

Microbioma ruminal y respuesta productiva de borregos alimentados con harina de caparazón de camarón

Ruminal microbiome and productive response of lambs fed shrimp shell meal

Alejandro Ley-de Coss¹ , Jonathan Morales Aguilar² , Oziel Dante Montañez-Valdez³ ,
Ricardo Vicente Pérez⁴ , Cándido Enrique Guerra-Medina^{5*} 

¹Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V. UNACH. Carretera Ocozocoautla Villaflores. CP. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

²Estudiante graduado Carrera de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agronómicas; Campus V. UNACH. Carretera Ocozocoautla Villaflores. CP. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur. Av. Enrique Arreola Silva No. 883. CP. 49000. Ciudad Guzmán, Jalisco, México.

⁴Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. CP. 48900. Autlán de Navarro, Jalisco, México.

⁵Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental Rosario Izapa. CP. 30890. Tuxtla Chico, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia: eguerranutricion@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 29 de febrero 2024

Aceptado: 19 de abril 2024

RESUMEN. La industria pesquera genera subproductos que al acumularse causan problemas de contaminación ambiental; sin embargo, podrían ser una fuente de nutrientes para ruminantes. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta sobre el microbioma ruminal, la digestibilidad aparente y productividad de borregos Katahdin alimentados con diferentes niveles de harina de caparazón de camarón (HCC). Cuatro borregos machos con peso vivo de 22 ± 2.5 kg fueron asignados en un diseño cuadrado latino (4 animales x 4 tratamientos) repetido. Los animales fueron asignados durante 16 días por periodo a dietas con 0, 5, 10 y 20 g 100 g⁻¹ de MS de HCC, los tratamientos fueron: HCC0, HCC5, HCC10 y HCC20, respectivamente. La mayor ganancia diaria de peso se tuvo en los animales del tratamiento HCC5 ($P \leq 0.05$). Sin embargo, el mayor consumo de materia seca se observó en los animales con la dieta HCC20 ($P \leq 0.05$). En la digestibilidad aparente de la materia seca no hubo diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$), ni en la concentración de bacterias totales ($P > 0.05$), mientras que la concentración de bacterias celulolíticas y de bacterias degradadoras de quitina, fue mayor en los animales del tratamiento con HCC20 ($P \leq 0.05$). Los resultados indican una adaptación del microbioma ruminal a dosis altas de HCC, por tanto, se puede usar HCC en dietas para borregos sin efecto en el metabolismo y microbiana ruminal, la digestibilidad de los nutrientes y en el desempeño de los animales. **Palabras clave:** Nutrición, microbiología, ovinos, quitina, subproductos.

ABSTRACT. The fishing industry produces byproducts that accumulate and cause environmental pollution problems; however, could be used as an alternative source of nutrients in ruminants. The objective of the present study was to evaluate the response over ruminal microbiome, apparent digestibility and productivity of Katahdin lambs fed different levels of shrimp shell meal (HCC). Four male lambs with live weight of 22 ± 2.5 kg were assigned in a repeated Latin square design (4 animals x 4 treatments). The animals were assigned for 16 days per period to diets with 0, 5, 10 and 20 g 100 g DM of HCC, the treatments were: HCC0, HCC5, HCC10 and HCC20, respectively. The greatest daily weight gain was found in the HCC5 treatment ($P \leq 0.05$). However, the highest dry matter intake was observed in animals with the HCC20 diet ($P \leq 0.05$). In the apparent digestibility of the dry matter there was no difference between treatments ($P > 0.05$), neither in the concentration of total bacteria ($P > 0.05$), while the concentration of cellulolytic bacteria and chitin-degrading bacteria was higher in the animals from HCC20 treatment ($P \leq 0.05$). The results indicate an adaptation of the ruminal microbiome to high doses of HCC, therefore, HCC can be used in diets for sheep without effect on rumen metabolism and microbial, nutrient digestibility and animal performance.

Keywords: Nutrition, microbiology, sheep, chitin, byproducts.

