

Artículo de investigación científica y tecnológica

# Efecto del tiempo de fermentación sobre la calidad nutricional del ensilaje de pulpa de *Coffea arabica* L.

 Dixon Fabián Flórez-Delgado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Americana de Europa. Cancún, México

\* Autor de correspondencia: Universidad Americana de Europa (Unade). Av. Bonampak, Sm. 6, Mz. 1, Lt. 1, 77500, Cancún, México.  
[dixon.florez@unipamplona.edu.co](mailto:dixon.florez@unipamplona.edu.co)

Recibido: 22 de abril de 2019

Aceptado: 17 de enero de 2020

Publicado: 19 de junio de 2020

*Editor temático:* Claudia Janeth Ariza Nieto (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

*Para citar este artículo:* Flórez-Delgado, D. F. (2020). Efecto del tiempo de fermentación sobre la calidad nutricional del ensilaje de pulpa de *Coffea arabica* L. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), e1423.  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1423](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1423)

## Resumen

La pulpa de café ha sido incorporada en los sistemas de producción pecuarios a través de su uso en silos dada su aceptable composición nutricional. La presente investigación se desarrolló en la finca La Gaviota, localizada en la vereda Matajira del municipio de Pamplonita (Colombia), con el objetivo de evaluar el efecto que tiene el tiempo de fermentación sobre la calidad nutricional del ensilaje de pulpa de café. Se emplearon tres tratamientos: 30, 45 y 90 días de fermentación y cuatro réplicas de 20 kg. Se aplicaron pruebas de estadística descriptiva, ANOVA de un factor con tres niveles y una significancia del 5 % bajo un diseño aleatorizado. Los parámetros de pH, fósforo (P) y polifenoles presentaron un comportamiento similar ( $p > 0,05$ ) respecto al tiempo de fermentación, mientras que los valores de proteína, fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad *in vitro* (DIV) y energía metabolizable (EM) —con medias de 13,50 %, 49,85 %, 57,20 % y 4,50 Mcal/kg MS, respectivamente— presentaron los mejores tenores en el T2 con un tiempo de fermentación de 45 días. Los valores de fibra detergente ácido (FDA) y calcio (Ca) fueron superiores en el T4 con 90 días de fermentación. Se concluye que el tiempo de fermentación tiene influencia sobre los parámetros nutricionales del ensilaje de pulpa de café.

**Palabras clave:** alimentación de rumiantes, digestibilidad *in vitro*, ensilaje, fermentación, pulpa de café

## Effect of fermentation time on the nutritional quality of *Coffea arabica* L. pulp silage

### Abstract

Coffee pulp has been incorporated into livestock production systems through its use in silos thanks to its acceptable nutritional composition. This work was carried out at the farm La Gaviota located in the Matajira district of the municipality of Pamplonita, and its aim was to evaluate the effect that fermentation time has on the nutritional quality of coffee pulp silage. Three treatments were used: 30, 45, and 90 days of fermentation and four replicates of 20 kg. Descriptive statistics tests, one-way ANOVA with three levels, and a significance of 5 % were applied under a randomized design. Parameters such as pH, phosphorus (P), and polyphenols showed a similar behavior ( $p > 0.05$ ) compared to the fermentation time. Meanwhile protein, neutral detergent fiber (NDF), *in vitro* digestibility (IVD) and metabolizable energy (ME) —with averages of 13.50 %, 49.85 %, 57.20 % and 4.50 Mcal/kg DM, respectively— showed the best tenors in T2 with a fermentation time of 45 days. The values of acid detergent fiber (ADF) and calcium (Ca) were higher in T4 with 90 days of fermentation. We conclude that the fermentation time has an influence on the nutritional parameters of coffee pulp silage.

**Keywords:** coffee pulp, fermentation, *in vitro* digestibility, ruminant feeding, silage

## Introducción

En la crianza de rumiantes, los forrajes constituyen la base de la nutrición debido a su gran producción de biomasa y bajo costo de obtención. Sin embargo, la mayoría de los forrajes presentan deficiencias nutricionales, especialmente en proteína, y su producción se ve afectada por la variabilidad climática, el sobrepastoreo, la compactación del suelo y el uso de variedades poco adaptadas a la región (Martínez et al., 2008). Estos factores exigen un uso casi dependiente de los alimentos balanceados, que, por sus altos costos, reducen los márgenes de ganancias para los pequeños y medianos ganaderos en los sistemas de explotación con baja adopción de tecnología (Posadas et al., 2014). Ante esta situación, el productor pecuario se ve obligado a explorar nuevas opciones de alimentación y suplementación. De esta manera, los residuos y subproductos de las industrias agrícolas (como la caña panelera), cervecera y hortofrutícola surgen como una alternativa nutricional y económica importante para los sistemas de producción (Bermúdez-Loaiza et al., 2015).

