

ACIDO FERÚLICO EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y METABOLITOS URINARIOS EN BECERROS DESTETADOS

Ferulic acid on productive performance and urinary metabolites of weaned calves

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Jaime Galindo-Rentería ¹

Humberto González-Ríos ²

Luz Vázquez-Moreno ³

Maria Del Refugio Robles-Burgueño ⁴

Araceli Pinelli-Saavedra ⁵

Recibido: 31 / 08 / 2021

Aceptado: 03 / 11 / 2021

Publicado: 09 / 11 / 2021

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i30.173>

Autor de Correspondencia:

Araceli Pinelli-Saavedra

Correo: pinelli@ciad.mx

Resumen

El objetivo de este estudio piloto fue evaluar el efecto de ácido ferúlico (AF) sobre el comportamiento productivo y metabolitos en orina en becerros de destete precoz. Veintinueve becerros fueron distribuidos aleatoriamente en 4 corrales (2 corrales por tratamiento). Los tratamientos: control y AF (10 ppm kg⁻¹ peso vivo) por 30 días. Se registraron los pesos de los animales, se colectaron muestras de orina, al inicio y final de la suplementación y el consumo de alimento se registró diariamente. Se determinaron los metabolitos en orina por HPLC-DAD. No se encontraron efectos en el comportamiento productivo ($p > 0.05$). No se encontró presencia de AF, trans-isoferúlico ni de sus conjugados en la orina, solo la excreción de ácido hipúrico (AH) aumentó en el grupo suplementado con AF (282.97 µg mL⁻¹) respecto al grupo control (133 µg mL⁻¹). Los resultados sugieren que AF podría ser excretado como AH.

Palabras clave: ácido ferúlico, destete precoz, producción bovina.

Abstract

This pilot study aimed to evaluate the effect of ferulic acid (FA) supplementation on the productive performance and some of its metabolites in the urine of early weaning calves. Twenty nine calves were randomly distributed in 4 pens (2 pens per treatment). Treatments: control and FA (10 ppm kg⁻¹ live weight) for 30 days. Animal weights were recorded, urine samples were collected at the beginning and end of supplementation, and recorded feed intake daily. The excretion of metabolites in urine was determined by HPLC-DAD. FA did not show an effect on productive performance ($p > 0.05$). It was not found the presence of AF, trans-isoferulic, or its conjugated in the urine; only excretion of hippuric acid (AH) increased in the group supplemented with AF (282.97 µg mL⁻¹) compared to the control group (133 µg mL⁻¹). The results suggest that FA could be excreted as HA.

Keywords: ferulic acid, early weaning, bovine production.

¹ Maestría, Coordinación de Nutrición, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México, greteriaj@gmail.com.

² Doctorado, Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México, hugory@ciad.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7463-778X>.

³ Doctorado, Coordinación de Ciencias de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México, lvazquez@ciad.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8953-3756>

⁴ Maestría, Coordinación de Ciencias de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México, cuquis@ciad.mx, <https://orcid.org/0000-0001-7598-9763>

⁵ Doctorado, Coordinación de Nutrición, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México, pinelli@ciad.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1487-5767>.



INTRODUCCIÓN

El destete precoz es una estrategia que favorece mantener la condición corporal de las vacas. Sin embargo, tiene la desventaja que los becerros destetados precozmente (30-90 días de edad) no cubren sus requerimientos diarios con el pastoreo, por lo que se recurre a proveerlos con suplementos complementarios que cubran sus requerimientos nutricionales mínimos [1], [2].

Por otro lado, en la producción animal se utilizan algunos promotores del crecimiento para aumentar la ganancia de peso, mejorar la conversión de alimento y la calidad de la carne en diferentes etapas del crecimiento del bovino, pero principalmente en la etapa de finalización en corral [3]. Tal es el caso del uso de compuestos β -agonistas en la etapa de finalización para mejorar los parámetros productivos y de calidad de la carne. Sin embargo, actualmente, en mercados internacionales se han implementado normativas legales sobre el uso de β -agonistas en bovinos por lo que se ha hecho necesario el investigar alternativas que puedan sustituirlos [4].

Dentro de estas alternativas se está investigando al ácido ferúlico (AF), un compuesto fenólico que se encuentra principalmente unido a polisacáridos de los tejidos vegetales, y se ha demostrado que tiene un efecto promotor de crecimiento en etapas de finalización en cerdos, borregos y ganado bovino [5-8]. Sin embargo, este efecto no ha sido evaluado en etapas tempranas del crecimiento de bovinos, por ejemplo, en becerros de destete precoz.

