



UADY

POSGRADO
INSTITUCIONAL
EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y
MANEJO DE RECURSOS
NATURALES TROPICALES

**BALANCE DE NITRÓGENO EN CORDEROS DE PELO
INFECTADOS CON *Haemonchus contortus***

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR

Médico Veterinario Zootecnista

Eduardo Ramos Bruno

Directores:

Dr. Carlos Alfredo Sandoval Castro

Dr. Juan Felipe de Jesús Torres Acosta

Dr. Luis Armando Sarmiento Franco

Mérida, Yuc. México, julio de 2018



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

**COORDINACIÓN GENERAL
DEL SISTEMA DE POSGRADO,
INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN**

POSGRADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y MANEJO DE RECURSOS
NATURALES TROPICALES

**ALUMNO: MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
EDUARDO RAMOS BRUNO**

SÍNODO DEL EXAMEN DE TESIS DE GRADO

**DRA. LEYLA RÍOS DE ÁLVAREZ
CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ - COLOMBIA**

**DR. RONALD SANTOS RICALDE
CCBA-UADY**

**M. EN C. RAMÓN CÁMARA SARMIENTO
CCBA-UADY**

**DR. ARMÍN AYALA BURGOS
CCBA-UADY**

**DR. ANTONIO ORTEGA PACHECO
CCBA-UADY**

MÉRIDA, YUCATÁN, JULIO DEL 2018

DECLARACIÓN DEL AUTOR

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

Dedicatoria

A mi padre Eduardo Arturo y a mi madre Jovita, porque sin ellos no hubiera sido posible estar en la vida. Por enseñarme a ser mejor persona todos los días, por su amor incondicional.

A mis hermanos Arturo y Claudia porque no hay mejores amigos que un hermano. Por ser parte fundamental en mi vida.

A Zazil Sánchez, por compartir su vida conmigo, por impulsarme a ser mejor persona y profesional, por mirar juntos el cielo sin perder los pies de la tierra.

Agradecimientos

Doy gracias a mi padre Eduardo Arturo y mi madre Jovita por apoyarme a llegar hasta esta etapa de la vida y de mi carrera. Me siento afortunado de ser su hijo. Agradezco a mis hermanos, Arturo y Claudia, por mantenerme de buen ánimo y compartir alegrías y tristezas conmigo a lo largo de la vida.

A Zazil Sánchez por ser la chispa inicial en el universo de la investigación. Por acompañarme a dar la vuelta al mundo.

A mis amigos que fortalecieron mi formación personal y académica. Porque compartieron buenos momentos de vida y permitieron crear grandes relaciones de amistad.

A mis asesores: Dr. Carlos Sandoval, Dr. Felipe Torres y Dr. Luis Sarmiento por su apoyo y orientación en el desarrollo de la tesis, así como por sus enseñanzas y creer en mí.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UADY, a sus profesores y trabajadores involucrados en mi aprendizaje y formación.

RESUMEN

Haemonchus contortus es un endoparásito cosmopolita de pequeños rumiantes, provoca cambios en el metabolismo del hospedero debido a los efectos fisiopatológicos que ocasiona. El intento de reparar dichos efectos y mantener la homeostasis supone un costo metabólico (CM). Son pocos los estudios que han evaluado el CM de las parasitosis gastrointestinales en ovinos de pelo. El experimento se realizó con 24 corderos de pelo (16.7 ± 1.7 kg) de un rebaño comercial de la zona, criados libres de nematodos. Se agruparon en Infectados (n= 18) y No infectados (n= 6). Aleatoriamente, 9 animales se infectaron con 300 larvas L3 de *H. contortus*/kg de peso vivo (PV); los otros 9 se infectaron con 500 larvas L3 de *H. contortus*/kg de PV. Se alimentaron para una ganancia diaria de peso (GDP) de 100 g. El experimento duró 42 días. Desde el día de la infección, semanalmente se midió el consumo de materia seca (CMS), materia orgánica (CMO), proteína cruda (CPC), así como hematocrito (Hto), ganancia de peso (GP) y digestibilidad aparente de materia seca (DAMS). En la semana de infección 0, 1, 3 y 5 se midió la proporción de eosinófilos (EOS), digestibilidad aparente de materia orgánica (DAMO) y proteína cruda (DAPC), así como la retención de nitrógeno (RN). A partir del día 21 de infección se midieron los huevos de *H. contortus* por gramo de heces (HPG), y el total de huevos en heces (THH). Se sacrificaron los corderos para medir la carga parasitaria (CP) en abomaso y el rendimiento de canal (RC). Mediante análisis de correlación y regresión simple se midió el efecto de las variables parasitológicas sobre las variables de consumo, sanguíneas, de digestibilidad, la RN, GP y el RC. El mínimo y máximo de HPG fue 344 y 18,444 respectivamente. No se halló correlación significativa entre HPG, y THH, con CMS, CMO, CPC, DAMS, DAMO, GP, EOS, RN y RC. Todos los corderos tuvieron RN positiva, independientemente de su nivel de infección. Se halló correlación negativa entre HPG, y THH, con Hto y DAPC. La CP mostró una correlación negativa con el Hto previo al sacrificio y el Hto promedio. Solo un cordero presentó signos clínicos de hemoncosis, siendo más evidentes en la tercera semana de infección. Aparentemente la alimentación permitió a los corderos mostrar resiliencia, y resistencia en algunos, contra los efectos de la infección con *H. contortus*. Se concluye que, en corderos de pelo que consumen una dieta estimada para GDP 100 g, la infección con *H. contortus* no representa una pérdida de nitrógeno medida en RN.