Como citar: Ley-de Coss A, Morales Aguilar J, Montañez-Valdez OD, Vicente Pérez R, Guerra-Medina CE (2024) Microbioma ruminal y respuesta productiva de borregos alimentados con harina de caparazón de camarón. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(2): e4025. DOI: 10.19136/era.a11n2.4025.

INTRODUCCIÓN

El costo de las fuentes de proteína para la nutrición animal como la pasta de soya y pasta de canola, han incrementado de manera constante en los últimos 15 años, y la tendencia mundial es que su costo continúe aumentando (CONAFAB 2020); ante esta situación es necesario buscar fuentes alternas de proteína de menor costo para la alimentación animal. La industria pesquera genera desechos de mariscos que son fuente de contaminación ambiental, entre ellos los de camarón, que se compone por exoesqueleto, cabeza y cola, representa entre 48 y 60% del peso total (Pattanaik *et al.* 2020). En México la producción de camarón fue de 227 000 toneladas en 2017 y la producción de desechos se estima en más de 100 000 toneladas (FAO 2018). Los desechos de camarón tienen entre 35 a 50% de proteína, 15 a 20% de quitina, 10 a 15% de minerales, 2 a 7% de lípidos y 1 a 5% de carotenoides como la axantina (Hamed *et al.* 2016), la proteína contiene aminoácidos esenciales entre ellos valina, isoleucina, treonina, serina, triptófano, histidina (Mao *et al.* 2017).

Una forma de aprovechamiento sostenible de este residuo, es utilizarlo como ingrediente para la alimentación de rumiantes (Ferraz de Arruda *et al.* 2007), además del aporte de proteína, la quitina al desacetilarse produce quitosano, que es un polímero de carbohidrato con mayor potencial de degradación y propiedades antimicrobianas contra bacterias, mohos y levaduras (Cobos *et al.* 2007, Belanche *et al.* 2015). La desacetilación del quitosano aumenta su solubilidad (Rhoades y Roller 2000), se ha reportado que el quitosano insoluble (2 g L^{-1}) no tuvo efecto sobre la fermentación ruminal y la producción de gases *in vitro*; mientras que, el quitosano soluble cambió la fermentación hacia una mayor producción de propionato y menor producción de gas metano (Belanche *et al.* 2015), indicando mayor degradación ruminal, con la posibilidad de utilizarse como fuente de energía por los rumiantes, por la capacidad de adaptación metabólica de diversas especies microbianas del rumen para la degradación de compuestos estructurales (Castillo *et al.* 2019), y el aporte de proteína (Pattanaik *et al.* 2020). El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes niveles de harina de caparazón de camarón en la dieta de borregos Katahdin, sobre el crecimiento de las bacterias ruminales, la digestibilidad aparente de la materia seca y la respuesta productiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó de noviembre de 2021 a marzo de 2022 en la Unidad Metabólica y Laboratorio de Sanidad Agropecuaria del Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) “San Ramón” de la Facultad de Ciencias Agronómicas; Campus V de la Universidad Autónoma de Chiapas, en Villaflores, Chiapas ubicada entre las coordenadas $16^{\circ}27'59''$ LN y $93^{\circ}28'43''$ LO. El clima que predomina es cálido subhúmedo (AW1) (W)(i') g, con una precipitación pluvial media anual de 1 200 mm que se distribuyen de los meses de junio hasta noviembre, con temperatura promedio de 22°C y altitud de 591 m (CONAGUA 2021).