Además, estudios encontrados con respecto a la digestión y metabolismo del AF son escasos, en su mayoría realizados en ratas y pocos en rumiantes, donde básicamente se relacionan con la cinética de excreción del compuesto. El mecanismo por el cual el AF es metabolizado aún no se ha determinado en monogástricos [9-12]. Sin embargo, en rumiantes se han propuesto diversas rutas



de conjugación en el hígado que incluyen la formación de glucuronidos, sulfatación y asociación a ácidos benzoicos [13].

Por lo tanto, debido a la carencia de información del efecto de AF en becerros de destete precoz, el presente estudio piloto evaluó el efecto de la suplementación del AF en el desempeño productivo y en los metabolitos en orina de los becerros en esta etapa de desarrollo bajo condiciones comerciales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño experimental

El trabajo experimental se llevó a cabo en las instalaciones y corrales del Rancho "La Porcheña", localizado a una altitud de 449 m sobre el nivel del mar, latitud 28° 58' 31.44" N y longitud 109° 23' 55.17" W [14]. Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en los laboratorios de Análisis Instrumental, Análisis de Alimentos, y en el laboratorio de la Plataforma de Análisis Instrumental del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A.C.).

Se utilizaron 29 becerros machos, destetados de manera precoz (90 ± 10 días de edad) para ser preparados para su venta. Los animales fueron de cruza comerciales con influencia racial $\frac{3}{4}$ de *Bos taurus* (beefmaster y simmbra), los cuales se distribuyeron al azar en 4 corrales, tres de ellos con 7 animales y uno con 8. Todos los procedimientos relacionados con el manejo de animales se realizaron dentro de las pautas oficiales mexicanas para el cuidado de animales que corresponden a la Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995 para el trato humanitario en la movilización de animales [15], que involucran el manejo de animales y el cuidado de éstos. Los tratamientos consistieron en un grupo control y un grupo suplementado con AF (Wakax Laboratorios MINKAB, S.A de CV, Guadalajara





Jal, México), y fueron asignados completamente al azar a dos corrales por tratamiento. Los corrales tuvieron una dimensión 25 x 15 m, para alojar 7-8 animales, con área de sombreado en cada corral, con comederos y bebederos amplios. El agua fue proporcionada *ad libitum*

Dieta

Los animales del grupo control, fueron alimentados con la dieta basal formulada con base a lo recomendado por NRC [16] y a los animales del grupo suplementado, se les alimentó con la dieta basal + 1mg AF kg⁻¹ de peso vivo. El AF se agregó diariamente espolvoreando a la dieta en el momento de ofrecer la porción de alimento por la mañana, con el fin de asegurar que todos los animales lo consumieran. El alimento fue proporcionado con 20 % adicional al consumo estimado para al peso del animal y así asegurar rechazo de alimento.

Los animales fueron alimentados con una dieta de adaptación al sistema intensivo por 8 días, la cual tenía una relación forraje:concentrado de 70:30 y fue ofrecida *ad libitum*. El forraje fue una combinación de alfalfa y tazol de sorgo.

La Tabla 1 muestra la formulación de la dieta utilizada en el periodo experimental, con una relación forraje:concentrado 40:60 respectivamente y se formuló para proveer 0.97 Mcal de energía neta de ganancia/ de alimento y 18.6 % de proteína cruda. En la misma tabla se muestra el análisis de la composición proximal de la dieta, utilizando para ello los métodos oficiales especificados en

AOAC [17]. El análisis de la dieta cumple con los valores de proteína y energía esperados de la formulación y con los requerimientos de NRC [16]. Durante la etapa de experimentación la dieta fue proporcionada *ad libitum* durante 30 días.

Tabla 1. Ingredientes (kg ton⁻¹) y composición química (%) de la dieta formulada, para becerros destetados precozmente.

