

Barragán-Hernández, Wilson Andrés; Mestra-Vargas, Lorena Inés; Portilla-Pinzon, Danilo; Mejía-Luquez, Jorge Armando; Henríquez-Crespo, Ricardo José

**Efecto de subproductos de palma africana en la producción y calidad
de leche bovina en el sur del departamento del Atlántico, Colombia**

Ciencia y Tecnología Agropecuaria, vol. 21, núm. 2, 2020, Mayo-
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Colombia

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1132

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449962689006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Efecto de subproductos de palma africana en la producción y calidad de leche bovina en el sur del departamento del Atlántico,

Colombia

<https://orcid.org/0000-0003-3528-4296>

Wilson Andrés Barragán-Hernández,¹

<https://orcid.org/0000-0003-3717-0153>

Lorena Inés Mestra-Vargas,¹

<https://orcid.org/0000-0001-6125-036X>

Danilo Portilla-Pinzon,²

<https://orcid.org/0000-0003-0457-0441>

Jorge Armando Mejía-Luquez,¹

<https://orcid.org/0000-0001-9296-1666>

Ricardo José Henriquez-Crespo³

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), CI Turipaná. Cereté, Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), CI El Nus. El Nus, Colombia.

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), CI Caribia. Zona Bananera, Colombia.

*Autor de correspondencia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipaná. Km. 13, Vía Montería - Cereté, Córdoba, Colombia. wbarraganh@agrosavia.co

Editor temático: Sonia Daryuby Ospina Hernández (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 18 de octubre de 2018

Aprobado: 23 de diciembre de 2019

Publicado: **XX** de **xxxxxx** de 2020

Para citar este artículo: Barragán-Hernández, W. A., Mestra-Vargas, L. I., Portilla-Pinzón, D., Mejía-Luquez, J. A. & Henríquez-Crespo, R. J. (2020). Efecto de subproductos de palma africana en la producción y calidad de leche bovina en el Sur del Departamento del Atlántico, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(2), e1132. https://doi.org/10.21930/rcta.vol1_num2_art:1132

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de subproductos de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la producción y la calidad de la leche bajo condiciones de pequeño productor doble propósito en el sur del departamento del Atlántico, Colombia. Para ello, se estableció un diseño de sobrecambio, balanceado para efectos residuales en seis fincas en Repelón (experimento I), y dos fincas en Manatí y cuatro en Campo de la Cruz (experimento II). Se suplementó durante un periodo de acostumbramiento y evaluación, torta de palmiste (PKC) y decantado de lodos (OPDC) como dietas experimentales, y se comparó con sal mineralizada (SalM). Las dietas afectaron ($p < 0,05$) la producción de leche. El OPDC registró la mayor producción de leche (3,20 y 4,01 L/vaca/día en experimentos I y II, respectivamente), sin diferencia ($p > 0,05$) con el PKC, aunque superior ($p < 0,05$) al tratamiento con SalM (2,91 y 3,38 L/vaca/día en experimentos I Y II, respectivamente). La calidad composicional de la leche fue afectada por las dietas evaluadas ($p < 0,05$). Las dietas afectaron la concentración de nitrógeno ureico en leche ($p < 0,05$), indicando posibles alteraciones en la relación de proteína degradable en rumen y carbohidratos fermentables. El OPDC y el PKC se presentan como suplementos promisorios para mejorar la producción de leche bajo condiciones de pequeño productor en el sur del Atlántico.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, pequeño productor, producción lechera, razas mixtas, sistemas silvopascícolas

Effect of African palm byproducts on cow milk production and quality in the south of the Department of Atlántico, Colombia

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) byproducts in milk yield and quality under smallholder dual-purpose conditions in the south of the department of Atlántico, Colombia. A crossover design balanced for residuals effect was used in six livestock farms in Repelón (experiment I), and two in Manatí and four in Campo de la Cruz (experiment II). During the adaptation and measurement periods, the diet was supplemented with Palm Kernel Cake (PKC) and Oil Palm Decanter Cake (OPDC), and compared with mineralized salt (MSalt) as a control diet. Milk yield was affected by diet ($p < 0.05$). The OPDC showed a higher milk production (3.20 and 4.01 L/cow/day in experiment I Y II, respectively) without differences ($p > 0.05$) compared to PKC, although it was higher than the MSalt treatment (2.91 and 3.38 L/cow/day in experiment I and II, respectively). Milk quality was affected by diet ($p < 0.05$). The diet affected the concentration of milk urea nitrogen ($p < 0.05$), indicating possible alterations in ruminal degradable protein and fermentable carbohydrates. The OPDC and PKC are proposed as options to improve milk yield in smallholder dual-purpose conditions in the south of the department of Atlántico, Colombia.

Keywords: *Elaeis guineensis*, milk production, multipurpose breeds, silvopastoral systems, smallholder

Introducción [T2]

En términos pecuarios, el departamento del Atlántico, Colombia, posee un inventario bovino que representa el 0,89 % (242.856 animales) del inventario nacional (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2019), lo que parece ser una cifra poco representativa a escala país. Sin embargo, en el contexto económico departamental, la ganadería representa un reglón importante del Producto Interno Bruto (PIB), con una participación local del 1,1 % —por encima de sectores de importancia como la minería (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2019)—, un uso de suelo que alcanza el 91,4 % del suelo total destinado a la actividad agropecuaria (278.211 ha) y una producción de 185.000 litros diarios de leche fresca (Gobernación del Atlántico, 2016).

Para la temporada invernal 2010-2011, el departamento del Atlántico, específicamente el cono sur, sufrió una de las más graves inundaciones de la historia reciente de Colombia, que implicó el ingreso de aproximadamente 2.200 millones de m^3 de agua proveniente del canal del Dique, afectando de manera directa los municipios de Santa Lucía, Candelaria, Manatí, Campo de la Cruz y Suan, y de manera indirecta a Repelón, Sabanalarga y Luruaco (Jabba, 2011). Esta situación implicó pérdidas en producción agrícola por el orden de las 60.984 toneladas, afectación de 61.426 bovinos y pérdidas incalculables en especies forestales nativas e introducidas (Toro et al., 2016).