Animales y tratamientos

Cuatro borregos Katahdin machos enteros de 22 ± 2.5 kg de peso corporal (PC) fueron alojados en jaulas metabólicas elevadas acondicionadas con comederos y bebederos automáticos, previo al inicio de las pruebas los animales fueron desparasitados externamente con Fipronil 2% (1 mg kg^{-1} PV percutáneo) y albendazol oral (5 mg kg^{-1} PC). Los animales se asignaron de forma aleatoria a los siguientes tratamientos: control (sin HCC) HCC-0, HCC-5, HCC-10 y HCC-20 que equivalen a 50, 100 y 200 g kg^{-1} de HCC, respectivamente (Tabla 1). Las dietas evaluadas se formularon con base en los requerimientos nutricionales para ovinos del NRC (2007), para ganancias superiores a $150 \text{ g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Para ajustar las diferentes dietas al mismo nivel de proteína y energía, al incluir mayor cantidad de HCC, se disminuyó la harina de palmiste, aumentó la grasa de sobrepaso y rastrojo de maíz. Previo a la obtención de muestras y evaluación, los animales recibieron un periodo de adaptación de ocho días al cambio de dieta (tratamientos) correspondiente. El alimento se ofreció a libre acceso a las 07:00 y 16:00 h. La composición química de las dietas se determinó con los métodos de AOAC (2012) y la determinación de las fracciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de acuerdo con la técnica descrita por Van Soest *et al.* (1991).

Tabla 1. Ingredientes y composición química de las dietas con harina de caparazón de camarón para la engorda de borregos.

Ingredientes	HCC0	HCC5	HCC10	HCC20
	g por cada 100 g			
Maíz quebrado	46	46	46	45
Harina de palmiste	8	8	2	2
Pasta de soya	13	8	4	0
GSP ¹	3	3	4	4
Melaza	3	3	2	2
HCC ²	0	5	10	20
Rastrojo de maíz	25	25	30	25
Mezcla mineral ³	2	2	2	2
Total	100	100	100	100
Composición química	g por cada 100 g			
Proteína cruda (N x 6.25)	14.31	14.36	14.98	15.59
Fibra detergente ácido	29.10	31.62	30.13	29.14
Fibra detergente neutro	18.65	21.64	27.73	30.72

¹GSP: grasa de sobre paso; ²HCC: harina de caparazón de camarón; HCC0: dieta control (sin HCC); HCC5: dieta con 5% de HCC; HCC10: dieta con 10% de HCC y HCC20: dieta con 20% de HCC; ³Se, 300 ppm; Zn, 2 000 ppm; I, 20 ppm; Co, 20 ppm; Cr, 300 ppm; Cu, 100 ppm; Mn, 1 500 ppm; y Fe, 1 000 ppm.

Consumo y digestibilidad aparente de la materia seca (DaMS)

El consumo (CMS, kg día⁻¹) se midió de forma individual durante periodos de 16 días, ocho días para adaptar a los animales a la dieta y ocho para tomar muestras, para ello se calculó por diferencia entre el alimento ofrecido y rechazado cada día. La conversión alimenticia (CA) se calculó dividiendo el CMS entre la GDP. La DaMS se realizó con base a la técnica de cenizas insolubles en ácido clorhídrico diluido (CIA) propuesta por Van Keulen y Young (1977) y Curzaynz-Leyva *et al.* (2019). Para las pruebas se colectó a los seis, siete y ocho días del periodo experimental una muestra de 100 g de heces directamente del recto de los borregos, y 50 g de la dieta (tratamiento) ofrecida a cada animal. Las muestras de heces y de alimento fueron mezcladas y deshidratadas a 60 °C en una estufa de aire forzado, posteriormente fueron molidas en un molino Willey con criba de 1 mm y se almacenaron en recipientes de vidrio color ámbar para determinar, por triplicado el contenido de CIA, la DaMS de cada dieta experimental se estimó usando la fórmula: $DaMS = 100 - (100 \times [\% \text{ CIA en el alimento} / \% \text{ de CIA en heces}])$.

Ganancia diaria de peso (GDP)

Se determinó mediante el pesaje de los borregos prepancial a las 07:00 horas durante los ocho días de muestreo, por diferencia de peso de dos pesadas entre los días de evaluación, previo al cambio del periodo y dieta que recibieron los animales.