Ingredientes	(kg ton ⁻¹)
Alfalfa deshidratada	300
Paja de sorgo deshidratada	100
Harinolina	150
Maíz quebrado	320
Melaza	40
Pasta de Soya	80
Sal	5
Premix*premezcla minerales	5
Composición calculada (%)	
Materia seca	88.06
Proteína cruda	18.62
Energía Metabolizable Neta de Ganancia (Mcal/kg)	0.97
Composición analizada (%)	
Materia seca	86.06
Proteína cruda	18.60
Grasas totales	3.95
Cenizas	8.70
Energía Metabolizable Neta de Ganancia (Mcal/kg)	0.89

* **Premezcla Minerales:** VIMIFOS® (Mezcla balanceada de minerales: Calcio, Fósforo, Potasio, Sodio, Cloro, Azufre, Hierro, Zinc, Yodo, Magnesio, Cobre)





Comportamiento productivo

Los becerros fueron pesados individualmente al inicio y final del periodo experimental en una báscula Revuelta® (Torreón, Coahuila, México). La ganancia diaria de peso se obtuvo mediante la diferencia entre el peso final y el inicial, divididos entre los días de experimentación (30 días). El consumo de alimento diario en los becerros se determinó por diferencia entre el peso del alimento ofrecido y el rechazado. La conversión de alimento se calculó dividiendo el consumo de alimento promedio diario entre la ganancia de peso promedio diaria para cada uno de los corrales.

Recolección de muestras orina

Las muestras de orina fueron recolectadas en cinco animales en estado basal (inicio del experimento) de los 4 corrales y a los 30 días de experimentación, a la misma hora, se recolectaron orina de dos animales para el grupo control uno por corral, y de 4 animales para el grupo suplementado dos por corral, debido a que el sistema de producción no fue modificado, esto condicionó el número de muestra. La toma de muestra final se realizó entre las 8 y 9 h después de la suplementación con AF. La obtención de la muestra de orina se hizo estimulando los músculos que circundan el área genital utilizando un recipiente de plástico, posteriormente la orina fue filtrada usando discos Durapore® con tamaño de membrana de 0.22 μm y transferida a tubos criogénicos. Las muestras de orina



fueron transportadas en recipientes con hielo a las instalaciones de CIAD y se congelaron a -70°C para su posterior análisis.

Determinaciones de metabolitos en orina

En el análisis por HPLC-DAD se utilizó un sistema cromatográfico de alta resolución Agilent de la Serie 1100 conformado por un degasificador, bomba cuaternaria, auto muestreador y un detector de arreglo de diodos. La columna utilizada fue Supelco Nucleosil C18 (4.6 x 150 mm x 5 μm) [18]. Para la identificación y cuantificación de los compuestos fenólicos se utilizaron estándares de AF, ácido trans-isoferúlico y ácido hipúrico (AH) de la marca comercial Sigma-Aldrich® (USA).

La cuantificación de los compuestos identificados se llevó a cabo utilizando curvas estándar de: 20.36 a 2036 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para ácido hipúrico; de 2 a 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para ácido ferúlico y de 1.96 a 98 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para ácido trans-isoferúlico. La identificación de los compuestos en la orina fue confirmada por análisis de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en un cromatógrafo de líquidos de ultra alta presión asociado a un cuadrupolo tiempo de vuelo (UHPL-QTOF) Agilent 6530, con una columna Supelco Nucleosil C18 4.6 x 150 mm x 5 μm . Se utilizaron los mismos estándares mencionados anteriormente. Los compuestos fueron confirmados por el tiempo de retención y masa exacta.

Análisis estadísticos

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño completamente al azar, donde el factor principal fue el efecto de los tratamientos experimentales. Para comportamiento productivo la unidad experimental fue el corral. Las significancias fueron consideradas a una ($p < 0.05$) en el error tipo I. Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS versión 2007 [19]. Los datos de metabolitos en la orina se reportaron las medias de los grupos y en forma observacional, ya que no se modificó el sistema de producción y esto condicionó el número de muestra y limitándolo para realizar un análisis estadístico más amplio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra los resultados del comportamiento productivo que se obtuvieron de los becerros destetados precozmente en los 30 días de alimentación intensiva.

Tabla 2. Comportamiento productivo de becerros destetados precozmente suplementados con AF.

Variable	TRATAMIENTOS		
	Control	AF	Significancia
Peso inicial (kg)	128.53 ± 6.19	131.14 ± 6.41	NS
Peso final (kg)	166.63 ± 7.96	173.03 ± 8.23	NS
Ganancia diaria de peso (kg)	1.29 ± 0.07	1.41 ± 0.07	NS
Consumo diario de alimento (kg)	5.77 ± 0.11	5.94 ± 0.11	NS
Conversión de alimento	4.54 ± 0.13	4.27 ± 0.13	NS

Los datos representan la media ± el error estándar en kg. Animales: control n=15/ n=14 ácido ferúlico (AF); NS: no significativo ($P \geq 0.05$).