Para el apoyo técnico, económico y social a la crisis generada por la inundación, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA (anteriormente Corpoica), con soporte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y de la Gobernación del Atlántico, ejecutó el establecimiento de sistemas silvopastoriles (Cajas, Carvajal, Barragán, & Portilla, 2014), como parte de la estrategia de reactivación económica en la población afectada. Sin embargo, las características climáticas y ambientales que presenta el cono sur del departamento del Atlántico, tales como estacionalidad climática (periodo seco de diciembre a marzo), baja precipitación (1.089 mm/año) e influencia de vientos alisios durante el periodo seco (Martínez et al., 2005), hacen necesaria una estrategia nutricional complementaria a los sistemas silvopastoriles, que contribuyan a corregir los desbalances nutricionales y a mejorar la disponibilidad de nutrientes, especialmente durante el periodo seco.

La industria de palma africana *Elaeis guineensis* Jacq. (Arecaceae) en Colombia, en términos de hectáreas sembradas (en desarrollo y en producción), registró un crecimiento del 3 % en la vigencia 2015-2016 (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [Fedepalma], 2016), lo que representa una oferta de subproductos que han sido empleados en alimentación animal, tales como la torta de palmiste (PKC, por las siglas de *palm kernel cake*) y decantado de lodos (OPDC, por las siglas de *oil palm decanter cake*) resultantes del proceso de producción de aceite (Alimon, Zahari, Kelantan, Pengkalan, & Kota Bharu, 2012). Se estima que por cada tonelada de producción de aceite crudo se generan aproximadamente 350 kilogramos de decantado de lodos y unos 60 kilogramos de torta de

palmiste (Van Dam, 2017). Para el 2017, la producción de aceite crudo en Colombia alcanzó 1.627.550 toneladas (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [Fedepalma], 2018), lo que equivale a un estimado de producción de 569.964 toneladas de decantado de lodos y 97.653 toneladas de torta de palmiste.

La obtención de los subproductos de PKC y OPDC se genera en planta de beneficio. En el flujo de procesamiento (producción de aceite de palma crudo), el OPDC se obtiene a partir de la digestión y prensado de los frutos enteros, y posterior obtención y decantación de lodos y efluentes; como producto de la prensión de frutos, se colecta la nuez, la cual se somete a un proceso de prensado y, en algunos casos, lavado con solvente para generar el PKC (Ali Hassan et al., 2001; Van Dam, 2017). En términos nutricionales, el PKC se caracteriza por ser un subproducto de alto valor para la alimentación de rumiantes, con un rango nutricional en contenido proteico que oscila entre 14 % y 19 %, fibra en detergente neutro (FDN) entre 66 % y 78 %, fibra en detergente ácido (FDA) entre 41 % y 52 %, y un contenido de grasa cruda que puede variar del 1 % al 2 % en proceso de extracción por solvente y entre 4 % y 9 % en extracción mecánica (Alimon, 2005; Alimon et al., 2012; Bustamante, Campos, & Sánchez, 2017; Vargas & Zumbado, 2003).

El PKC ha sido referenciado para uso en alimentación de bovino de carne y búfalos de agua *Bubalus bubalis* (L.), con niveles de inclusión en la dieta que oscilan entre el 30 % y el 80 %, y para el ganado de leche con porcentaje de 20 % a 50 % (Alimon et al., 2012). En el caso del OPDC, Zahari, Alimon y Wong (2012) han reportado el uso de este subproducto en la alimentación de bovinos y ovinos, con niveles de inclusión entre 40 % y 45 % en la dieta,

mientras que Gafar, Alimon, Sazili, Man y Abubakr (2013) reportaron valores de 30 % o más en la dieta de cabras.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de algunos supbproductos de la industria de palma africana *E. guineensis* en la producción y calidad de la leche en pequeños productores de doble propósito en el sur del departamento del Atlántico, Colombia.

Materiales y métodos [T2]

Localización del experimento y selección de productores [T3]

El estudio se desarrolló en los municipios de Manatí, Campo de la Cruz y Repelón, en el departamento del Atlántico, Colombia. Los usuarios fueron seleccionados a partir del listado de beneficiarios del proyecto “Fase III o Acción 8: Apoyo de Corpoica al programa departamental de repoblamiento bovino y entrega de materiales de frutales en municipios del sur del Atlántico”, en el componente pecuario, vinculado al establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP). En total se seleccionaron 12 pequeños productores en el sistema bovino doble propósito, distribuidos así: 6 en Repelón, 4 en Campo de la Cruz y 2 en Manatí: coordenadas geográficas 10°26'53" N y 74°57'33" O, temperatura media de 28,5 °C, altura de 10 m s. n. m. y precipitación anual de 1.004 mm; Repelón: coordenadas 10°29'40" N y 75°07'27" O, temperatura media de 28,9 °C, altura de 9 m s. n. m. y precipitación de 927 mm; Campo de la Cruz: coordenadas 10°22'40" N y 74°52'53" O, temperatura de 28,4 °C,

altura de 7 m s. n. m. y precipitación anual 1.063 mm. Los tres municipios corresponden a bosque seco tropical según Holdridge (1971) (figura 1).

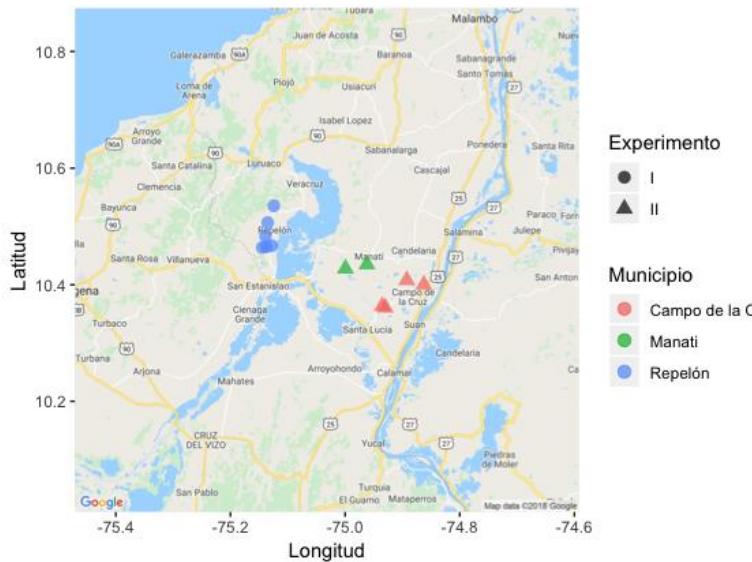


Figura 1. Ubicación espacial de los usuarios seleccionados en los experimentos I y II.