Palabras clave: costo metabólico, balance de N, digestibilidad, *Haemonchus*, nutrición, ovinos de pelo.

Abstract

Haemonchus contortus is a cosmopolitan endoparasite of small ruminants, which induces changes in host metabolism due to its pathophysiological effects. In an attempt to repair these effects and maintain homeostasis, it involves a metabolic cost (MC). Few studies have measured the MC of gastrointestinal parasite in hair sheep. The experiment was performed with 24 hair lambs (16.7 ± 1.7 kg) of a commercial herd from the area, raised nematode-free. There was two groups: Uninfected (n=6) and Infected (n=18). Randomly, nine animals were given infection with a dose of 300 *H. contortus* larvae L3/kg live weight (LW); the other nine were given infection with a dose of 500 *H. contortus* larvae L3/kg LW. They were fed for a daily weight gain (DWG) for 100 g. The experiment was conducted for 42 days. From the day of infection, on a weekly basis, intake of dry matter (DMI), organic matter (OMI), and crude protein (CPI) were measured, in the same period packed cell volume (PCV), weight gain (WG) and apparent digestibility of dry matter (ADDM) were measured. In the week of infection 0, 1, 3 and 5 the proportion of eosinophils (EOS), apparent digestibility of organic matter (ADOM) and crude protein (ADCP) were measured, as well as nitrogen balance (NB). From day 21 of infection, faecal egg count (FEC) and total egg in faeces (TEF) were performed. The lambs were slaughtered to measure the parasitic burden (PB) in abomasum and the carcass yield (CY). Through correlation analysis and simple regression, the effect of parasitological variables over intake, WG, PCV, EOS, digestibility, NB and CY was performed. The minimum and maximum FEC were 344 and 18,444 respectively. No significant correlation was found between HPG, and TEF, with DMI, OMI, CPI, ADDM, ADOM, WG, EOS, NB and CY. All the lambs had positive NB, independently of their infection level. Negative correlation was found between HPG, and TEF, with PCV and ADCP. The PB showed a negative correlation with the pre-slaughter PCV and mean PCV. Only one lamb showed clinical signs of haemonchosis, and this was most evident in the third week of infection. It seems that the feed allowed the lambs to show resilience, and resistance in some, to the effects of *H. contortus* infection. Our conclusion is that in hairsheep lambs fed with a diet estimated for 100 g a DWG, infection with *H. contortus* does not represent a loss of nitrogen measured by NB.

Keywords: metabolic cost, N balance, digestibility, *Haemonchus*, nutrition, hair sheep.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 Producción ovina en México	2
2.2 Importancia de la alimentación y su impacto en la producción ovina	3
2.3 Importancia de la parasitosis y su impacto en la producción ovina.....	4
2.4 Interacción nutrición-parásito en ovinos	5
2.5 Efecto de la suplementación proteínica y energética en las parasitosis gastrointestinales.....	7
2.6 <i>Haemonchus contortus</i>	9
2.7 Manipulación nutricional y <i>H. contortus</i>	10
2.8 Costo metabólico de la parasitosis.....	12
3. HIPÓTESIS.....	15
4. OBJETIVO GENERAL	15
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5. LITERATURA CITADA	16
6. ARTÍCULO	23
7. ANEXO 1. Línea de tiempo experimental y variables medidas.....	49

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los nematodos gastrointestinales (NGI) que afectan a los pequeños rumiantes, principalmente en zonas tropicales, es *Haemonchus contortus*. Es un parásito hematófago que genera grandes daños a la salud animal, incluso la muerte (Pugh y Baird, 2012). La fase adulta de *H. contortus* puede ingerir 0.05 ml de sangre por parásito al día (Rowe *et al.*, 1988), causando notable pérdida de los elementos que ésta contiene, además de los cambios provocados en la fisiología del hospedero (Hoste *et al.*, 2016).