El peso inicial de los becerros destetados estuvo dentro del intervalo rango de 93.5 y 189 kg donde la media de los tratamientos fue de 128.5 ± 6.19 kg para el control y de 131.15 ± 6.41 kg para el grupo suplementado. No se presentaron diferencias ($p \geq 0.05$) entre el peso inicial de los tratamientos, lo que indica que los animales fueron correctamente aleatorizados desde el inicio de la prueba. El peso final se mantuvo con una media de 166.6 ± 7.96 kg en el tratamiento control y 173 ± 8.23 kg en el tratamiento con AF. Los becerros suplementados con AF incrementaron su peso final en un 10 % respecto al grupo control, aunque este efecto no fue significativo ($p \geq 0.05$). Tampoco se encontró efecto significativo ($p \geq 0.05$) en la ganancia diaria de peso, en el consumo





de alimento y en la conversión alimenticia del grupo de animales suplementado con AF respecto al grupo control. En relación a la conversión alimenticia, considerada un parámetro importante del comportamiento productivo porque relaciona la ganancia de peso con el consumo, los becerros suplementados mostraron conversión 9.4 % menor que el tratamiento control. Esto se traduce en que los becerros suplementados requirieron 9.4 % menos alimento para ganar 1 kg de peso, lo cual es una mejora desde el punto de vista productivo por el impacto que representa en la disminución de los costos y del tiempo de alimentación de los animales, aumentando el margen de ganancia.

Con respecto a la respuesta del AF sobre el desempeño productivo en rumiantes existen pocos reportes. Soberón *et al.* (2012) [11] llevaron un periodo de suplementación de solo 5 días, periodo muy corto para presentar efectos en parámetros productivos como la ganancia de peso y la conversión alimentaria y en etapa de finalización. Otros autores realizaron sus estudios en etapa finalización, sin embargo, en diferente especie y un periodo de suplementación similar (30-34 días) [6],[7]. Macías-Cruz *et al.* (2014) [7] suplementaron corderos con 10 ppm de AF por 34 días, sin embargo, el AF no mostró tener efectos en ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y consumo de alimento. En cuanto al estudio de Peña-Torres (2014) [6] solo encontró efecto ($p < 0.05$) en ganancia diaria de peso en vaquillas suplementadas con 10 ppm de AF pero no mostró efecto ($p \geq 0.05$) sobre el consumo y conversión alimenticia. De tal manera que los parámetros productivos reportados no presentaron diferencias consistentes al término de la alimentación, coincidiendo sus resultados con los del presente estudio. Es importante considerar que, en etapas tempranas del crecimiento, los becerros tienden a desarrollar la forma y la estructura ósea, dando como resultado un crecimiento muy acelerado, mientras que en la etapa de finalización los animales incrementan principalmente el desarrollo de músculo y deposición de grasa [20]. Debido a los pocos reportes y diferencias en

condiciones experimentales en las que se han realizado, es que se requiere de mayor investigación de los posibles impactos del AF en las diferentes etapas de producción y especies utilizadas.

La presencia de los metabolitos del AF en orina evaluados fueron el ácido ferúlico, trans-isoferúlico y el ácido hipúrico. No se encontró la presencia de ácido ferúlico ni de su conjugado trans-isoferúlico en las muestras analizadas a pesar de la sensibilidad del método y del periodo de suplementación (30 días). Estos resultados contrastan con otro estudio, donde se encontró AF en su forma libre en la orina de borregos 5 h después de la administración de 3, 6, y 9 g de AF día⁻¹. De ahí que, las diferencias entre los resultados pueden deberse a la dosis administrada (10 mg kg⁻¹ de peso vivo vs 3, 6, 9 día⁻¹), así como al tiempo transcurrido entre la administración y la toma de muestra (8-9 h vs 5 h) donde ambos factores tienen un efecto sobre la excreción y la velocidad de desaparición del AF en orina [11].