Variables microbiológicas

A todos los animales, dos horas después de la alimentación se les extrajo 50 mL líquido ruminal fresco (LRF) con una sonda vía esofágica a las 24, 48 y 72 h del periodo experimental, posteriormente se almacenó a 4 °C hasta su procesamiento en el Laboratorio de Sanidad Agropecuaria. Para las concentraciones de bacterias ruminales totales (BRT) y de bacterias celulolíticas (BC), por triplicado, 0.5 mL de LRF se inoculó en medio de cultivo anaerobio mediante la técnica descrita por Ley-de Coss *et al.* (2018) Los medios de cultivo anaerobio utilizados para BRT contenía: 0.06 g de D-(+)-glucosa + 0.06 g D-celobiosa + 0.06 g de almidón, 30 mL de líquido ruminal clarificado, 5.0 mL de solución mineral I [6 g K₂HPO₄ en 1 000 mL de H₂O], 5.0 mL de solución mineral II [6 g KH₂PO₄ + 6 g (NH₄)₂SO₄ + 12 g NaCl + 2.45 g MgSO₄ + 1.6 g CaCl₂·H₂O en 1 000 mL de H₂O], 2.0 mL de solución al 8 % de Na₂CO₃, 2,0 mL de solución sulfido-cisteína [2.5 g L-cisteína en 15 mL de 2N NaOH + 2.5 g Na₂S·9H₂O aforado en 100 mL de H₂O], 0.2 g de tripticasa peptona y 0.1 mL de solución al 0.1 % de resazurina, para el CBC se sustituyó la D-(+)-glucosa, D-celobiosa y el almidón por 0.2 g de celulosa cristalina como única fuente de energía (Ley-de Coss *et al.* 2023). El conteo de bacterias degradadoras de quitina (BDQ) se realizó en medio de cultivo anaerobio usando como única fuente de energía 30 mg de quitina hidratada (Cobos *et al.* 2007) mediante las técnicas de número más probable (NMP).

Diseño experimental y análisis estadístico

La prueba se realizó bajo un diseño cuadrado latino con repetición en el tiempo. Se utilizó un modelo Cuadro Latino 4 x 4, con 4 tratamientos (dosis de HCC), 4 periodos y 4 animales. Las variables de GDP, DaMS, CMS se analizaron usando PROC GLM (SAS 2011). El modelo estadístico incluyó el efecto del periodo, del animal y del tratamiento. Para las variables microbiológicas de BRT, BC y BDQ se usó el mismo modelo (PROC GLM) mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con

datos de rangos independientes (Wilcoxon), todas las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS

Ganancia diaria de peso, consumo de materia seca y digestibilidad aparente de la MS

El contenido de proteína en las dietas con 10 y 20% de HCC fue superior que la dieta control (Tabla 1), sin afectar las variables productivas, el CMS y la digestibilidad aparente. La mayor GDP ($P \leq 0.05$) se observó en los animales que consumieron las dietas HCC0 y HCC5 (Tabla 2); y entre los animales que consumieron las dietas HCC10 y HCC20, no hubo diferencia ($P > 0.05$). Se observó que la dieta con 20% de HCC no afectó el CMS en los animales, esto indica que las características organolépticas de la dieta por la presencia de HCC, no afectaron el consumo. En la DaMS no hubo diferencia ($P > 0.05$) entre los tratamientos evaluados (Tabla 3), ni en el pH ruminal ($P > 0.05$).

Tabla 2. Ganancia diaria de peso y consumo de materia seca de borregos alimentados con diferente nivel de harina de caparazón de camarón.

Tratamiento	Ganancia diaria de peso (g)	Consumo de materia seca (g)
HCC0	140 ^a	770 ^{ab}
HCC5	144 ^a	750 ^b
HCC10	108 ^b	752 ^b
HCC20	104 ^b	793 ^a
EEM	6.71	4.47
Pr > F	0.006	0.0013

a, b: Medias con diferente literal en la misma columna son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media. HCC0: dieta control (sin HCC); HCC5: dieta con 5% de HCC; HCC10: dieta con 10% de HCC y HCC20: dieta con 20% de HCC.