Manatí.

Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google®

En el periodo comprendido entre julio y octubre de 2013 (periodo lluvioso), en cada finca se establecieron entre 2,0 y 4,9 hectáreas en sistemas silvopastoriles. El arreglo estuvo caracterizado por franjas de 1 metro de ancho, establecidas (600 sitios de siembra por franja, 0,5 m entre calles × 0,5 m entre plantas) con arbustivas *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) y *Crescentia cujete* L. (Bignoniaceae), espaciadas cada nueve metros y asociadas con de la gramínea *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Toledo (Poaceae). Los establecimientos se realizaron con intervención mecánica (renovación) y con

estrella (*Cynodon* spp.), en intervenciones con labranza cero (recuperación). Para el estrato alto, se establecieron (25 m entre calles y 25 m entre árboles) especies maderables adaptadas a las condiciones locales como *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose (listado como *Tabebuia chrysantha*) (Bignoniaceae) (Cajas et al., 2014).

Las fincas seleccionadas se caracterizaron por poseer una extensión media de $12,8 \pm 6$ hectáreas, con una población bovina en un rango de entre 11 y 40 animales, lo que los clasifica como pequeños productores (Federación Nacional de Ganaderos [Fedegan], 2006). Cada finca estuvo dividida en 6 potreros con SSP y entre 4 y 10 potreros adicionales con monocultivo de gramíneas (*Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus, *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, *Dichanthium aristatum* (Poir.) C.E. Hubb., *Cyperus rotundus* L., entre otras), en los que se manejó un pastoreo rotacional que osciló entre 3 y 5 días de ocupación y de 25 a 35 días de descanso. En estos productores predomina una producción extractiva del suelo sin fertilización ni mecanización. La producción media de leche fue de 6,7 litros para el periodo lluvioso y de 3,6 litros para el periodo seco, con un hato caracterizado en su gran mayoría por animales cebuinos (Brahman y Gyr), con cruces no determinados (ausencia de registros genealógicos) con razas taurinas (Holstein y Pardo Suizo). El 33 % de los usuarios seleccionados declaró usar suplementación de la dieta tradicional para afrontar la época de sequía, principalmente enfocada en el uso de pasto de corte y melaza de caña. El 85 % indicó usar sal mineralizada (comercial o elaborada con base en premezcla mineral), de los cuales solo el 70 % informó su uso durante todo el año.

Dietas, selección de animales y diseño experimental [T3]

Con base en los subproductos torta de palmiste (PKC) y decantado de efluentes (OPDC), se generaron dos dietas experimentales que se compararon con una dieta control (suplementación mineral al 8 % de fósforo). Cada una de las dietas experimentales contó con participación de los subproductos de la palma de aceite y la adición de una fuente energética (melaza de caña), según lo recomendado por Bustamante et al. (2017) y Zahari et al. (2012), así como también una fuente de NNP (urea) y de azufre (sulfato de amonio) (tabla 1). A cada animal se le suministró diariamente 200 g de sal mineralizada y 1.782 g de las dietas experimentales (PKC y OPDC).

La caracterización química de las dietas experimentales y del forraje base ofertado se llevó a cabo determinando proteína cruda (método Kjeldahl), FDN y FDA (Van Soest, Robertson, & Lewis, 1991), cenizas (combustión de la materia orgánica), digestibilidad *in situ* de la materia seca mediante la técnica de la bolsa de nylon (Ørskov, Hovell, & Mould, 1980) y fraccionamiento de las proteínas (Licitra, Hernandez, & Van Soest, 1996), desarrollados en el Laboratorio de Nutrición Animal de AGROSAVIA, centro de investigación (CI) Turipaná. La composición mineral se determinó para N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B, mediante espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Suelos y Aguas de AGROSAVIA, CI Tibaitatá.

Tabla 1. Ingredientes y caracterización química de las dietas experimentales y del forraje base ofertado

	Control ^a	PKC ^a	OPDC ^a	Composición del forraje ofertado en fincas evaluadas ^b	
				Experimento I	Experimento II
Ingredientes					
Sal mineral (%)	100	10,6	10,6	-	-
PKC (%)	-	79,74	-	-	-
OPDC (%)	-	-	79,74	-	-
Melaza (%)	-	4,99	4,99	-	-
Urea (%)	-	4,25	4,25	-	-
Sulfato de amonio (%)	-	0,42	0,42	-	-
Total	100	100	100		
Composición					
Materia seca	-	90,87	88,67	25,39	27,57
Proteína (%)	-	21,04	15,35	10,93	11,82
Fracción A (%)	-	6,74	6,35	10,40	9,21
Fracción B1(%)	-	57,18	75,34	24,37	47,55
Fracción B2 (%)	-	3,22	12,88	13,19	15,46
Fracción B3 (%)	-	15,74	3,74	30,42	16,54
Fracción C (%)	-	17,11	1,69	21,63	11,24
Ceniza (%)	-	11,80	52,02	12,06	10,37
FDN (%)	-	59,96	25,84	62,23	66,65
FDA (%)	-	40,68	7,67	34,22	34,45

Digestibilidad <i>in situ</i> de la Materia Seca	-	63,04	91,24	64,45	60,57
Composición mineral					
Nitrógeno (%)		4,95	3,86	1,79	2,12
Fósforo (%)		0,71	0,96	0,20	0,23
Potasio (%)		0,62	0,25	1,35	1,78
Calcio (%)		2,35	2,37	0,35	0,43
Magnesio (%)		0,35	0,95	0,30	0,27
Sodio (%)		0,911	0,975	0,25	0,03
Azufre (%)		0,62	0,61	0,22	0,73
Hierro (mg/kg)		861,91	697,54	283,45	135,87
Cobre (mg/kg)		148,18	220,19	7,11	10,04
Manganoso (mg/kg)		102,61	107,69	33,77	65,90
Zinc (mg/kg)		854,86	834,61	31,96	48,05
Boro (mg/kg)		13,41	27,61	13,04	4,03

^a Resultado promedio, dos caracterizaciones bromatológicas en cada experimento.