En estudios llevados a cabo en ratas, el AF administrado de manera oral no es detectable después de los 30 min de su administración, demostrando que el ácido ferúlico tiene una tasa de desaparición muy rápida y un periodo de vida media muy corto en un organismo monogástrico [21]. Por otra parte, la cinética del AF en el organismo de rumiantes fue analizada en vacas lecheras, donde observaron que el AF incrementa la excreción en orina 45 min después de la dosificación y que a partir de las 2.5 h los niveles disminuyeron hasta llegar a los normales en un plazo máximo de 13 h. Esto bajo condiciones experimentales, de dosis altas de AF y un periodo corto [12]. Los resultados mencionados contrastan con los obtenidos en el presente estudio, donde 9 h después de la dosis los compuestos (AF y ácido trans-isoferúlico) no estaban presentes en la orina de los becerros suplementados por treinta días con 10 ppm AF y bajo condiciones comerciales.





En cuanto al ácido hipúrico (AH), las medias de los niveles detectados y cuantificados al inicio (día cero) y final (día treinta) en las muestras de orina de los becerros destetados precozmente del grupo control se muestran en la Figura 1. La media de las concentraciones en los animales al inicio de la alimentación presentó valores superiores a $400 \mu\text{g mL}^{-1}$ cuando los animales eran alimentados con la dieta de adaptación (70 % forraje). En la misma figura se presenta la media de las concentraciones de AH después de 30 días con la dieta experimental (40% forraje) donde estos valores disminuyeron a $133 \mu\text{g mL}^{-1}$ se observa que los animales que estaban siendo alimentados con mayor proporción de forraje excretaban más AH en la orina que los animales con una dieta con baja proporción de forraje, sugiriendo que existe una relación entre la cantidad de forraje y la excreción de AH en la orina.

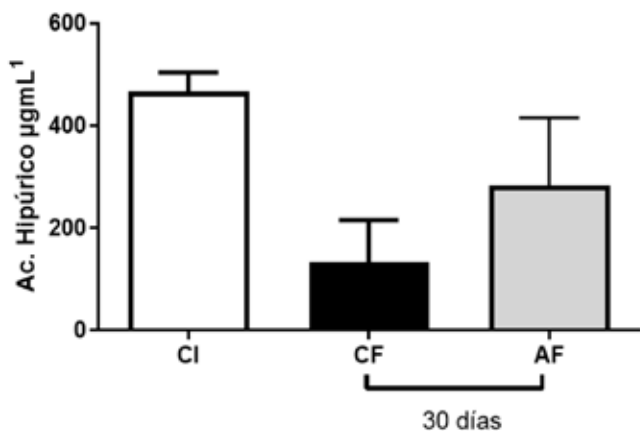


Figura 1. Concentraciones de ácido hipúrico en la orina de becerros destetados precozmente del grupo control inicial (día 0) N= 5, control final (día 30) N= 2 y grupo suplementado con ácido ferúlico (1 mg kg^{-1} peso vivo/día) (N= 4).

Estos cambios en la concentración de ácido hipúrico en la orina de rumiantes pudieran estar asociados con la madurez y proporción de los forrajes de la dieta, ya que los pastos presentan una menor cantidad de compuestos fenólicos a medida que maduran, mientras que aumenta las concentraciones de lignina provocando que disminuya la solubilidad, degradabilidad y disponibilidad de los compuestos fenólicos y sugiere así que disminuye la formación y excreción de AH [22], [23]. Estos reportes coinciden con lo sucedido en los becerros utilizados en este estudio, que se les formuló una dieta la cual contenía 40 % de forraje deshidratado, dando como resultado que la producción de AH disminuyó debido a la proporción de forraje en la dieta y la poca disponibilidad de los compuestos fenólicos.

Por otro lado, es importante hacer notar que los animales cuando fueron suplementados con AF durante el periodo de alimentación intensiva (40:60 forraje: concentrado) revirtieron la respuesta y se encontró mayor excreción de AH en la orina en comparación a los becerros



del grupo control (Figura 1). También se observa que los animales suplementados con AF presentan niveles de excreción de ácido hipúrico en orina superiores ($282.97 \mu\text{g mL}^{-1}$) con respecto a los animales del grupo control ($133.0 \mu\text{g mL}^{-1}$), lo cual siendo el AF un compuesto fenólico con un anillo aromático y a su vez siendo un precursor del ácido 3-fenilpropiónico, podría incrementar la excreción del ácido hipúrico en la orina de los rumiantes. Estas observaciones indican que el ácido ferúlico suplementado en la dieta aumenta la producción de AH y este metabolito sea una de las rutas en las que AF es metabolizado y excretado en los rumiantes como se ha reportado en otros trabajos [13], [22].