Para enero de 2017, la producción de café en Colombia —país con mayor producción de café arábigo suave lavado a nivel mundial— fue de 1.275.000 sacos de 60 kg, lo que significó un aumento del 12 % frente al 1.136.000 de sacos producidos en el año anterior. Entre febrero de 2016 y enero de 2017, la cosecha cafetera alcanzó los 14,4 millones de sacos de 60 kg, 1 % más frente a los 14,2 millones producidos en el mismo periodo el año anterior. En relación con el año cafetero (octubre 2016-enero 2017), la producción de café en Colombia fue de 5,6 millones de sacos de 60 kg, 7 % más que los sacos cosechados en el periodo anterior (Eje 21, 2017).

El beneficio húmedo del café es el método principal para la obtención de café verde. Durante este proceso, se elimina la cáscara y el mucílago del grano para finalizar con su secado (Novita, 2016). El promedio de la producción de pulpa es de 2 t/ha/año (Ocampo & Álvarez-Herrera, 2017). Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162.900 t de pulpa fresca (Rodríguez & Zambrano, 2010). En la tabla 1 se pueden observar los residuos obtenidos del beneficio de 1 kg de café. La cáscara y el mucílago constituyen el 56 % del grano (Torres-Valenzuela et al., 2019). La cáscara, también denominada *pulpa*, pesa alrededor del 43,6 % del fruto fresco (Rodríguez & Zambrano, 2010), contiene aproximadamente 86 % de humedad y está conformada por el epicarpio y parte del mesocarpio. La pulpa es rica en pectinas, cafeína, proteínas, carbohidratos y polifenoles, y es una fuente potencial de agroindustria con alto valor agregado (Murthy & Naidu, 2012).

**Tabla 1.** Residuos obtenidos durante el beneficio de 1 kg de café

Proceso	Residuo obtenido	Pérdida (g)
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucílago	149
Secado	Agua	171
Trilla	Pergamino	42
	Película plateada	
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación bebida	Borra	104
Pérdida acumulada		924

Fuente: Rodríguez y Zambrano (2010)

Existe una necesidad —mayor en tiempos de crisis— de reducir los costos de alimentación de las explotaciones donde el uso de recursos locales podría ser una alternativa (Flórez-Delgado & Rosales-Asensio, 2018), en especial de aquellas que causan un impacto negativo al medioambiente por su inadecuada disposición, como es el caso de la pulpa de café (Yoplac et al., 2017). La conservación mediante la técnica del ensilaje es una opción segura y económica (Mayorga, 2005) de emplear este residuo en la alimentación animal (Pinto et al., 2014), el cual está compuesto de carbohidratos (21 % a 32 %), proteína (7,5 % a 15 %) y grasa (2 % a 7 %) (Esquivel & Jiménez, 2012).

Durante el proceso de ensilaje se produce una fermentación anaeróbica, en la que los microorganismos presentes conducen a un incremento del ácido láctico y una consecuente reducción del pH (Lozano et al., 2000), lo que a su vez impide el desarrollo de otro tipo de microorganismos (Villa et al., 2010). La pulpa de café presenta agentes antinutricionales (Pujol et al., 2013) como taninos, cafeína y ácido clorogénico, que impiden su uso de forma directa. Los taninos son moléculas que imposibilitan la hidrólisis ruminal de las proteínas (Piñeiro-Vásquez et al., 2015). En los rumiantes, la cafeína puede aumentar la diuresis y, por tanto, disminuir la retención de nitrógeno (Mayorga, 2005; Mazzafera, 2002). Es necesario que la pulpa pase por un proceso de ensilaje, el cual consiste en una fermentación láctica (Rathinavelu & Graziosi, 2005) que permitirá disminuir los factores antinutricionales y mantener o mejorar su valor nutritivo (Noriega et al., 2008).