^b Resultado promedio, seis caracterizaciones bromatológicas en cada experimento.

Fuente: Elaboración propia

La caracterización botánica en el experimento I registró una composición botánica promedio de 57 % de gramíneas, 7 % de leguminosas herbáceas, 40 % de especies no deseables, y una oferta forrajera de 1618,5 kg de MS/ha disponibles y 971 kg de MS/ha aprovechables. En las fincas vinculadas a este experimento, la especie de gramínea dominante fue *Brachiaria*

brizantha cv. Toledo. Para el experimento II, la composición botánica promedio fue de 89 % de gramínea, 2 % de leguminosa herbácea, 9 % de especie no deseable y se reportó una producción forrajera de 1882,5 kg de MS/ha disponibles y 1713,4 kg de MS/ha aprovechables. La gramínea dominante en el experimento II fue *Cynodon* spp.

Debido a la ausencia de registros zootécnicos en las fincas seleccionadas, se realizó un diagnóstico reproductivo mediante palpación rectal y se caracterizó el estado fisiológico y productivo de las vacas. Con base en esta información, se seleccionaron las vacas en estado lactante, identificando su tercio de lactancia y número de partos, información que fue utilizada como covariable en el análisis de los datos.

Pese a que las fincas tenían una relativa cercanía y estaban influenciadas por una condición climática similar, entre ellas existían condiciones particulares que marcaban diferencias en las variables de respuesta (rotación de praderas, grupos genéticos, lactancias, entre otros). Con base en esto, se planteó el uso de un diseño de cuadrado latino con sobrecambio, balanceado para efectos residuales (Cochran, Autrey, & Cannon, 1941; Lehmacher, 1991). En este diseño se consideraron dos factores de bloqueo: uno correspondió a las fincas, y otro a los periodos de evaluación (3 períodos, 15 días de acostumbramiento y 5 días de evaluación); para ello, se realizaron dos réplicas completas del experimento, usando 6 fincas en Repelón (experimento I), 2 fincas en Manatí y 4 en Campo de la Cruz (experimento II).

En cada uno de los experimentos, a las fincas seleccionadas se les aleatorizó una de las seis posibles secuencias de suplementación generadas para garantizar grados de libertad y evaluar

el efecto de arrastre o acarreo (tabla 2). Los efectos de acarreo o *carry* se construyeron siguiendo los lineamientos descritos por Cerón-Muñoz, Galeano-Vasco y Restrepo-Betancur (2013).

Tabla 2. Asignación de secuencias de suplementación para fincas en los experimentos I y II

	Finca 1	Finca 2	Finca 3	Finca 4	Finca 5	Finca 6
PERIODO 1	SALM	PKC	OPDC	SALM	PKC	OPDC
PERIODO 2	PKC	OPDC	SALM	OPDC	SALM	PKC
PERIODO 3	OPDC	SALM	PKC	PKC	OPDC	SALM

Fuente: Elaboración propia

Registro de variables [T3]

El experimento se desarrolló entre enero y abril del 2016. En cada uno de los períodos de evaluación asignados al diseño de cada experimento, se realizaron dos muestreos de producción de leche, uno en el día 3 y otro en el día 5. La producción de leche se midió con ordeño único a fondo y pesaje mediante un dinamómetro digital Brecknell®, con capacidad de $25 \pm 0,02$ kg. En el día 5, además del pesaje, se tomó una muestra de leche para su análisis composicional en el Laboratorio Corpolic de AGROSAVIA, donde se analizó grasa, proteína, sólidos totales (ST) y nitrógeno ureico en leche (NUL) mediante infrarrojo con el equipo CombiFoss ® (FOOS Denmark).

Análisis de los datos [T3]

Los datos se colectaron bajo un diseño de cuadrado latino con sobrecambio, balanceado para efectos residuales. El análisis de la información se llevó a cabo empleando la función *lmer* del paquete *lme4* en el *software R-Project* (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015). Cada experimento se analizó por separado. Se consideró como efecto fijo el tratamiento (SalM, PKC o OPDC) y como efectos aleatorios las fincas (de la finca 1 hasta la finca 6, y cada una de las secuencias de suplementación asignadas) y los períodos evaluados (periodos 1, 2 y 3). El análisis consideró las covariables *días en leche* y *número de partos* de las vacas evaluadas en cada finca, así como también el efecto *carry* en el esquema de alimentación con sobrecambio. Cuando se rechazó la hipótesis nula, se empleó la prueba de Tukey para realizar la separación de las medias. En todos los casos se consideró 0,05 como valor crítico. Cada análisis consideró la validación de supuestos en la normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (test de Bartlett) en los residuales.

Resultados y discusión [T2]

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la suplementación con subproductos de la industria de palma africana, en la producción y calidad de la leche bajo condiciones de pequeño productor en el sur del departamento del Atlántico.