Como se mencionó anteriormente, la excreción de ácido hipúrico está directamente relacionada con la concentración de ácidos fenólicos en la dieta. Sin embargo, la disponibilidad de estos compuestos fenólicos y la capacidad de los microorganismos del rumen para degradarlos tiene un papel importante en el metabolismo y excreción en forma de AH [24]. Por lo que, en el presente estudio, los animales a los que se les suplementó el AF libre en la dieta con proporciones bajas de forraje mostraron mayor excreción de AH, lo que apunta a la relación entre la cantidad y disponibilidad de los compuestos fenólicos en la dieta y la excreción de AH.

Por otro lado, que aumente la excreción de AH puede contribuir a la reducción, como inhibidor natural, de las emisiones de N_2O (óxido nitroso) con la manipulación de la dieta de los animales lo cual se puede traducir en beneficios en la reducción de la contaminación ambiental derivada de la producción de ganado [25-27].

CONCLUSIONES

Nuestros resultados preliminares, en este estudio piloto mostraron que no hubo efecto en el comportamiento productivo. Por otro lado, a pesar de incluir un número bajo de animales se pudo observar que las concentraciones mayores de AH en la orina de los becerros del grupo suplementado con AF, confirma que el AF es metabolizado y excretado por medio de este compuesto. No se detectó la presencia de ácido ferúlico en su forma libre y trans-isoferúlico en la orina de becerros suplementados con AF. Por lo que, es necesario con base en estos datos preliminares continuar con la investigación de los posibles impactos del AF en las diferentes etapas de desarrollo y la cinética de los metabolitos evaluados sobre todo su relación con AH, metabolito relacionado con la reducción de emisiones NO_2 .

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al propietario del Rancho la Porcheña donde se realizó el trabajo experimental. Se agradece también CONACYT por la beca de posgrado otorgada a Jaime Galindo Rentería y a la Red CYTED 517RT0530 "Red Iberoamericana para la Mejora Productiva de Sistemas Silvopastorales" por el financiamiento parcial a este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Macedo y A. Alvarado, "Efecto de la época de monta sobre la productividad de ovejas pelibuey bajo dos sistemas de alimentación en Colima, México," *Arch. Zootec.* vol. 54, no. 205, pp. 51-62, 2005.
- [2] I. M. Brautigán, *Nutrición animal*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, 2007.
- [3] G. Bavera, O. Bocco, H. Beguet, and A. Petryna (2002). Promotores del crecimiento y modificadores del