Variables microbiológicas

La concentración ruminal de BRT (Tabla 4) fue similar entre los tratamientos evaluados ($P > 0.05$), no se observó un efecto negativo sobre las BRT, debido a que el quitosano presenta actividad antibacteriana cuando el pH ruminal está por debajo de su pKa (6.3 a 6.5). Se observó que la población de BRT no fue alterada por la presencia de quitina en las dietas con HCC. Por otra parte, las BC tuvieron incremento significativo ($P \leq 0.05$) en los animales que recibieron la dieta con el 20% de HCC, en contraste el grupo de BDQ incrementó en los borregos alimentados con las dietas con 10 y 20% de HCC. El crecimiento de las BDQ aumentó a mayor HCC incluido en las dietas, lo anterior indica que el microbioma se adapta al tipo de substrato disponible.

Tabla 3. Digestibilidad aparente de la materia seca y pH del rumen en ovinos alimentados con dietas integrales con inclusión de harina de cáscara de camarón.

Tratamiento	Tiempo de incubación (h)		
	24	48	72
	Digestibilidad aparente de la materia seca (%)		
HCC0	52.6	57.2	75.6
HCC5	54.8	60.0	76.0
HCC10	53.8	58.1	74.2
HCC20	53.0	61.9	76.3
EEM	1.25	1.45	0.97
Pr > F	0.61	0.14	0.06
	pH del rumen		
HCC0	6.25	6.23	6.20
HCC5	6.17	6.33	6.22
HCC10	6.22	6.27	6.28
HCC20	6.23	6.30	6.35
EEM	0.17	0.19	0.24
Pr > F	0.58	0.65	0.72

No hubo diferencia estadística entre tratamientos (Tukey, $P > 0.05$); EEM: error estándar de la media.

DISCUSIÓN

Ganancias de peso, consumo de materia seca y digestibilidad aparente de la MS.

Al incluir 10 y 20% de HCC en las dietas, aumenta el contenido de proteína y disminuye la inclusión de pasta de soya; en el tratamiento HCC5, se disminuyó la inclusión de pasta de soya en 5% o 50 kg por tonelada al incluir 5% de HCC sin afectar la GDP, CMS (Tabla 2), la DaMS (Tabla 3) y el crecimiento de bacterias totales (Tabla 4); en el tratamiento HCC10, la inclusión de pasta de soya disminuyó de 13% en la dieta testigo a 4%, es decir 9%; mientras que en el tratamiento HCC20, se sustituyó el total de pasta de soya de la dieta (13%) por HCC, sin afectar el CMS, la DaMS y el crecimiento de bacterias totales, pero la GDP fue menor. Estos resultados indican que la HCC puede utilizarse en dietas para ovinos en engorda hasta en 5% sin afectar la GDP, de esta manera se recicla un subproducto como fuente de nutrientes para la alimentación de ovinos. En borregos alimentados con 20% de HCC en la dieta, la GDP observada en este estudio fue de 104 g animal⁻¹ día⁻¹, inferior a la reportada por Cobos *et al.* (2007), donde la GDP fue de 181 g animal⁻¹ día⁻¹ en borregos alimentados con 25% de HCC; las características organolépticas de la dieta al incluir 20% de HCC no afectaron el consumo de MS, pero la GDP de los animales fue menor. El CMS observado en los cuatro tratamientos fue menor a la reportada en estudios previos; en dietas integrales para ovinos en engorda con diferente nivel de inclusión de harina de alfalfa (HA), el CMS fue de 1 200 g por borrego día⁻¹ en la dieta sin HA y de 1 390 g por borrego día⁻¹ en la dieta con 40% de HA,