Tabla 3. Producción y calidad composicional de la leche en fincas de pequeños productores en el sur del departamento del Atlántico

	Experimento I (Repelón)					Experimento II (Manatí – Campo de la Cruz)				
	Leche (l /día)	Grasa (%)	Proteína (%)	ST (%)	NUL (mg /dl)	Leche (l /día)	Grasa (%)	Proteína (%)	ST (%)	NUL (mg /dl)
SalM	2,911 b	3,850 b	3,385 a	12,836	18,00 a	3,387 b	3,926 a	3,402	12,767 a	19,172 a
PKC	2,951 AB	4,315 A	3,209 B	12,971	19,858 A	3,891 A	3,592B	3,430	12,49 B	17,088 B
OPDC	3,204 A	4,161 AB	3,386 A	13,118	13,493 B	4,016 A	3,924 A	3,393	12,784 A	18,506 A
RCME	0,4124	0,7333	0,2566	0,8174	4,417	0,4933	0,4680	0,1024	0,4407	1,693
CV	0,1423	0,1780	0,0775	0,0629	0,2477	0,1328	0,1229	0,0300	0,0347	0,0911
<i>p</i> -valor Tratamiento	0,0166	0,0319	0,0107	0,3467	<i>p</i> < 0,001	<i>p</i> < 0,001	0,0039	0,3612	0,0119	<i>p</i> < 0,001
<i>Covariables</i>										
Carry a	0,0113	0,4289	0,0638	0,9233	0,0022	0,5289	0,1956	0,0001	0,0546	0,0009

Carry b	0,9142	0,7198	0,897	0,820	0,2353	0,0004	0,7721	0,0001	0,4401	$p < 0,001$
NP	0,5464	0,1600	0,0304	0,039	0,6188	0,2188	0,895	0,6033	0,3135	0,8189
DL	0,0743	$P < 0,00$ 1	$P < 0,00$ 1	$P < 0,00$ 1	0,4262	$P < 0,00$ 1	$P < 0,00$ 1	$P < 0,00$ 1	$P < 0,00$ 1	0,012

SalM: Sal Mineralizada Comercial 8%; PKC: Palmiste; OPDC: Decantado de lodos; Carry a: Efectos de acarreo en sobrecambio influenciado por SalM;

Carry b: Efecto de acarreo en sobrecambio influenciado por PKC; NP: covariable número de partos; DL: covariable *días en leche*; RCME: Raíz de cuadrado medio del error; CV: Coeficiente de variación. ST: Sólidos totales; NUL: Nitrógeno Ureico en Leche. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas entre promedios según test Tukey.

Fuente: Elaboración propia

El tratamiento afectó significativamente ($p < 0,05$) la producción de leche (L/día) a favor del OPDC en los experimentos I y II. En ninguno de los dos experimentos se observó diferencia significativa ($p > 0,05$) con la suplementación con base en PKC. Sin embargo, la diferencia ($p < 0,05$) con el tratamiento control (SalM) fue consistente en los experimentos I y II, con 10,07 % y 14,88 % más producción de leche a favor de OPDC, respectivamente.

La proporción media de grasa en la leche presentó efecto significativo ($p < 0,05$) de la dieta evaluada en los experimentos I y II. En el primer caso, la dieta PKC registró el mayor valor medio de grasa, sin diferencia significativa ($p > 0,05$) con el tratamiento OPDC, pero superior al tratamiento con SalM (4,31 % vs 3,85 %, respectivamente). Contrario a esto, en el experimento II el tratamiento PKC registró la menor proporción de grasa en leche, con 0,33 puntos porcentuales menos ($p < 0,05$) de grasa, comparado con los tratamientos SalM y OPDC.

Tanto la proteína como los ST solo fueron afectados por el tratamiento en uno de los dos experimentos. Para el caso de la proteína, el PKC registró el menor porcentaje en el experimento I, con diferencia significativa ($p < 0,05$) del porcentaje de proteína en leche registrado para los tratamientos OPDC y SalM. Con relación a los ST, en el experimento II se observó que el valor medio registrado en los tratamientos OPDC (12,76 %) y SalM (12,78 %) superó significativamente ($p < 0,05$) el registro reportado en el tratamiento PKC (12,49 %).

En la concentración de nitrógeno ureico en leche, el suplemento con base en OPDC en el experimento I registró la menor cantidad de NUL, con una reducción del 25 % y 32 % comparado con los suplementos SalM y PKC, respectivamente. En el experimento II, la menor concentración en NUL se observó para la suplementación con PKC, con diferencia significativa ($p < 0,05$) de la concentración registrada en los suplementos SalM y OPDC.

La propuesta de considerar un diseño de sobrecambio alternando los sujetos experimentales por cada una de las fincas evaluadas resultó un esquema robusto para desarrollar la investigación de respuesta en producción y calidad de la leche en función de los subproductos de la industria de la palma de aceite, bajo las condiciones de pequeño productor en el sur del departamento del Atlántico. Engstrom, Sanchez, Stone y St-Pierre (2010) informan que la investigación en finca demanda modelos de experimentación robustos, entre los cuales citan el diseño de sobrecambio o *crossover*, con la ventaja de un mínimo cambio en las actividades diarias de las fincas. Asimismo, St-Pierre y Jones (1999) y Rumosa-Gwaze, Mwale y Chimonyo (2011) indican que la investigación en fincas ganaderas genera ventajas en el posterior proceso de adopción de la tecnología, dado que el proceso de investigación en finca involucra de manera cercana al productor y lo obliga a apropiarse de las actividades inherentes a la investigación (selección de animales, proceso de alimentación, medición de respuesta, entre otros), a diferencia del proceso experimental en el centro de investigación, donde el productor no tiene un acceso tangible.

La suplementación con OPDC resultó en un incremento en la producción de leche del orden de entre 10% y 14% tanto en los experimentos I y II comparado con el tratamiento control y

sin diferencia significativa de la suplementación con PKC. En promedio, en cada suplemento se observó una producción media de 3,02 y 4,01 L/vaca/día para OPDC, y de 2,9 y 3,8 L/vaca/día para PKC en los experimentos I y II, respectivamente. Holmann et al. (2004) afirman que, para la región Caribe colombiana, la suplementación no es una práctica ampliamente difundida. En promedio las ganaderías locales producen 4,2 L/vaca/día con una suplementación que no supera los 0,68 kg/animal/día, principalmente con la participación salvado de trigo y de arroz, sal mineralizada, melaza de caña y concentrados comerciales, en porcentajes de inclusión de 16,4 %, 4,7 %, 20,7 %, 11,3 % y 7,9 %, respectivamente. Para el caso específico del sur del departamento Atlántico, Yepes-Vargas y Sarmiento-Moreno (2016) señalan que la producción media de leche en productores que implementaron SSP alcanzó 3,73 L/vaca/día y, en el caso que no, 3,07 L/vaca/día.

