúcar (12-40 %) y carbohidratos fibrosos solubles en detergente neutro (22-45 %), como las pectinas (15). El reemplazo parcial de granos altamente fermentables por pulpa cítrica en la dieta del ganado lechero puede mejorar la salud ruminal y la eficiencia de la utilización del alimento para la producción (16,17). Santos y colaboradores (18) observaron un incremento en producción de leche cuando las vacas fueron alimentadas con pulpa cítrica en sustitución del 14 % del maíz en dietas totalmente mezcladas. El efecto de la inclusión de pulpa cítrica en las condiciones de pastoreo que caracterizan la producción de leche en el trópico alto colombiano no ha sido divulgado hasta el

presente. Por tratarse de un subproducto agroindustrial que puede registrar menores costos de comercialización respecto a los granos de cereales tradicionalmente empleados en la alimentación del ganado, la inclusión de este ingrediente puede impactar la economía del sector productor de alimentos concentrados para animales y del productor pecuario dedicado a la actividad lechera.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la rentabilidad de la producción de leche en función de la fuente de carbohidrato utilizada para la suplementación de vacas holstein en pastoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los resultados experimentales del trabajo “Evaluación *in vitro* e *in vivo* de diversas estrategias nutricionales para mitigar las emisiones de metano y su impacto productivo, reproductivo y económico en ganadería de leche especializada en el norte de Antioquia”, aprobado por el Comité de Ética para la Experimentación con Animales de la Universidad de Antioquia, actas 76 (mayo de 2012) y 83 (mayo de 2013), constituyeron el insumo para establecer el precio de venta, los costos de producción y el análisis de rentabilidad asociado con la producción de leche que se presenta en este trabajo.

Localización

El experimento se realizó en la granja Betania (6°4'57,9" N, 75°28'23,8" W), propiedad de la empresa Solla S. A., ubicada en el municipio de Santa Rosa de Osos (Antioquia, Colombia). Esta zona se encuentra a 2600 m s. n. m. y presenta una temperatura promedio de 19,1 °C, humedad relativa de 67,9% y precipitación anual de 2400 mm, características de un bosque húmedo montano bajo (19).

Animales y diseño experimental

Ocho vacas holstein friesian de 534 ± 34 kg de peso vivo fueron usadas en un diseño en cuadrado latino replicado. El número de parto representó el efecto del cuadra-

do, de tal forma que los animales de tercer parto fueron asignados al primer cuadrado, y los de cuarto y quinto parto, al segundo. Las unidades experimentales recibieron el mismo manejo de los restantes animales del hato. Los animales (efecto columna) participaron del trabajo los primeros 60 días posparto, por lo que la duración de cada período experimental (efecto fila) fue de 15 días; los primeros 10 días correspondieron al período de adaptación al tratamiento, y los restantes 5, al de medición.

Dietas experimentales y alimentación

Los animales consumieron pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) de 41 días de rebrote que presentó la siguiente composición química como porcentaje de la materia seca (MS): proteína cruda (PC), 24,7%; extracto etéreo (EE), 3,7%; fibra en detergente neutro (FDN), 52,9%; fibra en detergente ácido (FDA), 29,8%; lignina, 4,6%; cenizas (MI), 9,6% y CNF, 9,1%. Los animales pastorearon en conjunto cada potrero durante 24 h, con lo cual se garantizó una oferta forrajera de 31 kg de MS/vaca/d, aproximadamente. El consumo de MS de pasto (CMS_p) se determinó a partir de marcadores, óxido crómico y MS indigestible (20,21) y el consumo de materia seca del suplemento (CMS_s) por diferencia entre la oferta y el rechazo. El consumo de materia seca total (CMS_T) correspondió a la suma ($CMS_p + CMS_s$).

Se garantizaron cuatro diferentes suplementos isoenergéticos e isoproteicos correspondientes a los tratamientos experimentales. El tratamiento 1 (T1) incluyó como fuente principal de energía el maíz (*Zea mays*); en los tratamientos 2, 3 y 4, aproximadamente el 50% de los nutrientes digestibles totales (NDT) aportados por el maíz fueron garantizados por otras fuentes de CNF, a saber: sorgo (*Sorghum vulgare*, T2), yuca (*Manihot esculenta*, T3) y pulpa cítrica deshidratada (*Citrus* sp., T4). En la tabla 1 se presentan los ingredientes y la descripción química de los suplementos. La suplementación se realizó dos veces al día, durante el ordeño, a las 04:00 y 14:00 h, y se estableció con base en el promedio de producción de leche semanal, en una relación próxima a 3.5:1 (1 kg de suplemento por cada 3,5 kg de leche). El agua se suministró *ad libitum*.