indicando que el mayor consumo pudiera ser por el menor contenido de energía en la dieta (Resendiz *et al.* 2013); en otro estudio, al incluir ensilado de pulpa de naranja (EPN) en dietas para ovinos en engorda, el CMS fue de 1 225 g por borrego día⁻¹ con la dieta sin EPN y de 902 por borrego día⁻¹ cuando se incluyó 50% de EPN (Velásquez *et al.* 2012), en este caso mencionan que el menor CMS fue por el mayor contenido de FDN de la dieta; y Salinas *et al.* (2013), observaron que al incluir pulido de arroz (PA) en la dieta, el CMS aumentó de 981 g por borrego día⁻¹ sin pulido de arroz, a 1 074 g por borrego día⁻¹ al incluir 22% de PA por la mayor degradabilidad ruminal de la dieta. En novillas en desarrollo se observó que el consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso disminuyeron cuando se les administro harina de cangrejo en la dieta (Vélez *et al.* 1991), esta reducción fue atribuida al rechazo por el sabor y olor que transfirió por la HC al alimento; sin embargo en vacas lactantes, la producción de leche aumentó (Zanferari *et al.* 2018); en novillos alimentados con quitosano se observó un aumento lineal en la digestibilidad de la MS, PC y FDN, sin afectar el CMS (Araujo *et al.* 2015). La digestibilidad aparente de la materia seca de las dietas fue similar; en estudios previos en ovejas, se observó que la digestibilidad de la materia seca y proteína cruda no se afectó al incluir diferentes niveles de harina de residuos de cangrejo (Nicholson *et al.* 1996).

Crecimiento de bacterias ruminales

Los ruminantes y el microbioma ruminal han mostrado capacidad para adaptarse al consumo de HCC; la degradación *in vitro* de la cáscara de camarón a 60 horas de incubación fue de 35.9% (Belanche *et al.* 2015, Vélez *et al.* 1991). Cuando se incluye HCC en la dieta de los ruminantes, la degradación de la quitina es un factor determinante para la disponibilidad de nutrientes en el tubo digestivo de los animales. Araujo *et al.* (2015) observaron un aumento lineal en la digestibilidad de la MS, la FDN y los niveles de ácido propiónico en rumen con la adición de quitosano, en dosis de 100 y 150 mg kg⁻¹ de PV; también se ha observado que mejora el metabolismo ruminal (Belanche *et al.* 2015) y la eficiencia energética al reducir la desaparición del alimento, sin afectar la producción de ácidos grasos volátiles (Goiri *et al.* 2009a, Goiri *et al.* 2009b).

No se observó un efecto negativo sobre las BRT (Tabla 4), debido a que el quitosano presenta actividad antibacteriana cuando el pH ruminal está por debajo de su pKa (Araujo *et al.* 2015); debido a las interacciones entre el quitosano policatiónico y las cargas electronegativas en las superficies microbianas (Sudarshan *et al.* 1992). Por otra parte, la población de BC tuvieron incremento significativo ($P \leq 0.05$) en los animales que recibieron la dieta con 20% de HCC; mientras que la población de BDQ incremento en los borregos alimentados con las dietas con 10 y 20% de HCC. Al respecto, Cobos *et al.* (2007) reportaron que la concentración de BDQ aumento cuando los animales consumieron la HCC después de 60 días de consumo, contrario a este estudio donde se observaron cambios en la población microbiana del rumen en periodos de 16 días de alimentación. El crecimiento de las BDQ estuvo determinado por el nivel de HCC en las dietas, a mayor porcentaje la concentración de BDQ aumentó; lo anterior indica una mayor tasa de degradación de quitina, y la habilidad del microbioma de adaptarse al tipo de sustrato en la dieta (Cobos *et al.* 2007).

Tabla 4. Efecto de la harina de caparazón de camarón sobre la concentración de bacterias presentes en rumen (por mL de líquido ruminal fresco).

HCC en la dieta (%)	Tiempo (h)			
	24	48	72	96
<i>Bacterias ruminales totales (10⁹ células por mL)</i>				
0	400	470	430	390
5	460	470	470	450
10	450	460	460	440
20	450	470	421	450
EEM	2.5	2.2	2.3	2.1
Pr > F	0.37	0.87	0.51	0.21
<i>Bacterias celulolíticas (10⁵ células por mL)</i>				
0	8.30	31.9 ^b	55.5 ^b	47.2 ^b
5	7.70	31.9 ^b	56.1 ^b	48.4 ^b
10	1.19	40.7 ^b	99.5 ^b	57.6 ^b
20	9.00	325 ^a	641 ^a	632 ^a
EEM	0.19	0.41	0.63	0.44
Pr > F	0.45	0.03	0.03	0.03
<i>Bacterias degradadoras de quitina (10⁸ células por mL)</i>				
0	34 ^c	35 ^c	35 ^c	1.8 ^c
5	382 ^b	450 ^b	617 ^b	335 ^b
10	3460 ^a	5040 ^a	6610 ^a	3150 ^a
20	4290 ^a	5240 ^a	7060 ^a	3630 ^a
EEM	1.45	2.66	2.87	2.42
Pr > F	0.0001	0.00015	0.0002	0.0001