En relación con OPDC no se reportan muchas referencias relacionadas con su uso en la producción y calidad de la leche para sistemas doble propósito. Al respecto, Pallares-Cerchiaro y Medina (2014), en una investigación en la que evaluaban el efecto de la glicerina en la producción y calidad de leche en el sur del departamento del Atlántico, indicaron que el tratamiento control (sin glicerina) registró 10,4 L/vaca/día con la adición de 1 kg de OPDC en vacas de alto potencial genético para producción de leche en el trópico. Para el caso del PKC, Olafadehan y Adewumi (2009), en una investigación bajo condiciones de finca en pequeño productor suplementando vacas criollas en el este de Nigeria con 1,77 kg de suplemento que incluía 40 % de PKC, lograron incrementar de manera significativa la producción de leche en 27,3 %, comparada con la dieta sin suplementación (2,28 vs. 1,79 kg/vaca/día, respectivamente). Asimismo, Bustamante et al. (2017), suplementando con 1 kg

de PKC más 0,35 kg de melaza de caña, incrementó significativamente la producción diaria de leche en búfalos de agua (*B. bubalis*) al pasar de 2,59 (sin suplementación) a 3,82 L/animal/día.

La calidad composicional de la leche, en términos de grasa, proteína y sólidos totales, se vio afectada por el esquema de suplementación tanto en el experimento I como en el II. Sin embargo, en todos los tratamientos se observó que los registros composicionales de la leche permiten indicar que, bajo las condiciones evaluadas, la leche se puede clasificar con una alta calidad composicional (Calderón, García, & Martínez, 2006) y da cumplimiento al marco regulatorio para la comercialización de leche cruda ($> 3,2\%$ de proteína, $> 3,5\%$ de grasa y $> 12,2\%$ de sólidos totales), establecido por el Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud, 2006, 2011). Los resultados de calidad de leche en el presente trabajo son similares a los reportados por Botero, Vertel, Florez y Medina (2012) para pequeño productor de doble propósito en el norte del departamento de Sucre, quienes indicaron que bajo esas condiciones la calidad de la leche presenta una media de $4,06 \pm 0,13\%$, $3,57 \pm 0,1\%$ y $12,3 \pm 0,3\%$ en grasa, proteína y sólidos totales, respectivamente, pero superiores a los registrados por Romero, Calderón y Rodríguez (2018), para tres subregiones del departamento de Sucre, con proteína en un rango de 2,96 % a 3,29 %, grasa de 3,37 % a 3,75 % y sólidos totales de 11,71 % a 12,23 %.

El NUL es considerado un indicador metabólico de la relación energía-proteína en la dieta y de la eficiencia del uso de la proteína en rumen (Danes, Chagas, Pedroso, & Santos, 2013;

Pardo, Carulla, & Hess, 2008). Los resultados de NUL en el presente estudio estuvieron cercanos al límite superior en el rango óptimo (10 a 19 mg/dL NUL), citado por Hess et al. (1999), con excepción del OPDC en el experimento I. Ávila y Lascano (2001) indican que un valor 10 mg/dL puede utilizarse como un punto de referencia para definir el NUL en leche, y que este valor depende del grado de suplementación proteica y del grupo genético de la vaca, con respuestas que van desde incremento en el NUL y en la producción de leche como resultado al aumento del nivel de suplementación proteica en la dieta, principalmente para vacas mestizas, hasta incrementos en NUL sin respuesta en la producción de leche en vacas con fenotipo cebuino.

Bajo condiciones de la microrregión de sabanas del Cesar (Cesar, Colombia) y con una dieta base de *Brachiaria bizontha* cv. Marandú en vacas de diferentes mestizajes *Bos indicus* × *Bos taurus*, Mojica-Rodríguez, Castro-Rincón, Silva-Zakzuk, Hortúa-Castro y García-Quintero (2013) reportaron valores de NUL de 11,04, 13,49 y 17,78 mg/dL en el periodo lluvioso, y 9,81, 8,58 y 7,13, en el periodo seco, para los tercios I, II y III de lactancia, respectivamente.

Los resultados del NUL obtenidos en el presente estudio señalan que la dieta consumida pudo afectar la eficiencia de uso del nitrógeno en el rumen, posiblemente por un déficit de carbohidratos fermentables en rumen. Dadas las condiciones en las que se desarrolló el experimento (en fincas de pequeños productores) y al grado de dificultad que presentan las metodologías para la determinación de consumo de materia seca en pastoreo para rumiantes, no fue posible cuantificar la ingesta total de materia seca y el consumo de nutrientes. Sin

embargo, estudios que evaluaron el NUL en vacas que pastorearon SSP con *Leucaena* spp. indican que el consumo voluntario de esta leguminosa influye sobre el balance total (Bottini-Luzardo, Aguilar-Pérez, Centurión-Castro, Solorio-Sánchez, & Ku-Vera, 2016; Prieto-Manrique, Mahecha-Ledesma, Vargas-Sánchez, & Angulo-Arizala, 2018) y a la excreción (Piñero-Vázquez et al., 2017) del nitrógeno ingerido en la dieta, lo que aunado a un déficit de energía pudo ser el factor que influyó en los resultados de NUL del presente experimento, aún en la dieta control (sin nitrógeno).

Conclusiones [T2]

Los subproductos de la industria de palma africana, especialmente el OPDC, lograron demostrar una respuesta positiva en el incremento de la producción de leche bajo las condiciones de pequeño productor doble propósito en el sur del departamento del Atlántico. Sin embargo, se hace necesario considerar experimentos de mayor plazo para evaluar la sostenibilidad de la producción, la calidad de la leche y la viabilidad económica, social y ambiental de estos esquemas de suplementación estratégica bajo condiciones de pequeño productor doble propósito.