Tabla 1. Ingredientes y composición química de los cuatro suplementos concentrados

Ítem	Tratamientos experimentales			
	T1 (<i>Z. mays</i>)	T2 (<i>S. vulgare</i>)	T3 (<i>M. esculenta</i>)	T4 (<i>Citrus sp.</i>)
<i>Ingredientes</i>				
Maíz	44,3	21,8	19,3	23,9
Sorgo ^a	-	22,5	-	-
Yuca	-	-	20,5	-
Pulpa cítrica	-	-	-	25,8
Maíz forraje	10,0	9,3	10,0	5,0
Salvado de trigo	11,2	10,0	11,8	10,0
Harina de arroz	8,6	10,8	11,7	7,6
Torta de girasol	8,0	8,0	5,0	8,0
Torta de soya	8,4	8,0	12,2	11,2
Melaza	4,4	4,4	4,4	4,4
Carbonato de calcio	3,7	3,7	3,7	2,3
Cloruro de sodio	0,86	0,8	0,91	0,8
Bicarbonato de sodio	0,3	0,3	0,30	0,3
Premezcla ^b	0,2	0,2	0,20	0,2
Fosfato tricálcico	0,17	0,1	-	0,5
<i>Composición química (%)^c</i>				
MS	89,7	89,5	91,5	89,4
PC	18,0	18,7	18,1	18,6
EE	4,3	4,3	4,3	4,6
MI	8,6	8,8	9,5	8,4
Ca	1,8	1,9	1,8	1,9
P _t	0,7	0,7	0,7	0,7
FC	4,6	4,9	5,2	7,7
FDN	17,0	16,7	19,0	18,5
FDA	8,4	9,0	8,4	12,6
CNF ^d	52,2	51,6	49,1	49,9
Lignina	2,5	2,8	3,0	3,6
Almidón	30,4	31,8	25,6	21,2
Pectina ^e	1,4	< 1,0	< 1,0	8,9
EB, Mcal/kg	4,4	4,4	4,3	4,4
EN _l ^f , Mcal/kg	1,6	1,6	1,6	1,6
NDT _g	71,4	70,6	71,0	71,8

^a Sorgo con 954,5 mg de catequina/100 g de muestra.

^b Composición garantizada por cada kg de premezcla: vitamina A, 2.500.000 UI; vitamina D₃, 750.000 UI; vitamina E, 2.000 UI; Fe, 12,5 g; Cu, 2,5 g; Mn, 10 g; Zn, 10 g; I, 0,15 g; Co, 0,025 g; antioxidante BHT, 30 g.

^c Composición expresada en el 100 % de la materia seca (MS): PC = proteína cruda; EE = extracto etéreo; MI = material inorgánico (cenizas); Ca = calcio; P_t = fósforo total; FC = fibra cruda; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; CNF = carbohidratos no fibrosos; EB = energía bruta; EN_l = energía neta de lactancia; NDT = nutrientes digestibles totales.

^d CNF = 100 - (PC+EE+FDN+MI).

^e Cuantificada a partir de la concentración de ácido galacturónico

^f EN_l = (NDT*0,0245) - 0,12

^g NDT = dvCNF + dvPC + (dvAG*2,25) + dvFDN - 7, donde AG = ácidos grasos (AG = EE - 1) y dv = digestibilidad verdadera

Producción, calidad composicional, higiénica y sanitaria de la leche

La leche obtenida, tanto del ordeño a. m. como del p. m., fue diariamente pesada los tres últimos días de cada período experimental (sistema automático MM27BC, DeLaval International AB, Sweden). La calidad composicional (proteína y grasa, valores expresados en porcentaje) y sanitaria (conteo de células somáticas, CCS, valores expresados en miles de células por mililitro) se determinó en el Laboratorio de Análisis de Leche de la Universidad de Antioquia. La calidad higiénica se evaluó mediante cuantificación de las unidades formadoras de colonias (UFC), tomando la muestra de leche del tanque de enfriamiento de la granja durante todo el período experimental. Con base en el desempeño productivo (producción de leche en litros) y el CMS_p, se determinó la EA, expresada en litros de leche por kilogramo de MS consumida. La conversión de kilogramos a litros de leche se realizó a partir de la densidad del producto (1032 g/l).

Ingreso por venta de leche

El precio de venta del litro de leche se basó en la Resolución 017 de 2012 (22), por medio de la cual el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) estableció el sistema de pago de leche cruda al proveedor, de acuerdo con su calidad composicional e higiénico-sanitaria. En relación con la calidad composicional, el precio del litro de leche se determinó mediante el sistema de precio base del gramo de proteína y grasa, 19,40 y 6,46 pesos (valores para el departamento de Antioquia). De acuerdo con dicha resolución, el precio de venta del gramo de proteína triplica el valor asignado al gramo de grasa (22). La producción de proteína se estimó mediante la ecuación:

$$Q_{gp} = [(Pr \times DL)/100]$$

Donde: Q_{gp} = gramos de proteína/l de leche, Pr = gramos de proteína/100 g de leche y DL = densidad de leche (1032 g/l).