En la elaboración de un ensilaje se deben garantizar las condiciones para mantener un pH menor que 4,2 (Aguirre-Fernández et al., 2018), con el fin de inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y conservar el valor nutricional de los productos ensilados (Mayorga, 2005). Estudios previos han demostrado que con una fermentación de 120 días se obtienen los mejores valores nutricionales correspondientes al porcentaje de proteína y baja presencia de taninos (Noriega et al., 2008).

Es común encontrar sistemas de producción ganaderos combinados con actividades agrícolas que emplean productos, subproductos y residuos de cosechas como materias primas para la alimentación de rumiantes (Flórez-Delgado & Rosales-Asensio, 2018). Estos sistemas permiten al productor agropecuario reducir costos por concepto de alimentación (Castaño & Cardona, 2014) y dar un manejo sostenible (económico y ambiental) al sistema de producción (Bampidis & Robinson, 2006). En este contexto, la presente

investigación se enfocó en la elaboración de ensilaje de pulpa de café (EPC) como fuente de alimento para rumiantes con el objetivo de evaluar su calidad nutricional y la presencia de otras sustancias como cafeína y polifenoles en 0, 30, 45 y 90 días de fermentación.

## Materiales y métodos

### Localización

La investigación se desarrolló en la finca La Gaviota, localizada en la vereda Matajira del municipio de Pamplonita (Colombia), en las coordenadas 07°32'34" N y 72°37'36" O y a una altura de 1.300 m s.n.m. Cuenta con una extensión de 4 ha, temperatura promedio de 20 °C, topografía irregular y una precipitación anual de 1.400 mm.

### Procedimiento experimental

La pulpa de café empleada para la elaboración del ensilaje fue variedad Colombia en estado fresco y se obtuvo del predio vecino, la Granja Experimental Villa Marina de la Universidad de Pamplona. Se utilizó el silo bolsa (Fernández, 2015), calibre 7 de polietileno con una capacidad de 50 kg. Se procedió a llenar la bolsa con pequeñas capas de pulpa de café compactadas, mientras se extraía todo el aire posible, hasta completar la capacidad de la bolsa (Triana et al., 2014). Una vez sellada, la bolsa se almacenó en un lugar protegido del sol y de los roedores para garantizar el proceso de fermentación. Se consideró un tiempo inicial y tres tiempos de fermentación (30, 45 y 90 días) (Noriega et al., 2008), y se elaboraron cuatro réplicas para cada uno de los tiempos.

Transcurrido el total del tiempo, se destaparon las bolsas, se homogeneizó su contenido y se tomó una muestra por réplica. Se practicaron pruebas de pH, materia seca (MS) por el método gravimétrico (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1996), proteína mediante el método Kjeldahl (AOAC, 1996), contenido de FDA y FDN con el método de Van Soest et al. (1991), EM a través de combustión en bomba calorimétrica (Posada et al., 2012), calcio y fósforo por calcinación directa, y digestibilidad *in vitro* (DIV) por medio de Tilley y Terry (Nieto et al., 2005). También se examinó la presencia de otras sustancias como cafeína mediante el sistema HPLC Dionex Ultimate 3000 y polifenoles totales con el reactivo de Folin-Ciocalteu.

### Diseño experimental

Se empleó un diseño aleatorizado bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde  $Y_{ij}$ : respuesta nutricional del ensilaje de pulpa de café (EPC) al tratamiento;  $\tau_i$ : efecto debido al tratamiento, y  $\varepsilon_{ij}$ : error experimental. Se realizó un análisis de varianza del factor tiempo de fermentación en tres niveles (30, 45 y 90 días de fermentación) y con una significancia del 5 %. Se aplicaron supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para evaluar el efecto de los tratamientos sobre estas variables nutricionales.

## Resultados y discusión

Los valores obtenidos en los parámetros nutricionales de este ensilaje se ubican dentro de los rangos normales para las materias primas que se conservan mediante esta técnica. En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis de varianza aplicado a la composición nutricional del ensilaje en tres periodos de fermentación, y la presencia de otras sustancias como cafeína y polifenoles.

