

Artículo científico

Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey

Milk production and bromatological quality and costs of supplementation with *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, in Jersey cows

Luis Mauricio Arias-Gamboa¹, Andrés Alpízar-Naranjo¹, Miguel Ángel Castillo-Umaña¹, María Isabel Camacho-Cascante¹, Victoria Arronis-Díaz² y José Enrique Padilla-Fallas¹

¹ Universidad Nacional, Campus Omar Dengo, Avenida 1, Calle 9. AP 86-3000, Heredia, Costa Rica

² Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, AP 382-1007 Centro Colón, Costa Rica
Correo electrónico: andres.alpizar.naranjo@una.cr

Resumen

Con el objetivo de evaluar la producción y la calidad bromatológica de la leche, y los costos de suplementación con tres niveles de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, se realizó un experimento en la finca Santa Lucía de la Universidad Nacional de Costa Rica. Se utilizaron 9 vacas Jersey en un diseño de cuadrado latino 3 x 3 replicado. Los animales se alimentaron con una dieta base de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst en pastoreo y suplementación con *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, melaza, heno de *Digitaria decumbens* Stent, minerales y urea. Se evaluaron tres tratamientos: TD0, Pastoreo + Alimento balanceado (AB); TD25 (Pastoreo + la sustitución de un 25 % del AB con forraje de *T. diversifolia*), y TD50 (Pastoreo + la sustitución de 50 % del AB con *T. diversifolia*). Se evaluaron la producción de leche, la calidad bromatológica y los costos de suplementación. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza. En el TD25 se alcanzó una producción de 21,4 kg/animal/día sin diferencias significativas con respecto a TD0. En TD50 la producción de leche presentó una disminución del 8,7 y el 11,2 % comparado con TD0 y TD25, respectivamente. La composición bromatológica no presentó diferencias significativas entre TD0 y TD25, mientras que TD50 difirió ($p < 0,05$) para proteína (32,5 g/kg) y sólidos no grasos (82,7 g/kg), con respecto a TD0. El empleo de *T. diversifolia* como suplemento de las vacas lecheras permitió un ahorro de 0,25 y 0,52 USD animal/día en los tratamientos TD25 y TD50, respectivamente. Se concluye que la sustitución del 25 % del alimento balanceado con forraje de *T. diversifolia* no afectó la producción y la calidad bromatológica de la leche en vacas Jersey, así como generó un ahorro del 9,06 % por la disminución de los costos de la suplementación.

Palabras clave: arbustos, ganado de leche, producción lechera, proteína

Abstract

In order to evaluate the milk production and bromatological quality, and the costs of supplementation with three levels of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, a trial was conducted in the Santa Lucía farm of the National University of Costa Rica. Nine Jersey cows were used in a replicated 3 x 3 Latin square. The animals were fed with a diet based on *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst under grazing conditions and supplementation with *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, molasses, *Digitaria decumbens* Stent hay, minerals and urea. Three treatments were evaluated: TD0, Grazing + Balanced feed (BF); TD25 (Grazing + substitution of 25 % of the BF by *T. diversifolia* forage), and TD50 (Grazing + substitution of 50 % of the BF by *T. diversifolia*). Milk production, bromatological quality and supplementation costs were evaluated. The data were analyzed through a variance analysis. In TD25 a production of 21,4 kg/animal/day was reached without significant differences with regards to TD0. In TD50 the milk production showed a decrease of 8,7 and 11,2 % compared with TD0 and TD25, respectively. The bromatological composition did not show significant differences between TD0 and TD25, while TD50 differed ($p < 0,05$) for protein (32,5 g/kg) and non-fatty solids (82,7 g/kg), compared with TD0. The use of *T. diversifolia* as supplement of dairy cows allowed to save 0,25 and 0,52 USD animal/day in treatments TD25 and TD50, respectively. It is concluded that the substitution of 25 % of the balanced feedstuff by *T. diversifolia* forage did not affect milk production and bromatological quality in Jersey cows, and it also saved 9,06 % due to the decrease of supplementation costs.