De manera similar, se estimó la producción de grasa:

$$Q_{gg} = [(Gr \times DL)/100]$$

Donde: Q_{gp} = gramos de grasa/l de leche, Gr = gramos de grasa/100 g de leche y DL = densidad de leche.

Las bonificaciones por calidad higiénica y sanitaria fueron sumadas al precio base por calidad composicional. Las bonificaciones que se cuantificaron fueron: certificación en buenas prácticas ganaderas (BPG, \$10, Certificado DTIIV-933 emitido por el Instituto Colombiano Agropecuario el 14 de junio de 2013), hato libre de brucelosis (\$10) y tuberculosis (\$10), unidades formadoras de colonias (UFC, valores fluctuando entre 0-25.000, \$79), CCS (valores inferiores a 400.000 cel/ml recibieron una bonificación de \$20 y por debajo de 200.000 cel/ml, de \$10 adicionales) y presencia de tanque de enfriamiento (\$15) (valores monetarios por cada litro de leche).

El costo de transporte correspondió al descuento que realizó el comprador al proveedor de leche, teniendo en cuenta el tipo de vehículo y la distancia entre la planta de procesamiento y la unidad productiva (finca) (22). En este trabajo, el costo correspondió a \$27 por cada litro de leche.

El precio de venta del litro de leche (P) fue hallado mediante la ecuación: $P = ((V_{gp} \times Q_{gp}) + (V_{gg} \times Q_{gg}) + Bo) - T$; donde: V_{gp} = valor (\$) del gramo de proteína, Q_{gp} = cantidad (g) de proteína contenida en un litro de leche, V_{gg} = valor (\$) del gramo de grasa, Q_{gg} = cantidad (g) de grasa contenida en un litro de leche, Bo = bonificaciones obligatorias, T = costo de transporte. El precio de venta del producto se expresó en unidades monetarias (\$) y en forma de índice, asignando el valor de 1 al tratamiento con mayor ingreso por litro de leche. Los valores restantes correspondieron a un porcentaje sobre ese valor.

Costo de producción de leche

La estimación del costo de producción del litro de leche fue realizada mediante el concepto de costos diferenciales (costos fijos y costos variables). Los costos fijos incluyeron aquellos costos independientes del área de operación, tales como mano de obra, arrendamiento del terreno, servicios públicos, visita veterinaria, depreciación de instalaciones, equipos y animales. La depreciación de instalaciones y equipos se estimó considerando la vida útil: 15 años para el establo, la sala y los equipos de ordeño; 10 para el tanque de enfriamiento y las canecas y 5 para las fumigadoras y el termo de enfriamiento de pajillas. La depreciación de los animales se calculó como [(valor comercial en la zona – valor residual) / vida productiva de la vaca (7 años)]. El valor residual corresponde al valor de venta del animal de descarte. Todos los criterios de depreciación cumplieron con los parámetros establecidos en las normas internacionales de información financiera (23).

Los costos variables incluyeron aquellos costos que se modificaron de acuerdo con el volumen de producción, esto es, insumos para el mantenimiento de las praderas, la sanidad y la alimentación animal. Los costos de alimentación incluyeron el costo del forraje y de los suplementos. El costo del forraje (\$/kg MS) se calculó a partir de la cantidad de insumos agropecuarios utilizados por pastoreo (fertilizante, pesticida) y de la mano de obra requerida para su aplicación (24). La producción de 1 kg de MS de forraje se valoró en \$73. El precio del suplemento correspondiente a los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fue 1050, 1059, 1021 y 1416 pesos/kg MS, respectivamente.

Los costos fijos, variables y totales por cada litro de leche se expresaron en unidades monetarias (\$) y en forma de índice. Al tratamiento que registró los menores costos se le asignó el valor de 1; el incremento porcentual en el costo de los restantes tratamientos se expresó con base en esa unidad.

A partir de la relación (1/EA) se calcularon los kilogramos de MS de alimento que se requieren para producir

un litro de leche. Ese valor fue relacionado con la participación porcentual de forraje y suplemento en cada tratamiento, con el fin de determinar los kilogramos de MS de forraje y suplemento necesarios para producir el litro de leche. El producto de esas cantidades por el precio del kilogramo de MS de cada uno de los alimentos permitió estimar el costo de alimentación asociado con la producción del litro de leche. El costo de alimentación se expresó como porcentaje del costo total de producción en cada tratamiento experimental. Finalmente se estableció la diferencia: precio de venta/litro de leche-costo de alimentación/litro de leche.