Agradecimientos [T2]

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la financiación del presente estudio. También agradecen a la

Cooperativa de Pequeños Ganaderos y Agricultores de Repelón (Coopegar), a la Asociación de Parceleros y Ganaderos de Manatí (Asopagama) y a la Cooperativa de Productores Agropecuarios de Campo de la Cruz y Algodonal (Cooprocal), por el apoyo logístico en el desarrollo del experimento.

Descargo de responsabilidad [T2]

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias [T2]

- Ali Hassan, M., Lai Yee, P., Abdul Rahman, A., Shirai, Y., Bin Ariff, A., & Ismail Abdul Karim, M. (2001). Effect of different chemical treatments on the settleability of palm oil mill effluent. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 24(2), 79-85. [http://www.pertanika2.upm.edu.my/Pertanika%20PAPERS/JTAS%20Vol.%2024%20\(2\)%20Sep.%202001/01%20JTAS%20Vol.24%20\(2\)%202001%20\(Pg%2079-85\).pdf](http://www.pertanika2.upm.edu.my/Pertanika%20PAPERS/JTAS%20Vol.%2024%20(2)%20Sep.%202001/01%20JTAS%20Vol.24%20(2)%202001%20(Pg%2079-85).pdf)
- Alimon, A. R. (2005). The nutritive value of palm kernel cake for animal feed. *Palm Oil Developments*, 40(April), 12-14. <http://palmoilis.mpopb.gov.my/publications/POD/pod40-alimon.pdf>
- Alimon, A. R., Zahari, W. M. W., Kelantan, M., Pengkalan, J., & Kota Bharu, C. (2012). Recent advances in utilization of oil palm by-products as animal feed. En *International Conference on Livestock Production and Veterinary Technology* (pp. 211-219). <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/57137/>
- Ávila, P., & Lascano, C. E. (2001). Definición de las concentraciones de NUL para recomendaciones óptimas de la relación proteína. Energía en dietas a base de forrajes tropicales. En F. Holmann & C. E. Lascano

- (Eds.), *Sistemas de alimentación con leguminosas para intensificar fincas lecheras* (pp. 28-29). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Botero, L., Vertel, M., Flórez, L., & Medina, J. (2012). Calidad composicional e higiénico-sanitaria de leche cruda entregada en época seca por productores de Galeras, Sucre. *Vitae*, 19(Supl. 1), 314-316. <http://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914097.pdf>
- Bottini-Luzardo, M. B., Aguilar-Pérez, C. F., Centurión-Castro, F. G., Solorio-Sánchez, F. J., & Ku-Vera, J. C. (2016). Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *Leucaena leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Tropical Grasslands*, 4(3), 159. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(4\)159-167](https://doi.org/10.17138/TGFT(4)159-167)
- Bustamante, C., Campos, R., & Sánchez, H. (2017). Production and composition of buffalo milk supplemented with agro industrial byproducts of the African palm. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(1), 8077-8082. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n1.61767>
- Cajas, Y. S., Carvajal, C. T., Barragán, W. A., & Portilla, D. (2014). *Modelos silvopastoriles para el Sur del Atlántico: Programa de apoyo a la reactivación económica de los municipios afectados por la ola invernal 2010-2011 en el departamento del Atlántico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpocia).
- Calderón, A., García, F., & Martínez, G. (2006). Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 725-737. <https://doi.org/10.21897/rmvz.457>
- Cerón-Muñoz, M. F., Galeano-Vasco, L. F., & Restrepo-Betancur, L. F. (2013). *Modelación aplicada a las ciencias animales: Diseño experimental, con implementación del programa R-project*. <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/biogenesis/article/viewFile/325966/20783263>
- Cochran, W. G., Autrey, K. M., & Cannon, C. Y. (1941). A double change-over design for dairy cattle feeding experiments. *Journal of Dairy Science*, 24(11), 937-951. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(41\)95480-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(41)95480-2)

Danes, M. A. C., Chagas, L. J., Pedroso, A. M., & Santos, F. A. P. (2013). Effect of protein supplementation on milk production and metabolism of dairy cows grazing tropical grass. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 407-419. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5607>

Decreto 616 de 2006. “Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expenda, importe o exporte en el país”. Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.ica.gov.co/getattachment/15425e0f-81fb-4111-b215-63e61e9e9130/2006D616.aspx>

Decreto 1880 de 2011. “Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el territorio nacional”. Ministerio de Salud y Protección Social. https://www.invima.gov.co/images/stories/alimentos/Decreto_1880_de_2011_comercializacion_leche_cruda.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). *Cuentas departamentales: Producto interno bruto por departamento 2018 preliminar*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2015/Bol_dptal_2018preliminar.pdf

Engstrom, M., Sanchez, W., Stone, W., & St-Pierre, N. R. (2010). Applications of population data analysis in on-farm dairy trials. *Journal of Animal Science*, 88(13 Suppl.), 25-31. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2346>

Federación Nacional de Ganaderos (Fedegán). (2006). *Plan estratégico de la ganadería Colombiana 2019*. <https://www.fedegan.org.co/plan-estrategico-de-la-ganaderia-colombiana-2019>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). (2016). *Informe de Gestión de Fedepalma 2016*. <http://web.fedepalma.org/media/InformeFedepalma.pdf>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). (2018). Producción de aceite de palma crudo en Colombia 2016-2018. *Boletín El Palmicultor*, 562, 23-24. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/12635/12544>