Keywords: shrubs, dairy cattle, milk production, protein

Introducción

Los sistemas de producción de leche en los trópicos basan su alimentación en la utilización de pastos que presentan bajos contenidos de proteína digerible y altos de fibra, unido a una reducción de

la biomasa durante la época seca (Quevedo, 2014). Esta situación genera una menor disponibilidad de alimento de calidad que podría afectar el balance energético de las vacas de alta producción, como las de los sistemas lecheros especializados, lo que obliga a la utilización de suplementos elaborados con materias primas importadas de alto costo.

Según Madriz (2017), la alimentación es el costo más elevado en los sistemas lecheros especializados de Costa Rica, que podría alcanzar el 52 % de los costos de producción total, y de estos entre el 40 y el 45 % se corresponde con los del alimento balanceado (AB). Debido a esta situación el sector lechero se ve obligado a buscar alternativas alimenticias para disminuir los costos de producción y aumentar su competitividad en los mercados nacionales e internacionales (Campos-Granados y Arce-Vega, 2016).

Cardona-Iglesias *et al.* (2016) plantean que las leguminosas, las especies arbóreas y las arbustivas han demostrado ser una estrategia nutricional viable para la suplementación de los rumiantes en el trópico, debido a que presentan características nutricionales superiores a los pastos tropicales y pueden producir elevadas cantidades de biomasa comestible en diferentes épocas del año.

Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray es originaria de México y América Central. Es un arbusto tropical cultivado en muchos países de África, Asia y América del Sur por su valor multipropósito (Heuzé *et al.*, 2015). Según Crespo *et al.* (2011), su composición bromatológica, en base seca, indica altos porcentajes de proteína bruta que varían entre el 14,8 y el 28,7 %, y presenta una alta producción de biomasa, debido a su capacidad para aprovechar los nutrientes del suelo (Mustonen *et al.*, 2012). Además, es de fácil establecimiento, resiste el corte frecuente y es tolerante a suelos pobres.

Experiencias con los productores informaron de la viabilidad de *T. diversifolia* en la dieta de las vacas lecheras y ha aumentado el interés por su uso en la alimentación como fuente alternativa de biomasa para preparar dietas, sin disminuir el consumo ni la producción (Ribeiro *et al.*, 2017). De igual forma, el ramoneo de *T. diversifolia* demostró que, con una baja fertilización en sistemas silvopastoriles, la producción y la calidad de la leche se mantuvo y aportó mayores ingresos netos por unidad de área al compararlo con el sistema en monocultivo (Mejía-Díaz *et al.*, 2017). Sin embargo, existen pocos estudios sobre la utilización de esta

planta como suplemento alimenticio en la dieta del ganado lechero de alta producción, por lo que la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la producción, la calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con tres niveles de *T. diversifolia* en Costa Rica.

Materiales y Métodos

Ubicación y clima. La investigación se desarrolló durante los meses de agosto a octubre de 2017, en la finca experimental Santa Lucía perteneciente a la Universidad Nacional, ubicada en Barva de Heredia, Costa Rica, la cual se encuentra a una altitud de 1 250 msnm. El suelo es predominante del orden Andisoles, moderadamente fértil y con mucha pedregosidad. El clima de la zona se caracteriza por presentar una precipitación anual de 2 403 mm, una humedad relativa del 78,0 % y la temperatura media anual es de 21,5 °C (IMN, 2017).

Animales experimentales. Se utilizaron nueve vacas multíparas de la raza Jersey, entre el primer y segundo tercio de lactancia, las cuales se distribuyeron en tres grupos de tres vacas cada uno, con una producción media de 19,6 kg/animal/día.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental cuadrado latino 3 x 3 replicado, con tres tratamientos; tres grupos de animales y tres períodos de evaluación de 21 días cada uno, con 15 días de adaptación a la dieta y 6 días de toma de datos y muestras. El periodo de evaluación fue de 63 días.

Alimentación y tratamientos. Las vacas fueron alimentadas con una dieta de pasto *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst en un sistema de pastoreo rotacional en potreros de 3 900 m² como promedio, con periodos de ocupación de un día y 26 días de descanso y una carga animal de 2,5 animales/ha. Además del consumo de forraje en los potreros, los animales fueron suplementados dos veces al día en los cepos de la sala de alimentación, con *T. diversifolia* y alimento balanceado, y otros alimentos, como: *Cenchrus purpureus* (Schumacher) Morrone, melaza, paca de *Digitaria decumbens* Stent cv. Transvala, minerales y agua a libre consumo durante todo el día. La composición bromatológica de cada uno de los alimentos ofrecidos se describe en la tabla 1.