Análisis de rentabilidad

La rentabilidad se valoró a partir de diferentes parámetros, a saber: margen de utilidad bruta (MUB), margen porcentual (MP), relación precio de venta/costo de alimentación (PCA) y el índice de ingresos sobre costos de alimentación (ISCA).

El MUB se obtuvo por diferencia entre los ingresos por venta y el costo de producción del litro de leche. El MP resultó de la relación (MUB/ingresos por venta del litro de leche) \times 100.

La PCA correspondió al precio de venta de un litro de leche dividido por el costo de un kilogramo de MS de alimento (forraje más suplemento) (25). Este indicador, por tanto, corresponde al número de kilogramos de MS de alimento que pueden ser comprados con los ingresos generados por la venta de un litro de leche. El costo del kilogramo de MS se obtuvo a partir de la relación forraje concentrado de cada tratamiento y el costo correspondiente a estos alimentos. El precio de venta de la leche correspondió al obtenido para cada tratamiento, como fue previamente descrito.

El ISCA se calculó a partir de la ecuación $ISCA = [(\text{precio de venta de un litro de leche}) - (\text{costo de un kilogramo de materia seca total}) \times (1/EA)]$ (25), donde EA corresponde a la eficiencia alimenticia definida como los litros de leche producidos por kilogramo de MS consumida (26).

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra el efecto de los tratamientos sobre el CMS, la producción de leche y su calidad composicional y sanitaria. No se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0,05$) en las va-

riables en estudio; solo una tendencia estadística ($p = 0,07$) en la producción de leche, que fue numéricamente superior e inferior para los tratamientos que incluyeron yuca y pulpa cítrica, respectivamente. La EA fue similar entre los tratamientos T1 y T3 y entre los tratamientos T2 y T4; estos últimos presentaron menores valores.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre el consumo de materia seca, la producción de leche y su calidad composicional y sanitaria

Ítem	Tratamientos				EEM*	Valor p
	T1 (<i>Z. mays</i>)	T2 (<i>S. vulgare</i>)	T3 (<i>M. esculenta</i>)	T4 (<i>Citrus sp.</i>)		
CMS _p (kg/animal/d)	11,58	12,19	12,36	11,62	0,54	0,93
CMS _s (kg/animal/d)	7,78	8,59	8,13	8,30	0,22	0,16
CMS _t (kg/animal/d)	19,36	20,77	20,48	19,92	0,57	0,77
PL (l/animal/d)	32,15	31,33	33,54	30,63	1,11	0,07
Eficiencia (l/kg MS)	1,66	1,51	1,64	1,60	0,06	0,64
Grasa (%)	3,50	3,67	3,83	3,72	0,14	0,52
Proteína (%)	2,89	2,83	2,94	2,81	0,05	0,26
CCS (células × 1000)	150,00	231,00	269,00	309,00	52,80	0,63

*Error estándar de la media.

El precio de venta del litro de leche para cada tratamiento se presenta en la tabla 3. El mejor precio de venta fue para el tratamiento que incluyó suplemento concentra-

do formulado con yuca, respecto a los suplementos que incluyeron maíz, sorgo y pulpa cítrica.

Tabla 3. Precio de venta del litro de leche para los tratamientos experimentales

Ítem	Tratamientos			
	T1 (<i>Z. mays</i>)	T2 (<i>S. vulgare</i>)	T3 (<i>M. esculenta</i>)	T4 (<i>Citrus sp.</i>)
Proteína (g/l leche)	29,82	29,21	30,34	29,00
Grasa (g/l leche)	36,12	37,87	39,53	38,39
Precio de la proteína (\$/l leche) ^a	578,60	566,60	588,60	562,60
Precio de la grasa (\$/l leche) ^a	233,30	244,70	255,30	248,00
Precio base (\$/l leche) ^b	812,00	811,00	844,00	811,00
Precio de venta (\$/l leche) ^c	939,00	928,00	961,00	928,00
Índice ^d	0,98	0,97	1,00	0,97

^a El precio base de la proteína y la grasa fue calculado con los valores 19,4 y 6,46 pesos, respectivamente.

^b Corresponde a la sumatoria del precio de la proteína y la grasa.

^c Al precio base por calidad composicional se le suman bonificaciones por concepto de UFC, \$79; BPG, \$10; CCS, valores inferiores a 400.000 cel/ml recibieron una bonificación de \$20 y por debajo de 200.000 cel/ml recibieron bonificación de \$10; hato libre de *Brucella* y tuberculosis, \$20; frío, \$15. Se descuenta el costo de transporte, \$ (valores por cada litro de leche, comunes a todos los tratamientos).