a, b, c: Medias con diferente literal en una columna son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). 0, sin HCC; 5, con 5% de HCC; 10, con 10% de HCC y 20, con 20% de HCC. EEM: error estándar de la media.

CONCLUSIONES

El uso de harina de caparazón de camarón como ingrediente para dietas de borregos en niveles de 10 a 20% no alteran el CMS, ni la digestibilidad aparente de la MS, mientras que la GDP fue menor; sin embargo, al incluir 5% no se afectó la GDP. El aumento en la concentración de bacterias degradadora de celulosa y de quitina podrían indicar que es necesario mayores periodos de adaptación de los animales para obtener variables productivas más favorables. La harina de caparazón de camarón es un ingrediente alternativo para disminuir la inclusión de pasta de soya

hasta en 5% sin afectar la productividad de ovinos en engorda. Es necesario hacer un estudio de productividad en ovinos en engorda para evaluar los diferentes niveles de inclusión de HCC.

AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes de la Facultad de Ciencias Agronómicas; Campus V de la UNACH que colaboraron en el proyecto, al responsable técnico del proyecto: “Diseño y desarrollo de un Software para la formulación precisa de dietas nutricionales personalizadas para animales”. Al responsable del Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por atender la estancia del ahora Ing. Jonathan Morales Aguilar y por el apoyo en el análisis de las muestras y al Coordinador del Laboratorio de Sanidad Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agronómicas; Campus V de la UNACH, ubicado en el CUTT “San Ramón” en Villaflores, Chiapas, México.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- AOAC (2012) Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis 19th ed. In: AOAC International, Latimer GW (eds). Gaithersburg, Maryland, USA.
- Araujo APC, Venturelli BC, Santos MCB, Gardinal R, Cônsolo NRB, Calomeni GD, Freitas JE, Barletta RV, Gandra JR, Paiva PG, Rennó FP (2015) Chitosan affects total nutrient digestion and ruminal fermentation in Nellore steers. *Animal Feed Science and Technology* 206: 114–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.05.016>
- Belanche A, Ramos ME, Newbold JC (2015) *In vitro* screening of natural feed additives from crustaceans, diatoms, seaweeds and plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96: 3069–3078. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7481>
- Castillo LE, Domínguez OM (2019) Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10 (1): 120-148. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>
- Cobos MA, Pérez SM, Piloni MJ, Gonzáles SS, Barcena JR (2007) Evaluation of diets containing shrimp Shell waste and an inoculum of *Streptococcus milleri* on rumen bacteria and performance of lambs. *Animal Feed Science and Technology* 132 (3-4): 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.019>
- CONAFAB (2020) La industria alimentaria animal de México 2020. Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal, A. C. México. 100p.
- CONAGUA (2021) Información Estadística Climatológica. Comisión Nacional de Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/>. Fecha de consulta: 10 de octubre 2022.
- Curzaynz LKR, Bárcena GJR, Sánchez del RC, Escobar EJC, Rivas MMI, Santillán GEA, Portela DDF, Flores SEJ (2019) Effect of dried distillers grains (DDGS) on diet digestibility, growth performance, and carcass characteristics in Creole wool lambs fed finishing diets. *South African Journal of Animal Science* 49 (1): 56-62. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v49i1>
- FAO (2018) The state of world fisheries and aquaculture. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/I9540EN>. Fecha de consulta: 08 de diciembre de 2023.