Los tratamientos experimentales se definieron sobre la base del cumplimiento de los requerimientos de proteína y energía. Se establecieron tres tratamientos:

1. TD0-Pastoreo + Alimento balanceado (AB)
2. TD25-Pastoreo + la sustitución de un 25 % del AB con forraje de *T. diversifolia*

Tabla 1. Composición bromatológica de los diferentes componentes de las dietas evaluadas.

Alimento	Variable, %										MJ/kg MS
	MS	PC	FND	FAD	DIVMS	Ceniza	EE	Lig	Ca	P	ENL
<i>T. diversifolia</i>	15,0	21,5	42,5	36,8	73,5	11,5	2,4	11,5	1,4	0,3	5,0
<i>C. purpureus</i>	18,5	8,6	48,7	36,5	76,8	14,3	1,7	2,7	0,3	0,2	4,6
<i>C. nlemfuensis</i>	23,0	13,3	62,5	36,6	67,1	9,6	2,5	3,9	0,3	0,3	5,4
Melaza	81,2	5,3	-	-	100,0	8,0	0,6	-	0,8	0,05	8,0
Alimento balanceado	87,0	18,0	19,4	10,0	94,6	5,1	6,3	2,2	0,8	0,6	8,0
Heno <i>D. decumbens</i>	90,3	3,4	66,1	49,0	46,8	12,1	2,0	8,0	0,2	0,2	4,2
Minerales	95,0	0,0	-	-	-	-	-	-	25,0	18,0	-
Urea	100,0	287,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MS: materia seca, PC: proteína cruda, FND: fibra detergente neutro, FAD: fibra detergente ácido, DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca, EE: extracto etéreo, Lig: lignina, Ca: calcio, P: fósforo, ENL: energía neta de lactancia.

Fuente: Resultados de análisis realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal (UNA) y el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA-UCR), 2017.

3. TD50-Pastoreo + la sustitución de 50 % del AB con *T. diversifolia*

Los alimentos que integraron los tratamientos y las cantidades de materia seca ofrecidas, así como el aporte de proteína y energía de cada uno de ellos, se describen en la tabla 2.

Procedimiento experimental. Se cosecharon las plantas de *T. diversifolia* con 50 días de rebrote (solo las hojas y los tallos tiernos), sin fertilización. Se acarreo el forraje hasta las instalaciones de la lechería, en donde se realizó el troceado (tamaño de partícula de 2,5 cm) y se prepararon las mezclas, según los tratamientos experimentales.

Se ofertaron los suplementos según los tratamientos y los animales consumieron la totalidad del suplemento ofrecido en la canoa, tanto en la mañana

como en la tarde. Después se trasladaron los animales al sistema de pastoreo, donde permanecieron hasta el siguiente ordeño (se realizaron dos ordeños); el tiempo dedicado al pastoreo fue de 18 horas en promedio al día.

Medición de la producción de leche. La producción de leche se midió diariamente utilizando un sistema de medición electrónica acoplado a un sistema de ordeño automático, el cual enviaba los datos al software Gimenez Fazenda.

Composición bromatológica de la leche. Para determinar la composición nutricional de la leche (proteína, grasa, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales), se recolectaron tres muestras semanales de aproximadamente 25 mL, mediante colectores de leche instalados en cada punto de ordeño. Estas

Tabla 2. Alimentos que integran los tratamientos experimentales.