Las infecciones parasitarias con NGI pueden tener consecuencias indirectas en el metabolismo, que se puede considerar como un costo metabólico (CM), reflejado en mayor demanda de nutrientes para contrarrestar los efectos fisiopatológicos de la infección. El incremento de esta demanda ha sido medido principalmente por el aumento de nitrógeno (N) perdido en el tracto gastrointestinal (TGI; Liu *et al.*, 2005), los resultados son muy variables. Algunos estudios señalan que el CN se puede manifestar en mayores requerimientos de energía (EM) y proteína metabolizable (PM; Liu *et al.*, 2005; Retama-Flores *et al.*, 2012).

La mayoría de estudios que han evaluado el CM de la parasitosis en ovinos han sido en razas especializadas, ya sea en producción de lana o en razas cárnicas. Son pocos los estudios que han evaluado el CM de la parasitosis gastrointestinal en ovinos de pelo, a pesar de su amplia distribución en zonas de clima tropical (Hoste *et al.*, 2016).

En condiciones de trópico, Retama-Flores *et al.* (2012) estimaron el CM de infecciones mixtas naturales en corderos Pelibuey en 43.5 g/día de peso vivo (PV), Gárate-Gallardo *et al.* (2015) señalan que en caprinos el CM es 41 g/día de PV. Estos últimos estudios deben tomarse con reserva, debido a que se realizaron en condiciones de pastoreo, donde puede haber influencia del consumo de plantas con metabolitos con actividad antihelmíntica como los árboles leguminosos, además del costo nutricional de la actividad del pastoreo.

A pesar de los esfuerzos por evaluar el impacto del parasitismo sobre el requerimiento de nutrientes, estos no han sido cuantificados en relación con el sitio de infección y el nivel de demanda (NRC, 2007), lo cual es necesario para mejorar la suplementación alimenticia, que ha demostrado ser una alternativa viable para el control de infecciones por NGI (Hoste y Torres-

Acosta, 2011). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es determinar las pérdidas de nitrógeno causadas por la infección con *Haemonchus contortus* en corderos de pelo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción ovina en México

Los ovinos han tenido un rol importante en el desarrollo de la humanidad, principalmente por ser pequeños rumiantes de fácil manejo y con una buena capacidad productiva de carne, piel, leche y lana, entre otros subproductos de diversa utilidad (Díaz-García *et al.*, 2012).

La producción ovina en México es reconocida como una actividad económica importante al constituir un componente productivo para la economía del campesino de escasos recursos, y por la gran demanda de sus productos especialmente en los estados del centro del país. A pesar que el consumo *per cápita* de carne ovina ha aumentado en el país, no se ha logrado cubrir la demanda, provocando que la producción ovina nacional sigue dependiendo en gran medida (33%) de la importación, tanto de animales en pie como de canales, principalmente de Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda y Chile (Cuéllar *et al.*, 2012; Díaz-García *et al.*, 2012).

Más de la mitad de los productores ovinos utilizan el pastoreo con encierro vespertino y nocturno como sistema de alimentación, mientras que aproximadamente el 25% mantiene a sus animales en confinamiento total, lo que puede resultar poco rentable por los costos de los insumos. Apenas más del 10% utiliza el pastoreo controlado como sistema de alimentación (Cuéllar *et al.*, 2012).

Los sistemas de producción en pastoreo, en condiciones de trópico, son extremadamente susceptibles a la multiplicación y propagación de la mayoría de los endoparásitos, a pesar de los esfuerzos para controlarlos por medio de prácticas de manejo de praderas. Este problema resulta en la disminución de la productividad (Pérez-Ramírez *et al.*, 2005).

Uno de los problemas más frecuentes que frenan el crecimiento de la producción ovina es el alto costo de los insumos alimenticios. Esta situación se ha agravado con el encarecimiento de los granos y la adquisición de forrajes mejorados, ocasionando que los productores que mantenían a sus animales en estabulación opten por sistemas de pastoreo. No obstante, muchos productores mantienen la suplementación alimenticia con rastrojo, granos (maíz, sorgo, cebada, etcétera) o alimento concentrado (Cuéllar *et al.*, 2012).

Debido a lo anterior es importante utilizar nuevas alternativas para poder cubrir la demanda nacional de productos ovinos, se debe procurar que la producción sea sustentable para los ganaderos, que en México son mayoritariamente de escasos recursos (Díaz-García *et al.*, 2012).