^d El valor 1 se asignó al tratamiento con mayor ingreso por litro de leche. Los restantes valores correspondieron a un porcentaje sobre ese valor.

En la tabla 4 se muestran los costos de producción por cada litro de leche. El tratamiento que incluyó pulpa cítrica presentó un costo total de producción 33 % su-

perior al tratamiento formulado con yuca, lo cual fue altamente influenciado por el costo variable del primero, que fue 43 % superior respecto al tratamiento con yuca.

Tabla 4. Costo de producción del litro de leche para los tratamientos experimentales

Ítem	Tratamientos			
	T1 (<i>Z. mays</i>)	T2 (<i>S. vulgare</i>)	T3 (<i>M. esculenta</i>)	T4 (<i>Citrus sp.</i>)
Costo fijo (\$/l leche)	153,60	157,60	147,10	161,20
Índice*	1,04	1,07	1,00	1,10
Costo variable (\$/l leche)	345,10	383,50	334,30	476,90
Índice*	1,03	1,15	1,00	1,43
Costo total (\$/l leche)	498,70	541,10	481,40	638,10
Índice*	1,04	1,12	1,00	1,33

* Al tratamiento que registró los menores costos se le asignó el valor de 1; el incremento porcentual en el costo de los restantes tratamientos se expresó con base en esa unidad.

En la tabla 5 se muestra la proporción del costo de alimentación (forraje, suplemento) respecto a los costos totales de producción. Los costos por consumo de forraje y de suplemento representaron el $5,1 \pm 0,5\%$ y $54,0 \pm 4,2\%$ de los costos totales de producción, respectiva-

mente. El costo total de alimentación como proporción del costo total de producción fue superior para el tratamiento que incluyó pulpa cítrica, resultado del mayor costo asociado con ese suplemento.

Tabla 5. Costo de alimentación y su participación en el costo total de producción

Ítem	Tratamientos			
	T1 (<i>Z. mays</i>)	T2 (<i>S. vulgare</i>)	T3 (<i>M. esculenta</i>)	T4 (<i>Citrus sp.</i>)
Costo forraje (\$/l leche)	26,3	28,4	26,9	27,7
Costo suplemento (\$/l leche)	254,1	290,4	247,5	383,7
Costo total alimentación (\$/l leche)	280,4	318,8	274,4	411,4
Costo forraje/costo total (%)	5,3	5,2	5,6	4,3
Costo suplemento/costo total (%)	51,0	53,7	51,4	60,1
Costo alimentación/costo total (%)	56,2	58,9	57,0	64,5
Precio venta-costo alimentación (\$)*	658,6	609,5	686,6	516,2

* Por cada litro de leche.

En la tabla 6 se presenta el análisis de rentabilidad de la producción de leche. El MUB y el MP por litro de leche fueron mayores en las dietas que incluyeron yuca. Los restantes indicadores de rentabilidad evaluados (PCA e

ISCA) también estuvieron a favor del tratamiento que incluyó yuca. Los cuatro tratamientos superaron el punto de equilibrio y presentaron un MUB positivo.

Tabla 6. Análisis de rentabilidad de los cuatro suplementos concentrados

Ítem	Tratamientos			
	T1 (<i>Z. mays</i>)	T2 (<i>S. vulgare</i>)	T3 (<i>M. esculenta</i>)	T4 (<i>Citrus</i> sp.)
MUB (\$/l leche)	440,0	387,0	480,0	289,0
MP (%)	46,9	41,7	49,9	31,2
PCA (\$/\$)	2,0	1,9	2,1	1,5
ISCA (\$)	658,6	609,5	686,6	516,2

DISCUSIÓN

El mayor precio base del litro de leche en el tratamiento con yuca (tabla 3) obedeció a la superioridad numérica en producción de leche y concentración de grasa y proteína (tabla 2). Esto demuestra la importancia de mejorar la calidad composicional del producto como el principal elemento que determina el sistema de pago de la leche cruda en Colombia (22). Los resultados de este trabajo así lo confirman. Los atributos de la calidad composicional representaron más del 86 % del precio de venta del litro de leche (tabla 3). Este sistema, sumado a las bonificaciones por características higiénico-sanitarias, promueve la optimización del producto para industrializadores y consumidores, además de apuntar a la sustentabilidad y competitividad de toda la cadena láctea.