Alimento	TD0			TD25			TD50		
	MS, kg	PM, g	ENL, MJ	MS, kg	PM, g	ENL, MJ	MS, kg	PM, g	ENL, MJ
<i>C. nlemfuensis</i>	5,8	499	31,4	5,8	499	31,4	5,8	499	31,4
<i>C. purpureus</i>	0,9	51	4,6	0,4	21	1,7	0,2	10	0,8
Alimento balanceado	5,6	641	43,5	4,2	481	32,7	2,8	321	21,8
<i>T. diversifolia</i>	0,0	0,0	0,0	1,4	192	7,1	2,8	385	14,7
Minerales	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Melaza	0,4	15	3,3	1,2	41	9,6	1,8	61	14,2
Urea	0,2	338	0,0	0,2	311	0,0	0,1	268	0,0
Heno <i>D. decumbens</i>	1,8	40	7,5	1,8	40	7,5	1,8	40	7,5
Total	14,9	1 584	90,4	15,1	1 585	90,4	15,5	1 584	90,4

MS: materia seca, PM: proteína metabolizable, ENL: energía neta de lactancia.

TD0 (Pastoreo + Alimento balanceado (AB)), TD25 (Pastoreo + la sustitución de un 25 % del AB con forraje de *T. diversifolia*) y TD50 (Pastoreo + la sustitución de 50 % del AB con *T. diversifolia*).

muestras fueron enviadas al laboratorio de calidad de leche de la Cooperativa de productores de leche Dos Pinos RL, ubicada en Alajuela, Costa Rica, donde se analizaron mediante espectrofotometría infrarroja utilizando el MilkoScan FT1 (Foss Electric, Dinamarca).

Valoración económica. El análisis económico se calculó considerando solo el costo de la suplementación (*T. diversifolia*, AB, *C. purpureus*, melaza y urea). El precio por kg de materia fresca de *C. purpureus* fue de 0,01 USD, según los resultados de Villalobos *et al.* (2015).

El precio por kg de materia seca de la urea y la melaza fue de 0,2 y 0,6 USD, según referencias del mercado nacional. Para realizar este análisis se consideró como premisa básica el ahorro de AB que se obtuvo con el empleo del follaje de *T. diversifolia* como suplemento en sistemas intensivos de producción de leche bovina.

El precio de un kg de materia seca de *T. diversifolia* fue de 0,2 USD al considerar los costos anuales de mano de obra e insumos para el establecimiento, el manejo agronómico, el corte y el acarreo de una hectárea de *T. diversifolia*. Para calcular la depreciación de la plantación se estimó una vida útil de 10 años. El precio por kg de materia seca del AB fue de 0,45 USD, según el precio de compra en el mercado nacional.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante un Anova para cuadrado latino previa comprobación de los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad mediante las pruebas de Levene y Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey al 5 % de significancia. El análisis de los datos se realizó con el software estadístico SAS® v 9.0 (SAS Institute Inc., 2009).

Resultados y Discusión

En la tabla 3 se muestran la producción de leche promedio y la producción de leche corregida al 4 % de grasa que se alcanzaron en cada uno de los tratamientos experimentales. La menor producción de leche corregida al 4 % de grasa por animal/día se obtuvo en el tratamiento TD50, con diferencias significativas con TD0 y TD25, donde se registró un valor de 19,0 kg/animal/día; sin embargo, no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos TD0 y TD25, los cuales obtuvieron una producción de leche de 20,8 y 21,4 kg/animal/día, respectivamente.

Tabla 3. Producción de leche real y corregida al 4 % de grasa según tratamientos.

Tratamiento	Producción de leche, kg/animal/día	
	Real	Ajustada al 4 % grasa
TD0	19,1 ^a	20,8 ^a
TD25	19,3 ^a	21,4 ^a
TD50	17,2 ^b	19,0 ^b
EEM ±	1,04	1,06
P-valor	< 0,01	< 0,01

P-valor: valor de probabilidad, EEM: error estándar de la media. a, b: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre los datos ($p \leq 0,05$).

TD0 (Pastoreo + Alimento balanceado (AB), TD25 (Pastoreo + la sustitución de un 25 % del AB con forraje de *T. diversifolia*) y TD50 (Pastoreo + la sustitución de 50 % del AB con *T. diversifolia*).

Al sustituir el 25 % del AB por forraje fresco de *T. diversifolia* no se hallaron diferencias significativas en la producción de leche con respecto al tratamiento TD0. Este resultado podría estar asociado a un consumo similar de materia seca, proteína y energía en estos dos tratamientos.