**Tabla 2.** Composición nutricional y parámetros fermentativos del ensilaje de pulpa de café (*Coffea arabica*) conservado a 30, 45 y 90 días de fermentación

Parámetro	Unidad	Periodo de fermentación (días)				SE
		0	30	45	90	
MS	%	15,64 ± 0,21 <sup>a</sup>	16,00 ± 0,18 <sup>a</sup>	15,42 ± 0,17 <sup>b</sup>	15,90 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,001
Proteína	%	8,96 ± 0,32 <sup>a</sup>	13,50 ± 0,79 <sup>b</sup>	12,42 ± 0,17 <sup>c</sup>	12,82 ± 0,09 <sup>bc</sup>	0,030
FDA	%	28,34 ± 0,28 <sup>a</sup>	39,02 ± 0,29 <sup>b</sup>	37,97 ± 0,22 <sup>c</sup>	40,75 ± 0,64 <sup>d</sup>	0,000
FDN	%	43,79 ± 0,64 <sup>a</sup>	47,05 ± 0,56 <sup>b</sup>	49,85 ± 0,52 <sup>c</sup>	47,07 ± 1,00 <sup>b</sup>	0,001
Energía	Mcal/kg	4,15 ± 0,03 <sup>a</sup>	4,36 ± 0,06 <sup>b</sup>	4,50 ± 0,01 <sup>c</sup>	4,46 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,004
Cenizas	%	5,87 ± 0,25 <sup>a</sup>	6,70 ± 0,18 <sup>b</sup>	6,97 ± 0,15 <sup>b</sup>	6,17 ± 0,09 <sup>c</sup>	0,000
Ca	%	0,32 ± 0,02	0,47 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,40 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,60 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,000
P	%	0,19 ± 0,09	0,22 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,075
DIV	%	51,67 ± 0,33 <sup>a</sup>	52,47 ± 0,69 <sup>a</sup>	57,20 ± 1,12 <sup>b</sup>	54,55 ± 0,92 <sup>c</sup>	0,000
pH		4,51 ± 0,05	3,82 ± 0,09 <sup>b</sup>	3,87 ± 0,05 <sup>b</sup>	3,85 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,622
Cafeína	%	6,53 ± 0,16 <sup>a</sup>	6,39 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,60 ± 0,05 <sup>a</sup>	7,34 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,000
Polifenoles	%	5,18 ± 0,38 <sup>a</sup>	7,71 ± 0,47 <sup>b</sup>	7,45 ± 0,42 <sup>b</sup>	7,59 ± 0,48 <sup>b</sup>	0,740

Nota: las medias con distinta letra en superíndice presentaron diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

MS: materia seca; FDA: fibra detergente ácido; FDN: fibra detergente neutro; Ca: calcio; P: fósforo; DIV: digestibilidad *in vitro*.

Fuente: Elaboración propia

Ojeda y Cáceres (2002) afirman que, por efectos de la respiración celular, que se da al mismo tiempo de la fermentación y la concentración de carbohidratos solubles (Ítavo et al., 2000), se incrementa la pérdida de humedad y, por consiguiente, aumentan los niveles de MS. De la misma manera, López-Herrera y Briceño-Arguedas (2017) señalan que este proceso fermentativo es muy intenso en los primeros días y ocasiona pérdida de humedad hasta alcanzar una estabilización y mantener el contenido de MS (Londoño et al., 2016). Por su parte, Benítez y Poveda (2011) mencionan que los bajos contenidos de MS se presentan porque la pectina absorbe agua, por el proceso de respiración celular y porque los carbohidratos solubles se fermentan.

El promedio de MS en el T2 fue del 16 %; aunque dicho valor no supera el contenido mínimo del 20 % sugerido por Aguirre et al. (2017) para categorizar el ensilaje de buena calidad, se encuentra en un rango óptimo que, junto con el pH ácido, permite controlar la presencia de *Clostridium*, reduce las pérdidas por efluentes y garantiza un proceso fermentativo, lo que a su vez aumenta el consumo voluntario por parte de los rumiantes (Villa & Hurtado, 2016). Reportes similares fueron obtenidos por Encalada et al. (2017)

con un 18 % de MS y un tiempo de fermentación de 45 días, mientras que Aguirre et al. (2017) reportaron un 26 % de MS, superior al 15,4 % obtenido por Bautista et al. (2005).