- Gafar, A. A., Alimon, A. R., Sazili, A. Q., Man, Y. C., & Abubakr, A. R. (2013). Effect of varying levels of palm oil decanter cake on feed intake, growth performance and carcass characteristics of Kacang goats. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 3(4), 24-29. <https://doi.org/10.9790/2380-0342429>
- Gobernación del Atlántico. (2016). *Plan de desarrollo 2016-2019 “Atlántico Líder.”* http://www.atlantico.gov.co/images/stories/plan_desarrollo/plan_de_desarrollo_2016_2016_definitivo.pdf
- Hess, H. D., Flórez, H., Lascano, C. E., Baquero, L. A., Becerra, A., & Ramos, J. (1999). Fuentes de variación en la composición de la leche y niveles de urea en sangre y leche de vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo de Colombia. *Pasturas Tropicales*, 21(1), 33-42. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Vol21_hess.pdf
- Holdridge, L. R. (1971). *Forest environments in tropical life zones; a pilot study.* <https://searchworks.stanford.edu/view/609670>
- Holmann, F. J., Rivas Rios, L., Carulla, J. E., Rivera, B., Giraldo, L. A., Guzmán, S., Martínez, M., Medina, A., & Farrow, A. (2004). *Producción de leche y su relación con los mercados: Caso Colombiano CIAT ILRI* (Documento de trabajo N.º 193). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/tropileche/books/Produccion_leche_relacion_mercados_caso_Colombia.pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). *Censo pecuario año 2019: Censo bovino en Colombia.* <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Jabba, A. (2011). *Después de la inundación* (Documento de trabajo sobre economía regional N.º 150). http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER_150_0.pdf
- Lehmacher, W. (1991). Analysis of the crossover design in the presence of residual effects. *Statistics in Medicine*, 10(6), 891-899. <https://doi.org/10.1002/sim.4780100610>
- Licitra, G., Hernandez, T. M., & Van Soest, P. J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 57(4), 347-358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)

- Martínez Reina, A., Rodríguez, P., Laignelet, A., Villota, C. P., Corredor, M., Najar, P., Romero, M., & Torres, A. (2005). *Zonificación agroecológica, evaluación económica y organización socioempresarial de sistemas de producción prioritarios en el área rural Sur del Atlántico*. http://bdigitalagropecuaria.corpoica.org.co/webclient/DeliveryManager?pid=44124&custom_att_2=direct
- Mojica-Rodríguez, J. E., Castro-Rincón, E., Silva-Zakzuk, J., Hortúa-Castro, H., & García-Quintero, L. (2013). *Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito del departamento del Cesar*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1340/69938_64852.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Olafadehan, O. A., & Adewumi, M. K. (2009). Productive and reproductive performance of strategically supplemented free grazing prepartum Bunaji cows in the agropastoral farming system. *Tropical Animal Health and Production*, 41(7), 1275-1281. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9312-0>
- Ørskov, E. R., Hovell, D., & Mould, F. (1980). The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, 5(3), 195-203. http://www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/TAP53/53_1.pdf
- Pallares-Cerchiaro, L., & Medina, P. (2014). Efecto de la suplementación con glicerol sobre la producción láctea en vacas doble propósito en el departamento del Atlántico. *Saberes y Ciencias Médicas*, 1(1), 1-14.
- Pardo, O., Carulla, J. E., & Hess, H. D. (2008). Efecto de la relación proteína y energía sobre los niveles de amonio ruminal y nitrógeno ureico en sangre y leche, de vacas doble propósito del piedemonte llanero, Colombia. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 21(3), 387-397. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v21n3/v21n3a08.pdf>
- Piñero-Vázquez, A., Lazos-Balbuena, F., Valencia-Salazar, S. S., Chay-Canul, A. J., Casanova-Lugo, F., Burgos-Ayala, F. J., & Ku-Vera, J. (2017). Efecto de la inclusión de *Leucaena leucocephala* sobre la excreción de nitrógeno y energía en la orina. En H. A. Lee-Rangel, H. M. Ramírez Tobías, & J. A.

- Roque-Jiménez (Eds.), *Perspectivas y Avances de la Producción Animal en México* (pp. 381-389). Editorial Universitaria Potosina.
- Prieto-Manrique, E., Mahecha-Ledesma, L., Vargas-Sánchez, J. E., & Angulo-Arizala, J. (2018). The effect of sunflower seed oil supplementation on the milk fatty acid contents of cows fed leucaena in an intensive silvopastoral system. *Animal Feed Science and Technology*, 239, 55-65.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.003>
- Romero, A., Calderón, A., & Rodríguez, V. (2018). Evaluación de la calidad de leches crudas en tres subregiones del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Colombiana Ciencia Animal*, 10(1), 43-50.
<https://doi.org/10.24188/recia.v10.n1.2018.630>
- Rumosa-Gwaze, F., Mwale, M., & Chimonyo, M. (2011). Postharvest food losses reduction in maize production in Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 6(21), 4833-4839.
<https://doi.org/10.5897/AJAR10.006>
- St-Pierre, N. R., & Jones, L. R. (1999). Interpretation and design of nonregulatory on-farm feeding trials. *Journal of Animal Science*, 77(Supplement 2), 177-182. https://doi.org/10.2527/1999.77suppl_2177x
- Toro Suárez, I., Contreras Ávila, A., Murcia Contreras, G., Neira Colombia, F., Pedraza Tenjo, R., Rodríguez Borray, G., Rodríguez Castro, L. J., Ortiz Ortiz, L. A., & Villada Arroyave, J. A. (2016). Impacto de la inundación y rehabilitación productiva de los suelos de Sur del Atlántico. En M. Alvarado-Ortega (Ed.), *Sur del Atlántico, una nueva oportunidad* (pp. 182-219). Fundación Promigas.
http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20493/Sur_del_Atlantico.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Van Dam, J. (2017). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Revista Palmas*, 37(Especial Tomo II), 149-156.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11930/11923>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
[https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(91)78551-2)

Vargas, E., & Zumbado, M. (2003). Composición de los subproductos de la industrialización de la palma Africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 27(1), 7-18.
http://www.mag.go.cr/rev_agr/v27n01_007.pdf

Yepes-Vargas, L. A., & Sarmiento-Moreno, L. F. (2016). *Estudio de la apropiación de sistemas silvopastoriles en la producción de leche bovina en el contexto del agronegocio lácteo del sur del Atlántico* [Tesis de Maestría, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia].
<http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/18949>

Zahari, W., Alimon, A. R., & Wong, H. K. (2012). Utilization of oil palm co-products as feeds for livestock in Malaysia. En H. Makkar (Ed.), *Biofuel co-products as livestock feed - Opportunities and challenges* (pp. 234-262). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).