Los resultados en el presente estudio fueron similares a los reportados por Gallego-Castro *et al.* (2017), quienes evaluaron la inclusión de *T. diversifolia* como suplemento en la dieta de vacas F1, donde sustituyeron hasta el 25 % de la dieta por forraje de esta especie y no se afectó la producción y la calidad de la leche de los animales.

Según López *et al.* (2015), el aporte de nitrógeno al rumen que realiza la *T. diversifolia*, unido con un apropiado nivel de energía en la dieta, permite un aporte de proteína microbiana al intestino delgado capaz de mantener y aumentar la producción de leche en vacas de mediano potencial. Ello pudo estar relacionado con los resultados que se obtuvieron al incluir el forraje fresco de *T. diversifolia* en las dietas de los animales en el presente estudio.

Debido a la composición nutricional y la alta digestibilidad que presenta la planta se podría inferir que su inclusión en la dieta de las vacas lecheras mejoró la sincronización entre el aporte de energía y proteína que ingresó al rumen, y esto benefició la eficiencia en la fermentación ruminal (Gallego-Castro, 2016).

Los valores de producción de leche obtenido en los tratamientos coinciden con los reportados para este racial por Larsen *et al.* (2016), quienes evaluaron el efecto del ensilaje de gramíneas de primavera y otoño en la producción y calidad de la

leche de vacas Jersey. Los valores fueron de 20 a 22 kg/animal/día.

Al analizar la producción de leche con la sustitución del 50 % del AB por el forraje de *T. diversifolia* (TD50), se observó una disminución en la producción de leche del 8,2 y el 10,8 % con respecto a los tratamientos TD0 y TD25, respectivamente. Esta diferencia en la producción de leche pudiera estar relacionada con el consumo de MS de los animales que fueron suplementados con más cantidad de forraje de *T. diversifolia*, debido a que este fue cosechado durante el período lluvioso, y presentó un contenido de materia seca promedio del 15 %, que posiblemente provocó un efecto de llenado físico y una disminución del consumo de *C. nlemfuensis* en condiciones de pastoreo.

Los valores promedio de grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales en la leche, se muestran en la tabla 4.

Los valores promedio de grasa en leche no presentaron diferencias significativas entre tratamientos y se obtuvieron 43,6; 44,4 y 44,5 g/kg para los tratamientos TD0, TD25 y TD50, respectivamente. Estos resultados fueron superiores a los reportados por Gallego-Castro *et al.* (2017), cuando evaluaron el efecto de la inclusión de *T. diversifolia* en vacas Holstein y los valores variaron entre 34,4 y 36,8 g/kg, con una producción de leche de 24-25 kg/animal (corregida al 4 %). A su vez fueron inferiores a los de Brossillon *et al.* (2017), al evaluar el efecto del maíz molido o agrietado, con aceite de linaza o sin él, en el rendimiento y la composición de ácidos grasos de la leche con vacas Jersey (de 5,07 a 5,30 con una producción de leche que varió desde 17,0 hasta 18,3 kg/vaca).

En cuanto al porcentaje de proteína en leche (tabla 4), el tratamiento TD50 presentó diferencia

significativa (32,5 g/kg) con respecto al TD0 (33,9 g/kg), lo que indica que la sustitución del 50 % del AB por forraje de *T. diversifolia* en la dieta disminuyó significativamente ($p < 0,05$) el contenido de proteína en leche.

Los compuestos fibrosos contenidos en *T. diversifolia* pudieron incidir en la eficiencia con que se emplea el amoníaco ruminal para la síntesis de proteína microbiana, ya que cuando el tiempo de retención del alimento es mayor en el rumen, la proteína puede aumentar su degradabilidad con la consecuente pérdida de nitrógeno amoniacal. Además, se han reportado efectos en la concentración de la proteína en función del consumo de materia seca (Gallego-Castro *et al.*, 2017).

En el contenido de lactosa no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Estos valores fueron similares a los reportados por Larsen *et al.* (2016) en vacas Jersey (47,7 y 48,1 g/kg para primavera y otoño, respectivamente). También fueron similares a los reportados para este racial por Brossillon *et al.* (2017).