En el parámetro de proteína se presentó diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos; los valores proteínicos del T2 fueron los más representativos con una media de 13,5 %. Este contenido de proteína se debe posiblemente al crecimiento bacteriano producido durante la fermentación y al tiempo del ensilado (Encalada et al. 2017). Puertas-Mejía et al. (2012) afirman que cerca del 0,9 % del peso húmedo está constituido por las proteínas de la pulpa de este fruto, que son parte de los sustratos necesarios para el crecimiento y desarrollo de microorganismos. Navarro-Ortiz y Roa-Vega (2018) indican que los forrajes, las materias primas y cualquier otro alimento destinado para la alimentación animal son clasificados de buena calidad cuando su contenido de proteína supera el 11,0 %, lo que significa que el ensilaje de pulpa de café puede ser considerado como una alternativa nutricional por su gran contenido proteínico. Los resultados reportados por Londoño et al. (2016) son ligeramente superiores (14,83 %). Por su parte, Noriega et al. (2008) y Benítez (2016) encontraron un 30,52 % y un 27,16 %, respectivamente, valores muy superiores a los registrados en la presente investigación e inferiores a los reportados por Encalada et al. (2017) (12,56 %).

Las FDA y FDN se mantuvieron dentro de los rangos normales con porcentajes de 39,24 % y 47,99 %, respectivamente, lo que concuerda con los resultados de Noriega et al. (2008), quienes hallaron que los tenores de fibra en la pulpa de este fruto ensilado aumentan con el tiempo de fermentación y el tiempo de sellado del silo. Según Quiroz-Cardoso et al. (2015), los bajos contenidos de fibra detergente ácido en un alimento incrementan su consumo. Furusho et al. (2000) registraron resultados inferiores con un 27,8 % de FDN y un 45,40 % de FDA, valor similar al obtenido por Aguirre et al. (2018).

Los valores de pH presentaron un comportamiento similar entre los tratamientos, siendo la media de 3,8. Esto se debe a la producción de lactobacilos acidófilos, que crecen en las primeras 72 horas de sellado del silo y son los responsables de la producción del ácido láctico, el cual disminuye el pH. Benítez (2016) considera que la disminución del pH se debe al consumo de sustrato y Mayorga (2005) sugiere que se deben dar todas las condiciones en el proceso de ensilaje para mantener un pH ácido y evitar variaciones en las propiedades nutricionales del producto ensilado. El valor de pH obtenido en esta investigación (3,80) indica que el proceso de fermentación anaeróbica contó con todas las condiciones adecuadas para su desarrollo y logró la estabilidad en la fermentación por ser inferior a 4,2 (Garcés et al., 2004). Este valor es muy similar a los reportados por Pinto-Ruiz et al. (2017) (3,90) y Encalada et al. (2017), quienes incluyeron aditivos en el proceso de ensilaje.

El contenido de ceniza presentó un comportamiento diferente ( $p < 0,05$ ); el T3 obtuvo el mejor valor con un 6,97 %, que corresponde a los resultados de Aguirre et al. (2018) y Benítez (2016), quienes afirman que el contenido de ceniza aumenta con el proceso y el tiempo de fermentación. Noriega (2008) y Benítez (2016) obtuvieron valores superiores a los reportados en el presente estudio con 12,46 % y 9,90 %, respectivamente. Pulido et al. (2016) señalan que el porcentaje de cenizas indica el contenido de minerales que posee un alimento. En el presente estudio, los valores de Ca y P a los 90 días de fermentación fueron de 0,60 % y 0,27 %, respectivamente. Furusho et al. (2000) obtuvieron valores de 0,76 % y 0,52 % en estos dos minerales, respectivamente. La pulpa de este fruto debe disponer de contenidos adecuados de ceniza que proporcionen niveles idóneos de minerales para enriquecer las dietas de animales (Noriega et al., 2008),

especialmente de aquellas especies con una demanda muy alta de minerales, como los bovinos productores de leche.