- Ferraz-de-Arruda L, Borghesi R, Oetterer M (2007) Use of fish waste as silage - A review. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 50 (5): 879-886. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000500016>
- Goiri I, García RA, Oregui LM (2009a) Effect of chitosans on *in vitro* rumen digestion and fermentation of maize silage. *Animal Feed Science and Technology* 148: 276–287. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.04.007>
- Goiri I, García RA, Oregui LM (2009b) Effect of chitosan on mixed ruminal microorganism fermentation using the rumen simulation technique (Rusitec). *Animal Feed Science and Technology* 152: 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.04.005>
- Hamed I, Özogul F y Regenstein JM (2016) Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. *Trends in Food Science & Technology* 48(1): 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.007>
- Ley-de Coss A, Bárcena GJR, Guerra MCE, Montañez VOD, Pérez LS, Barrientos NE, Bran RAA, Escobar EJC (2023) Síntesis de proteína mediante la fermentación de la caña de azúcar adicionada con urea y un cultivo ácido láctico. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 34(1): e22993 <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i1.22993>.
- Ley-de Coss A, Guerra MCE, Montañez VO, Guevara HF, Pinto RR, Reyes GJ (2018) *In vitro* production of gas methane by tropical grasses. *Revista MVZ Córdoba* 23(3): 6788-6798. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1368>
- Mao X, Guo N, Sun J, Xue C (2017) Comprehensive utilization of shrimp waste based on biotechnological methods: A review, *Journal of Cleaner Production* 143: 814-23. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.042>
- Nicholson MJ, Hutcheson DP (1996) Fish meal and crab meal as protein sources for growing lambs. *Small Ruminant Research* 23(3): 207-213.
- NRC (2007) Nutrient requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids, and new world camelids (8th Edition). National Academies Press, Washington, DC, USA. pp. 159-160. <https://doi.org/10.17226/11654>
- Pattanaik SS, Sawant PB, Xavier KM, Dube K, Srivastava PP, Dhanabalan V, Chadha NK (2020) Characterization of carotenoprotein from different shrimp shell waste for possible use as supplementary nutritive feed ingredient in animal diets. *Aquaculture* 515(1): 734-594. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734594>
- Rhoades J, Roller S (2000) Antimicrobial actions of degraded and native chitosan against spoilage organisms in laboratory media and foods. *Applied and Environmental Microbiology Journal* 66 (1): 80–86. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.1.80-86.2000>
- Resendiz CV, Hernández O, Guerrero I, Gallegos J, Martínez PA, Sánchez C (2013) Engorda de corderos Pelibuey con diferente nivel de alfalfa en la dieta. *Archivos de Zootecnia* 62 (239): 457-467. <https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922013000300014>
- Salinas CJJ, Pérez JA, Rosales JA, Hernández EA, La OO (2013) Efecto de niveles crecientes de pulido de arroz en la degradabilidad ruminal de materia seca y comportamiento productivo de ovinos en engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 47 (4): <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193029815008>
- SAS (2011) Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1 112p.
- Sudarshan NR, Hoover DG, Knorr D (1992) Antibacterial action of chitosan. *Food Biotechnology* 6 (3): 257-272. <https://doi.org/10.1080/08905439209549838>
- Van-Keulen J, Young BA (1977) Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science* 44(2): 282–287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods of 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)
- Velásquez VR, Esquivel MU, Montero CL, Ku VJ (2012) Engorda de corderos Pelibuey con ensilaje de pulpa de naranja *Citrus sinensis* L. en jaulas elevadas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 5 (1): 67-71. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/127>
- Velez SA, Allen JC, Keery CM, Adkinson RW (1991) Evaluation of crab and crawfish waste meals as protein sources for growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 74(1): 234-242. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78165-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78165-4)
- Zanferari F, Vendramini THA, Rentas MF, Gardinal R, Calomeni GD, Mesquita LG, Takiya CS, Rennó FP (2018) Effects of chitosan and whole raw soybeans on ruminal fermentation and bacterial populations, and milk fatty acid profile in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101 (2): 10939-10952. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14675>