El contenido de lactosa en leche en los tratamientos del presente estudio fue similar, debido a que las dietas ofertadas fueron balanceadas, tanto isoproteica como isoenergéticamente, por lo que los animales consumieron niveles similares de energía, la cual está relacionada directamente con los porcentajes de lactosa en leche.

Al analizar el contenido de sólidos totales no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos experimentales (tabla 4). Los sólidos no grasos del tratamiento TD25 no difirieron significativamente del tratamiento testigo; sin embargo, el tratamiento TD50 difirió estadísticamente ($p < 0,05$) de TD0. Estos resultados posiblemente estuvieron relacionados con un menor contenido de

Tabla 4. Calidad de la leche según tratamientos, g/kg.

Indicador	TD0	TD25	TD50	EEM	P-valor
Grasa	43,6	44,4	44,5	0,13	0,3
Proteína	33,9 ^a	33,3 ^{ab}	32,5 ^b	0,08	<0,01
Lactosa	45,2	44,9	44,8	0,1	0,53
Sólidos totales	127,4	127,2	126,6	0,25	0,64
Sólidos no grasos	85,4 ^a	84,1 ^{ab}	82,7 ^b	0,18	<0,01

P-valor: valor de probabilidad, EEM: error estándar de la media.

a, b: Letras distintas entre las filas muestran diferencia significativa entre los datos ($p < 0,05$).

TD0 (Pastoreo + Alimento balanceado (AB), TD25 (Pastoreo + la sustitución de un 25 % del AB con forraje de *T. diversifolia*) y TD50 (Pastoreo + la sustitución de 50 % del AB con *T. diversifolia*).

proteína en leche en TD50 (32,5 g/kg), lo cual influye en el contenido de sólidos no grasos.

La calidad bromatológica de la leche de vacas Jersey que se encontró en el presente estudio fue similar a la reportada por Vargas *et al.* (2012), quienes realizaron estudios bioeconómicos en Costa Rica de grupos raciales de Holstein, Jersey y sus cruces, y encontraron valores de 42,7; 34,8; 125,3 y 82,6 g/kg de grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos, respectivamente.

Los costos por animal por día de la suplementación para cada tratamiento experimental se muestran en la tabla 5. En el TD25 se presentó un ahorro del 9,06 % en los costos de la suplementación con respecto al tratamiento TD0, y en el TD50 se logró ahorrar el 18,8 %. En el tratamiento TD25 se logró un ahorro de 0,25 USD animal/día con respecto al TD0.

El costo de la suplementación fue menor a medida que aumentó la inclusión de *T. diversifolia* en los tratamientos experimentales. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Gallego-Castro (2016), quien al aumentar la harina de *T. diversifolia* en la dieta de vacas lecheras logró disminuir de manera significativa el valor del kilogramo de suplemento ofrecido a los animales.

Conclusiones

Se concluye que la sustitución del 25 % del alimento balanceado con forraje de *T. diversifolia* no afectó la producción y la calidad bromatológica de la leche en vacas Jersey, así como generó un ahorro del 9,06 % por la disminución de los costos de la suplementación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Producción Sustentable de Leche Bovina de la Universidad Nacional, a la Cámara Nacional de Productores de Leche y a la Red Nacional de Pastos y Forrajes de Costa Rica, por el financiamiento otorgado para la ejecución de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Brossillon, V.; Reis, S. F.; Moura, D. C.; Galvão Jr., G. B.; Oliveira, A. S.; Côrtes, C. et al. Production, milk and plasma fatty acid profile, and nutrient utilization in jersey cows fed flaxseed oil and corn grain with different particle size. *J. Dairy Sci.* 101:1-17, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13478>.
- Campos-Granados, C. M. & Arce-Vega, J. Sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*. 10 (2):91-113, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15517/nat.v10i2.27327>.
- Cardona-Iglesias, J. L.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agron. Mesoam.* 28 (1):273-288, 2016. DOI: <http://doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>.
- Crespo, G.; Ruiz, T. E. & Álvarez, J. Efecto del abono verde de tithonia (*T. diversifolia*) en el establecimiento y producción de forraje de *P. purpureum* vc. Cuba CT-169 y en algunas propiedades del suelo. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 45 (1):79-82, 2011.
- Gallego-Castro, L. A. *Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (Tithonia*

Tabla 5. Costo de suplementación según tratamientos experimentales.