Los resultados obtenidos en la DIV de este ensilaje señalan diferencias entre los tratamientos, con valores que oscilan entre 52 % y 57 %. Navarro-Ortiz y Roa-Vega (2018) consideran que un alimento es de buena calidad si tiene una DIV superior al 70 %, una FDN inferior al 50 % y una proteína superior al 15 %; por el contrario, un alimento de calidad baja tiene una DIV inferior al 50 %, una FDN superior al 65 % y una proteína inferior al 8 %. En el presente estudio se obtuvo un valor máximo de digestibilidad del 57 % a los 45 días de fermentación, lo que convierte este tipo de ensilaje en una alternativa nutricional digerible para rumiantes y con un alto contenido de energía (4,5 Mcal/kg), muy superior a la energía de 2,38 Mcal/kg reportada por Furusho et al. (2000). Encalada et al. (2017) encontraron un rango entre el 50,27 % y el 56,92 % de DIV, que concuerda con los resultados de esta investigación. El contenido de cafeína fue de 6,39 %, muy superior al 0,87 % obtenido por Ferreira et al. (2001) en un tiempo de fermentación de 45 días. También se identificó un contenido de polifenoles del 7,45 %. Todo lo anterior permite incorporar este alimento como reemplazo parcial del alimento balanceado comercial en la dieta de los rumiantes productores de leche en un rango del 20 % al 40 % y de animales de engorde en un rango del 20 % al 30 %, sin efectos adversos a la salud, bienestar y productividad de los animales (Flórez-Delgado & Rosales-Asensio, 2018).

## Conclusiones

La fermentación de 45 días presentó los mejores valores en las variables de proteína, FDN, DIV y energía bruta con medias de 13,05 %, 49,85 %, 57,20 % y 4,50 Mcal/kg, respectivamente. La fermentación a 90 días solo influye en el contenido de FDA y Ca. Los parámetros de pH, P y polifenoles no presentaron diferencias estadísticamente significativas; es decir, el tiempo de fermentación no tiene efecto sobre estos parámetros nutricionales en este ensilaje.

## Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a la administración de la finca La Gaviota, por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones.

## Descargos de responsabilidad

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

Aguirre, L. A., Rodríguez, Z., Saca, V., & Apolo, V. (2017). Bromatological characterization of coffee (*Coffea arabica* L.) pulp for animal feeding purposes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52 (2), 165-172. <http://cjas.cien ce.com/index.php/CJAS/article/view/806/811>

- Aguirre, L. A., Rodríguez, Z., Saca, V., Salazar, R., & Jiménez, M. (2018). Efecto del suero de leche en la fermentación en estado sólido de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.) para uso en la alimentación de rumiantes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(3), 303-312. <https://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/811/815>
- Aguirre-Fernández, P., Acosta-Pinto, L., Cardozo-Corzo, L., Rodríguez-Arenas, S., & Corredor-Sánchez, G. (2018). Nutritional evaluation of silage with coffee (*Coffea Arabica* L.) cherry for ruminant supplementation. *Acta Agronómica*, 67 (1), 326-332. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v67n2.66563>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1996). *Official methods of analysis of AOAC* (16.<sup>a</sup> ed).
- Bautista, E. O., Pernía, J., Barrueta, D., & Useche, M. (2005). Pulpa ecológica de café ensilada en la alimentación de alevines del híbrido Cachamay (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*). *Revista Científica*, 15(1), 33-40. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/download/15098/15075>
- Bampidis, V. A., & Robinson, P. H. (2006). Citrus by-products as ruminant feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 128(3), 175-217. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.12.002>
- Benítez, A. I. (2016). *Utilización de diferentes niveles de urea en la dinámica de fermentación de la pulpa de café para uso en la alimentación de rumiantes en la provincia de Loja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital UNL. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10282?mode=full>
- Benítez, S. Y., & Poveda, C. A. (2011). Evaluación nutricional de ensilajes con diferentes niveles de inclusión de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y digestibilidad *in vivo* como alternativa energética para alimentación de cerdos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1), 20-28. <https://bit.ly/3eVnAtB>
- Bermúdez-Loaiza, J., Melo-Camacho, E., & Estrada-Álvarez, J. (2015). Evaluación de ensilaje de naranja entera (*Citrus sinensis*) como alternativa de suplementación en bovinos. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 38-53. <http://dx.doi.org/10.17151/vetzo.2015.9.2.4>
- Castaño, N., & Cardona, M. (2014). Factores determinantes en la inestabilidad del sector agrícola colombiano. *Revista En-Contexto*, 3(2), 91-107. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/encontexto/article/view/137/122>
- Eje 21. (2017, febrero 3). *Producción de café de Colombia aumenta 12 % en enero*. <http://www.eje21.com.co/2017/02/produccion-de-cafe-de-colombia-aumenta-12-en-enero/>
- Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N., & Quichimbo, A. (2017). Ensilaje de pulpa de café con la aplicación de aditivos en el cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, .(2), 71-82. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/download/322/293/>
- Esquivel, P., & Jiménez, V. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46 (2), 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
- Fernández, A. (2015). *Subproductos de los cítricos*. Sitio Argentino de Producción Animal. Argentina. [http://www.produccion-animal.com.ar/tablas\\_composicion\\_alimentos/131-Subproductos\\_citricos.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/131-Subproductos_citricos.pdf)
- Ferreira, A., De Aguiar, P., Olalquiaga, J., Dos Santos, V., & Maciel, R. (2001). Fatores antinutricionais da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(4), 1325-1331. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000500028>
- Flórez-Delgado, D., & Rosales-Asensio, E. (2018). Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. *Mundo FESC*, 8(15), 73-82. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/254/385>
- Furusho, I., Olalquiaga, J., Teixeira, J., & Pacheco, C. (2000). Desempenho de cordeiros Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inês e Santa Inês Puros terminados em confinamento, alimentados com casca de café como parte da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(2), 564-572. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000200033>
- Garcés, A., Berrio, L., Ruiz, S., Serna Dleón, J., & Builes, A. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 66-71. <https://bit.ly/2KCvPwC>
- Ítavo, L., Dos Santos, G., Jobim, C., Voltolini, T., Bortolassi, J., & Ferreira, C. (2000). Aditivos na conservação do bagaço de laranja *in natura* na forma de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(5), 1474-1484. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000500028>