Los costos de producción afectan directamente las utilidades del negocio y son una variable importante en la toma de decisiones para mejorar la competitividad. En este sentido es necesario establecer el costo de producción sobre una medida comparable con cualquier otro productor, esto es, en cuanto al costo por litro de leche producido. De acuerdo con un reportaje divulgado en 2014 por el diario *La República*, en Colombia el costo promedio de producir un litro de leche era 814 pesos/l; mientras que en países como Argentina, India, Uruguay y Nueva Zelanda, los costos de producción promediaban 675 pesos/l (27). Esto afecta negativamente el sector lácteo colombiano, que debe articularse exitosamente en los mercados internacionales y consolidarse en el mercado interno.

El costo de producción del litro de leche del presente trabajo (tabla 4) se encuentra por debajo de la media nacional registrada, lo cual obedece al mayor nivel de tecnificación asociado con los sistemas de lechería especializada. Si bien los costos fijos fueron los mismos para todos los tratamientos evaluados, las diferencias que se observan en la tabla 4 obedecen a las diferencias en producción de leche entre tratamientos (tabla 2). El tratamiento que incluyó pulpa cítrica en el suplemento fue el de menor nivel productivo y en esa medida el que registró mayor costo fijo por litro. Lo contrario sucedió con el tratamiento que incluyó yuca (tabla 4). Los costos variables fueron los que más afectaron el costo total de producción, lo cual es altamente explicado por la utilización del suplemento.

De acuerdo con el Conpes (2), el rubro de suplementación representa entre 37,1 y 52,9 % del costo total de producción para el caso de la ganadería de leche especializada en Antioquia y la sabana de Bogotá (2). En este estudio, el costo de la suplementación varió entre 51,0 y 60,1 % (tabla 5), lo cual supera el registro anterior. No obstante, debe tenerse en consideración que el periodo evaluado correspondió a los primeros 60 días de lactancia, en los que la exigencia nutricional y metabólica del animal es elevada, lo cual da lugar a una relación forraje-concentrado promedio de 1,4:1 (59/41 %) (tabla 2). Henao y colaboradores (7), en un estudio realizado en 34 fincas del oriente y norte antioqueño, registraron un costo de producción para grandes productores (> 700 l/d) muy superior (774 pesos/l) al obtenido en el presente estudio (tabla 4).

Las diferentes fuentes de carbohidratos evaluadas en este trabajo afectaron el costo de producción. En la tabla 1 se observa que los principales cambios en la formulación de los suplementos obedecieron a la fuente de carbohidrato empleada, y en esa medida, su disponibilidad y precio de comercialización explica las diferencias en el costo de suplementación respecto al costo total de producción. Esta situación se evidencia en el tratamiento que incluyó pulpa cítrica: 60,1 % respecto a un valor medio de 52,0 % para los restantes tratamientos (tabla 5). En Colombia, este ingrediente se encuentra concentrado en pocos productores de cítricos, los cuales tienen mínimo interés de comercializarlo debido al alto costo que implica su procesamiento y transporte. La baja oferta hace difícil su consecución, incrementa el costo e inviabiliza su uso en la formulación de alimentos para ganadería. La importación desde países que son grandes productores de cítricos, como Estados Unidos, Brasil y Costa Rica, tampoco es atractiva, ya que dicho subproducto no es ofrecido de manera constante durante todo el año y, al igual que el maíz, tiene un arancel del 63 % (28).

En este trabajo, el costo de la fórmula que incluyó pulpa cítrica se incrementó 34,9 % respecto al suplemento formulado exclusivamente con maíz. En el caso del sorgo, el costo de la fórmula incrementó 0,9 %, y con la introducción de yuca se redujo 2,8 %. Como se puede ver en la tabla 5, el costo total de alimentación para producir un litro de leche depende en más del 90 % del costo de la suplementación. La cantidad de forraje consumido para producir esa misma cantidad de leche solo representó, en promedio, el 5,3 % del costo total de producción y menos del 10 % del costo total de alimentación.

La rentabilidad se refiere a la habilidad que tiene una empresa para generar un retorno económico neto con el uso de unos recursos o activos en particular (29). El estudio de los efectos económicos de las estrategias de alimentación tendientes a mejorar el desempeño animal es fundamental para determinar si alguna de ellas tiene potencial de ser usada en la práctica, ya que las intervenciones nutricionales no solo deben estar enfocadas a mejorar la producción, sino también a optimizar el costo de la producción y la rentabilidad. Los cálculos

derivados del presente estudio mostraron que el MUB (retorno positivo de la inversión) por litro de leche fue 9,1 %, superior para el tratamiento que incluyó yuca (T3) respecto al tratamiento formulado exclusivamente con maíz (T1) (tabla 6). El MUB para el tratamiento con pulpa cítrica (T4) fue 34,3 % inferior respecto a T1. Finalmente, el tratamiento con yuca registró un MUB 66,1 % superior frente al tratamiento con pulpa cítrica.