Tratamiento	Tipo suplemento	Cantidad, kg	Costo, \$ USD animal/día	Ahorro, % respecto al TD0
TD0	Alimento balanceado	6,40	2,77	
	Melaza	0,60		
	Urea	0,18		
	<i>C. purpureus</i>	5,00		
TD25	Alimento balanceado	4,80	2,52	9,06
	<i>T. diversifolia</i>	9,28		
	Melaza	1,50		
	Urea	0,17		
TD50	<i>C. purpureus</i>	2,00	2,25	18,8
	Alimento balanceado	3,20		
	<i>T. diversifolia</i>	18,65		
	Melaza	2,20		
	Urea	0,15		
	<i>C. purpureus</i>	1,00		

TD0 (Pastoreo + Alimento balanceado (AB), TD25 (Pastoreo + la sustitución de un 25 % del AB con forraje de *T. diversifolia*) y TD50 (Pastoreo + la sustitución de 50 % del AB con *T. diversifolia*).

- diversifolia* Hemsl. A Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto. Tesis en opción al título de M.Sc. Sistemas de producción animal. Antioquía, Colombia: Universidad de Antioquía, 2016.
- Gallego-Castro, L. A.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron. Mesoam.* 28 (1):213-222, 2017. DOI: <http://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>.
- Heuzé, V.; Tran, G.; Reverdin, G. & Lebas, F. *Mexican sunflower (Tithonia diversifolia)*. Feedipedia: INRA, CIRAD, AFZ, FAO. <http://www.feedipedia.org/node/15645>. [19/04/2018], 2015.
- IMN. *Datos climáticos*. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>. [19/11/2017], 2017.
- Larsen, Mette K.; Vogdanou, Stefania; Hellwing, Anne L. F.; Rybicka, Iga & Weisbjerg, M. R. Effect of spring versus autumn grass/clover silage and rapeseed supplementation on milk production, composition and quality in Jersey cows. *J. Dairy Res.* 83:430-437, 2016.
- López, O.; Lamela, L.; Montejo, I. L. & Sánchez, Tania. Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 38 (1):46-54, 2015.
- Madriz, J. A. Sector lácteo costarricense en el marco de la apertura comercial. *23 Congreso Nacional Lechero* San José, Costa Rica: Cámara Nacional de Productores de Leche. p. 75, 2017.
- Mejía-Díaz, Estefanía; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. *Tithonia diversifolia* especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agron. Mesoam.* 28 (1):289-302, 2017. DOI: <http://doi.org/10.15517/am.v28i1.22673>.
- Mustonen, P. S. J.; Oelbermann, Maren & Kass, D. C. L. Using *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray in a short fallow system to increase soil phosphorus availability on a Costa Rican Andosol. *Journal of Agricultural Science (Canada)*. 4 (2):91-100, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5539/jas.v4n2p91>.
- Quevedo, M. *Efecto de un sistema silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional*. Trabajo de tesis de grado como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería Agroindustrial. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- Ribeiro, R. S.; Sacramento, J. P.; Calsavara, L. H. F.; Freitas, D. S.; Delarota, G. D.; Minighin, D. C. et al. *Tithonia diversifolia* para la alimentación de ganado lechero en Brasil. *IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles "Aportes de la ganadería a los objetivos de desarrollo sostenible"*. Manizales, Colombia: Red Global Silvopastoril. p. 406-411, 2017.
- SAS Institute Inc. *SAS/STAT® User's guide: Statistics*. Versión 9.0. Cary, USA: SAS Institute Inc, 2009.
- Vargas, B.; Marín, Y. & Romero, J. Comparación bioeconómica de grupos raciales Holstein, Jersey y Holstein x Jersey en Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 23 (2):329-342, 2012.
- Villalobos, L.; Arce, J. & Wing-Ching, R. Costos de producción de ensilados de pastos tropicales elaborados en lecherías de Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*. 9 (2):27-48, 2015.

Recibido el 6 de septiembre del 2018

Aceptado el 29 de octubre del 2018