- Londoño, L., Ramírez-Toro, C., Ruiz, H., Ascacio, J., Rodríguez, R., & Aguilar, C. (2016). Caracterización del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y pulpa de café (*Coffea arabica*) como sustrato en fermentación en estado sólido. *Agronomía Colombiana*, 34(1 Supl.), S1156-S1158. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58331>
- López-Herrera, M., & Briceño-Arguedas, E. (2017). Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje. *Nutrición Animal Tropical*, 11(1), 52-73. <http://dx.doi.org/10.15517/nat.v11i1.29605>
- Lozano, J. A., Galindo, J. D., García-Borrón, J. C., Martínez-Liarte, J. H., Peñafiel, P., & Solano, F. (2000). *Bioquímica y biología molecular para ciencias de la salud* (2nd ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Martínez, M., Chongo, B., Jordán, H., Hernández, N., Fontes, D., Lezcano, Y., & Cubillas, N. (2008). Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Técnica Pecuaria de México*, 46(2), 183-193. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61346206.pdf>
- Mayorga, E. (2005). *La pulpa de café: residuo o alimento*. <http://www.ugr.es/~ri/antiores/dial03/d28-3.htm>
- Mazzafera, P. (2002). Degradation of caffeine by microorganisms and potential use of decaffeinated coffee husk and pulp in animal feeding. *Scientia Agricola*, 59(4), 815-821. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400030>
- Murthy, P., & Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition— A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Navarro-Ortiz, C., & Roa-Vega, M. (2018). Comparación de la digestibilidad de tres especies forrajeras estimada mediante diferentes técnicas. *Orinoquia*, 22(1), 15-33. <https://doi.org/10.22579/20112629.476>
- Nieto, M., Cruz, L., Rique, D., & Ezquerro, M. (2005). Técnica de digestibilidad *in vitro* en ingredientes y alimentos para camarón. *Ciencia UANL*, 8(1), 65-73. [http://eprints.uanl.mx/1666/1/tecnica\\_digestibilidad\\_del\\_camaron.pdf](http://eprints.uanl.mx/1666/1/tecnica_digestibilidad_del_camaron.pdf)
- Noriega, A., Silva, R., & García, M. (2008). Utilización de pulpa de café en alimentación animal. *Zootecnia Tropical*, 26(4), 411-419. <http://ve.scielo.org/pdf/zt/v26n4/art01.pdf>
- Novita, E. (2016). Biodegradability simulation of coffee wastewater using instant coffee. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 217-229. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.138>
- Ocampo, O., & Álvarez-Herrera, L. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- Ojeda, F., & Cáceres, O. (2002). Principales avances en la utilización de los subproductos agroindustriales. *Revista Pastos y Forrajes*, 25(1), 21-30.
- Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Medina, J., Hernández-Sánchez, D., Ley-de-Coss, A., & Guerra-Medina, E. (2017). Conducta ingestiva y preferencia bovina por el ensilaje de *Pennisetum* y pulpa de café. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 59-67. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.23120>
- Pinto, R., Medina, J., Medina, F., Guevara, F., Gómez, H., Ley, H., & Carmona, J. (2014). Sustitución de melaza por mucílago de café (*Coffea arabica* L.) en bloques nutricionales para rumiantes. *Archivos de Zootecnia*, 63(241), 65-71. <https://doi.org/10.21071/az.v63i241.564>
- Piñero-Vásquez, A., Canul-Solís, J., Alayón-Gamboa, J., Chay-Canul, A., Ayala-Burgos, A., Aguilar-Pérez, C., Solorio-Sánchez, F., & Ku-Vera, J. (2015). Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(3), 263-272. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000300002>
- Posada, S., Rosero, R., Rodríguez, N., & Costa, A. (2012). Comparación de métodos para la determinación del valor energético de alimentos para rumiantes. *Revista MVZ Córdoba*, 17(3), 3184-3192. <https://doi.org/10.21897/rmvz.219>