El comportamiento observado en el MUB y en el MP (superior para el tratamiento con yuca, seguido en orden descendente por maíz, sorgo y pulpa cítrica) (tabla 6), si bien depende del precio de venta del producto, es mayormente afectado por el costo total de producción del litro de leche. En la tabla 3 se aprecia que el menor precio de venta correspondió al 97 % del valor otorgado al tratamiento con yuca, mientras que en la tabla 4 se observa que el costo de producción del litro de leche presentó mayor fluctuación respecto al costo del tratamiento con yuca. Este costo fue 4 % superior en T1 (maíz) hasta 33 % superior en T4 (pulpa cítrica).

La similitud en la PCA entre los tratamientos T1 (maíz), T2 (sorgo) y T3 (yuca) (tabla 6) obedece a la proximidad entre los valores de ingreso por venta (por litro de leche) y el costo de kilogramo de MS. El precio de venta de T1 y T2 correspondió al 98 y 97 %, respectivamente, del valor asignado a T3 (tabla 3). Para los mismos tratamientos, el costo del kilogramo de MS fue 4 y 7 % superior al de T3 (tabla 4). En el caso del T4, el precio de venta del producto también fue 3 % inferior respecto a T3; no obstante, el precio de kilogramo de MS fue 41 % superior, reduciendo la PCA en 0,6 unidades (28,6 % respecto a T3). La PCA corresponde al número de kilogramos de MS de alimento que pueden ser adquiridos con los ingresos generados por la venta de un litro de leche. En países como Estados Unidos, el PCA tradicionalmente fluctúa entre 2,5 y 3 (25), lo cual supera los valores obtenidos en este trabajo.

La tendencia en PCA es consistente con la dinámica observada en la diferencia (venta-costo de alimentación) por litro de leche (tabla 5). El indicador PCA, por tratarse de una medida netamente económica, está afectada

por la inflación relativa que en el tiempo experimenten el precio de venta de la leche y el costo de alimentación. En este sentido, es necesario incorporar ingredientes en la dieta cuyo valor de adquisición sea competitivo, sin generar efectos negativos sobre el desempeño y calidad composicional de la leche producida, lo cual fue evidenciado en el presente experimento con la inclusión de yuca.

El ISCA es un indicador más real y confiable que la PCA, ya que, además de incluir el precio de venta (por litro de leche) y el costo del kilogramo de MS, considera la EA como un factor determinante de la rentabilidad. Comparativamente el T3 presentó PCA 40 % superior frente al T4, mientras que en función del ISCA la superioridad fue del 33,0 %.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten concluir que la inclusión de yuca (*Manihot esculenta*) en la formulación del suplemento concentrado garantizado a vacas holstein en pastoreo mejoró la rentabilidad asociada a la producción de leche. El valor de compra de las diferentes fuentes evaluadas afecta el costo de la suplementación necesaria para producir un litro de leche, costo que a su vez representa más del 90 % de los costos totales de alimentación y más del 50 % de los de producción. Si bien no se registraron diferencias estadísticas en producción de leche y su calidad composicional entre tratamientos, la inclusión de yuca mejoró el ingreso por venta de leche al incidir positivamente en el precio base del producto (gramos de proteína y grasa producidos).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias, Colombia, convocatoria 569 de 2012. Proyecto código 1115+569-33874) y a la Universidad de Antioquia por el apoyo en el desarrollo de la propuesta de investigación *Evaluación in vitro e in vivo de diversas estrategias nutri-*

cionales para mitigar las emisiones de metano y su impacto productivo, reproductivo y económico en ganadería de leche especializada en el norte de Antioquia.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflicto de interés de tipo económico o de otro tipo que pudiera suponer un sesgo del trabajo.

REFERENCIAS

1. FAPRI. Agricultural outlook, world dairy products. Iowa: Food and Agricultural Policy Research Institute, Iowa State University, University of Missouri-Columbia; 2009.
2. Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano. Documento 3675 [internet]. 2010. [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/f74ec780-6456-431d-b292-0aff856388d9/2010cp3675.aspx>
3. Fedegan. Estadísticas [internet]. 2014 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
4. Fedegan. Estadísticas [internet]. 2009 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
5. Banco Mundial. Module 4. Smallholder dairy production. Agriculture Investment Sourcebook [internet]. 2011 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://go.worldbank.org/LE880YAAH0>.
6. Jaramillo AR, Areiza AM. Análisis del mercado de la leche y derivados lácteos en Colombia (2008-2012). Superintendencia de Industria y Comercio [internet]. 2012 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: http://www.sic.gov.co/drupal/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudio_Sectorial_Leche1.pdf
7. Henao GA. Costos de producción de un litro de leche [tesis de pregrado]. Caldas (Antioquia): Corporación Universitaria Lasallista; 2011.