- metabolismo, Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. Disponible: www.produccion-animal.com.ar.
- [4] Parlamento Europeo y el consejo de la Unión Europea (2003, sep 22). Directiva 2003/74/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003, que modifica la Directiva 96/22/CE del Consejo por la que se prohíbe utilizar determinadas sustancias de efecto hormonal y tireostático y sustancias β -agonistas en la cría de ganado. Disponible: <https://www.boe.es/doue/2003/262/L00017-00021.pdf>.
- [5] E. Graf, "Antioxidant potential of ferulic acid," *Free Radic Biology Med*, vol. 13, no. 4, pp. 435-448, 1992.
- [6] E. F. P. Torres, "Efecto de la suplementación de ácido ferúlico y ferulato de etilo en el comportamiento productivo y calidad de la carne de bovinos," M.C. tesis, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México, 2014.
- [7] U. Macías-Cruz, S. Perard, R. Vicente, F. Álvarez, N. Torrentera-Olivera, H. González-Ríos, *et al.*, "Effects of free ferulic acid on productive performance, blood metabolites, and carcass characteristics of feedlot finishing ewe lambs," *J Animal Sci*, vol. 92, no. 12, pp. 5762-5768, 2014.
- [8] J. A. G. Noriega, "Efecto de la suplementación dietaria de ácido ferúlico en el comportamiento productivo, calidad de la canal y carne de cerdo," M.C. tesis, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México, 2016.
- [9] Z. Zhao, Y. Egashira, and H. Sanada, "Ferulic acid is quickly absorbed from rat stomach as the free form and then conjugated mainly in liver," *J Nutrit*, vol. 134, no. 11, pp. 3083-3088, 2004.
- [10] Z. Zhao, Y. Egashira, and H. Sanada, "Digestion and absorption of ferulic acid sugar esters in rat gastrointestinal tract," *J Agric Food Chem*, vol. 51, no. 18, pp. 5534-5539, 2003.
- [11] M. Soberon, D. Cherney, and J. Cherney, "Free ferulic acid uptake in ram lambs," *J Anim Sci*, vol. 90, no.6, pp. 1885-1891, 2012.
- [12] M. Soberon, J. Cherney, R. Liu, D. Ross, and D. Cherney, "Free ferulic acid uptake in lactating cows," *J Dairy Sci*, vol. 95, no. 11, pp. 6563-6570, 2012.
- [13] A. Chesson, G. J. Provan, W. R. Russell, L. Scobbie, A. J. Richardson, and C. Stewart, "Hydroxycinnamic acids in the digestive tract of livestock and humans," *J Sci Food Agric*, vol. 79, no.3, pp. 373-378, 1999.
- [14] INEGI (2014). Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Censo Agropecuario en Sonora del Ganado Bovino. México. Disponible: <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>.
- [15] SAGARPA (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-EM-051-ZOO-1995. Trato humanitario en la movilización de animales. México. Disponible: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/pestudios/apuntesbioet/051zoo_movilizacion.pdf.
- [16] National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th Ed. Washington, DC: National academy Press, 2016.
- [17] Association of Official Analytical Chemists. *Official methods analysis*. 18th Ed. Washington, 2005, pp. 24-44.
- [18] A. Fardet, R. Llorach, A. Orsoni, J.-F. Martin, E. Pujos-Guillot, C. Lapiere, *et al.*, "Metabolomics provide new insight on the metabolism of dietary phytochemicals in rats," *The Journal of nutrition*, vol. 138, pp. 1282-1287, 2008.
- [19] J. Hintze (2007). NCSS and PASS number crucher statistical systems. Disponible: <http://www.ncss.com>.
- [20] G. Bavera, O. Bocco, H. Beguet, and A. Petryna (2005). Crecimiento, desarrollo y precocidad, Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. Disponible: www.produccion-animal.com.ar.
- [21] Z. Zhao, Y. Egashira, and H. Sanada, "Ferulic acid sugar esters are recovered in rat plasma and urine mainly as the sulfoglucuronide of ferulic acid," *J Nutrit*, vol. 133, no. 5, pp. 1355-1361, 2003.
- [22] A. Martin, "The origin of urinary aromatic compounds excreted by ruminants 2. The metabolism of phenolic cinnamic acids to benzoic acid," *Br J Nutr*, vol. 47, no.1, pp. 155-164, 1982.
- [23] S. Kehraus, K. Sudekum, and E. Pfeiffer, "Factors affecting the excretion of nitrogen containing compounds in the urine of ruminants," *Übers Tierernährg*, vol. 34, no. 2, pp. 125-164, 2006.
- [24] J. Dijkstra, O. Oenema, J. Van Groenigen, J. Spek, A. Van Vuuren, and A. Bannink, "Diet effects on urine composition of cattle and N2O emissions," *Animal*, vol. 7, no. s2, pp. 292-302, 2013.
- [25] J.-J. Her and J.-S. Huang, "Influences of carbon source and C/N ratio on nitrate/nitrite denitrification and carbon breakthrough," *Bioresour Technol*, vol. 54, no.1, pp. 45-51, 1995.
- [26] J. W. van Groenigen, V. Palermo, D. M. Kool, and P. J. Kuikman, "Inhibition of denitrification and N2O emission by urine-derived benzoic and hippuric acid," *Soil Biol Biochem*, vol. 38, no.8, pp. 2499-2502, 2006.
- [27] D. M. Kool, E. Hoffland, E. W. Hummelink, and J. W. Van Groenigen, "Increased hippuric acid content of urine can reduce soil N2O fluxes," *Soil Biol Biochem*, vol. 38, no.5, pp. 1021-1027, 2006.

Cómo citar este artículo:

Pinelli Saavedra, A., Galindo-Rentería, J., González-Ríos, H., Vázquez-Moreno, L., & Robles-Burgueño, M. D. R. *Acido ferúlico en el comportamiento productivo y metabolitos urinarios en becerros destetados: Acido Ferúlico en becerros destetados precozmente -Estudio Piloto. EPISTEMUS*, 15(30). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i30.173>