- Posadas, R., Salinas, J., Callejas, N., Álvarez, G., Herrera, J., Arriaga, C., & Martínez, F. (2014). Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000-2012. *Contaduría y Administración*, 59(2), 253-275. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71262-8](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71262-8)
- Pujol, D., Liu, C., Gominho, J., Olivella, M., Fiol, N., Villaescusa, I., & Pereira, H. (2013). The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Production*, 50, 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.056>
- Pulido, N., Borrás, L., & Rodríguez, C. (2016). Elaboración de un alimento energético-proteico para animales, basado en residuos de cosecha de pera (*Pyrus communis*). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 7-16. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num1\\_art:455](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num1_art:455)
- Puertas-Mejía, M., Rivera-Echeverry, F., Villegas-Guzmán, P., Rojano, B., & Peláez-Jaramillo, C. (2012). Comparación entre el estado de maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L), en el contenido de antocianinas y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(4), 360-367. <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n4/pla07412.pdf>
- Quiroz-Cardoso, F., Rojas-Hernández, S., Olivares-Pérez, J., Hernández-Castro, E., Jiménez-Guillén, R., Córdova-Izquierdo, A., Villa-Mancera, A., & Abdel-Fattah, S. (2015). Composición nutricional, consumo e índices de palatabilidad relativa de los frutos de tres acacias en la alimentación de ovejas y cabras. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(1), 33-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100007>
- Rathinavelu, R., & Graziosi, G. (2005, agosto 17). *Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café*. ED 1967/05. Organización Internacional del Café. <http://www.ico.org/documents/ed1967c.pdf>
- Rodríguez, N., & Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Avances Técnicos*, 393, 1-8. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/351/1/avt0393.pdf>
- Torres-Valenzuela, L., Martínez, K., Serna-Jiménez, J., & Hernández, M. (2019). Secado de pulpa de café: condiciones de proceso, modelación matemática y efecto sobre propiedades fisicoquímicas. *Revista Información Tecnológica*, 30(2), 189-200. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200189>
- Triana, E., Leal, F., Campo, Y., & Lizcano, H. (2014). Evaluación de ensilaje a partir de dos subproductos agroindustriales (cáscara de naranja y plátano de rechazo) para alimentación de ganado bovino. *Revista Alimentos Hoy*, 22(31), 33-45. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/254/238>
- Van Soest, P., Robertson, J., & Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch 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)
- Villa, R., & Hurtado, J. (2016). Evaluación nutricional de diferentes ensilajes para alimentar conejos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 76-83. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.54>
- Villa, A., Meléndez, A., Carulla, J., Pabón, M., & Cárdenas, E. (2010). Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 65-77. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v23n1/v23n1a08.pdf>
- Yoplac, I., Yalta, J., Vásquez, H., & Maicelo, J. (2017). Efecto de la alimentación con pulpa de café (*Coffea arabica*) en los índices productivos de cuyes (*Cavia porcellus* L) raza Perú. *Revista Investigaciones Veterinarias de Perú*, 28(3), 549-561. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i3.13362>