8. Gómez LM, Posada SL, Olivera M. Starch in ruminant diets: a review. *Rev Colom Cienc Pecu.* 2016;29(2):77-90. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a01>
9. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Producción de leche [internet]. 2012 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/es/#.VrHQMNLhDIW>
10. Herrera-Saldana R, Huber TJ, Poore MH. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J Dairy Sci.* 1990;73(9):2386-93. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78922-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78922-9)
11. Mitzner KC, Owen FG, Grant RJ. Comparison of sorghum and corn grains in early and mid-lactation diets for dairy cows. *J Dairy Sci.* 1994;77(4):1044-51. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77040-5)
12. Theurer CB, Huber JT, Delgado-Elorduy A, Wanderley R. Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 1999;82(9):1950-9. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75431-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75431-7)
13. Kanjanapruthipong J, Buatoug N, Kanto U, Juttupornpong S, Chaw-Uthai W. Cassava chips and ground corn as sources of total non-fiber carbohydrates in total mixed rations for dairy cows. *Asian Australas J Anim Sci.* 2001;14(2):206-10. <https://doi.org/10.5713/ajas.2001.206>
14. Bampidis VA, Robinson PH. Citrus by-products as a ruminant feeds: a review. *Animal Feed Sci Technol.* 2006;128(3-4):175-217. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.12.002>
15. Hall MB, Larson CC, Wilcox CJ. Carbohydrate source and protein degradability alter lactation, ruminal, and blood measures. *J Dairy Sci.* 2010;93(1):311-22. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2552>
16. Arthington JD, Kunkle WE, Martin AM. Citrus pulp for cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2002;18(2):317-826. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(02\)00023-3](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(02)00023-3)
17. Miron J, Yosef E, Ben-Ghedalia D, Chase LE, Bauman DE, Solomon R. Digestibility by dairy cows of monosaccharide constituents in total mixed rations containing citrus pulp. *J Dairy Sci.* 2002;85(1):89-94. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74056-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74056-3)
18. Santos FAP, Menezes Júnior MP, Simas JMC, Pires AV, Nussio CMB. Corn grain processing and its partial replacement by pelleted citrus pulp on performance, nutrient digestibility and blood parameters of dairy cows. *Acta Sci Anim Sci.* 2001;23:923-31. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2646>
19. Holdridge LR. Life zone ecology. San José (Costa Rica): Tropical Science Center; 1967.
20. Penning PD, Johnson RH. The use of internal markers to estimate herbage digestibility and intake. 2. Indigestible acid detergent fibre. *J Agric Sci.* 1983;100(1):133-8. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032524>
21. Silva LG, Torrecilhas JA, Garcia M, Eiras, CE, Prado RM, Prado IN. Glycerin and essential oils in the diet of Nellore bulls finished in feedlot: animal performance and apparent digestibility. *Acta Sci, Anim Sci.* 2014;36(2):177-84. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v36i2.23089>
22. Resolución 17 de 2012, por la cual se establece el sistema de pago de leche cruda al proveedor (Diario Oficial n.º 48.335, 20-01-2012)
23. Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF). Propiedades, planta y equipo. NIC 16. International Financial Reporting Standards [internet]. 2012 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.ifrs.org/IFRSs/IFRS-technical-summaries/Documents/Spanish2012/IAS16.pdf>
24. Osorio F. Efecto del manejo alimentario sobre el sistema especializado de producción lechera. En: *Memorias Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad. Eventos y Asesorías Agropecuarias*; 2004 sep. 1-2; Medellín, Colombia.
25. Wolf CA. Understanding the milk to feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability. *J Dairy Sci.* 2010;93(10):4942-8. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2998>
26. Britt JS, Thomas RC, Speer NC, Hall MB. Efficiency of converting nutrient dry matter to milk in Holstein herds. *J Dairy Sci.* 2003;86(11):3796-801. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73987-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73987-3)

27. Delgado P. Producción de leche es un negocio poco rentable por altos costos y baja inversión. Diario la República [internet]. 2014 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.larepublica.co/produccion-de-leche-es-un-negocio-poco-rentable-por-altos-costos-y-baja-inversion-162121>
28. Comunidad Andina de Naciones. Sistema andino de franja de precios. Informe del 16 al 31 de mayo de 2016 [internet]. 2016 [citado 2016 jun 21]. Disponible en: <http://www.comunidadandina.org/Seccion.aspx?id=70&tipo=TE&title=franja-de-precios>
29. Hadley GL, Harsh S, Wolf C. Managerial and financial implications of major dairy farm expansions in Michigan and Wisconsin. *J Dairy Sci.* 2002;85(8):2053-64. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74283-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74283-5)