2.2 Importancia de la alimentación y su impacto en la producción ovina

La alimentación tiene un profundo efecto en la salud general del animal y del rebaño. Una dieta adecuada se reflejará en animales sanos que serán más productivos, y podrán resistir desafíos ambientales y de patógenos (Pugh y Baird, 2012).

En México, la mayoría de los productores ovinos intentan empíricamente proporcionar mayor alimento en calidad y cantidad en la época de estiaje. Sin embargo, son pocos los productores que realizan esta práctica en ovejas gestantes o en lactación, sin medir los beneficios que esto representa. También es evidente la falta de prácticas que procuren la conservación de forrajes para contar con recursos alimenticios en épocas de escasez (Cuéllar *et al.*, 2012).

El sistema de alimentación que prevalece para la producción de carne ovina en las zonas tropicales, está basado en el pastoreo de agostaderos o en praderas introducidas; en ambos casos, son la fuente de alimento más económica para estas regiones. Debido a la dependencia con los factores ambientales, la producción de carne es baja, obteniéndose un promedio anual en la ganancia diaria peso de 60 g/animal (FAO, 2016).

Por lo general los forrajes en zonas tropicales poseen muy bajos niveles de nitrógeno, con altos niveles de lignificación, lo cual disminuye el aprovechamiento de nutrientes por parte de los animales. Además, la estacionalidad influye en la disponibilidad y calidad de los pastos, ya que generalmente las gramíneas tropicales tienen mejor valor nutritivo en la época de lluvia (Cárdenas *et al.*, 2003).

Entre las diferentes alternativas disponibles para la ganadería tradicional extensiva en el trópico mexicano, existe la implementación de prácticas de tipo agroforestal como el silvopastoreo, que impulsan la integración de árboles y arbustos con la producción animal, y que podrían dar la pauta para el desarrollo de sistemas de producción sustentables que no atenten contra el frágil equilibrio ecológico de esta región geográfica, y que incluso pudieran mejorar el comportamiento productivo sin tener que depender de insumos externos (Ku-Vera *et al.*, 1999).

Existe una gran variedad de especies de plantas que tienen potencial para ser incorporadas en los sistemas de producción de rumiantes en el trópico, las cuales podrían introducir elementos de sostenibilidad en los sistemas ganaderos, al hacerlos menos dependientes de insumos externos (concentrados energéticos y proteínicos) que tienen que ser adquiridos a un costo elevado para la finca (Ku-Vera *et al.*, 1999). Sin embargo, esta alternativa ha sido poco aceptada por los pequeños y medianos productores debido a que requiere trabajo y mano de obra adicional, y por lo tanto en la práctica no es llevada de manera común (Cárdenas *et al.*, 2003).

Mejorar la resiliencia y resistencia de los animales a las infecciones por NGI, ha sido posible al proveer alimento suplementario. Esta actividad significa que el productor proporciona alimento extra a los animales, aparte del que consumen por el pastoreo e incluso ramoneo. Un suplemento, dependiendo de la disponibilidad, es uno o más ingredientes que por lo general contienen ciertos niveles de proteína, energía u otro macronutriente (Torre-Acosta *et al.*, 2012).

La alimentación representa entre 60 y 85% de los costos en cualquier producción pecuaria, los cuales pueden aumentar o no ser eficientes cuando se presentan problemas como infecciones por NGI. Por lo tanto, las mejoras que se puedan hacer al respecto, tendrán un gran impacto en la eficiencia de la empresa ganadera, en la economía del productor e incluso en el precio de los productos del consumidor final (Correa-Benítez, 2012).

2.3 Importancia de la parasitosis y su impacto en la producción ovina

Las pérdidas económicas para los productores, derivadas de endoparasitosis pueden ser devastadoras. El daño por NGI se puede reflejar en disminución del crecimiento, en la producción de leche y lana, así como en el incremento de los costos de producción (Pugh y Baird, 2012).

Aunque el pastoreo es el componente más importante de un programa de nutrición para los pequeños rumiantes, es también la fuente de parásitos internos, los cuales paradójicamente, representan las enfermedades más comunes en climas templados y tropicales (NRC, 2007).

Las predicciones del desempeño de los animales se basan en los requerimientos de aquellos individuos que, de manera general, se consideran sanos. Por lo tanto, es evidente que el desempeño se reducirá por cualquier infección, principalmente en aquellas causadas por NGI, especialmente en animales en pastoreo. Lo anterior se debe a que las parasitosis modifican la partición de

nutrientes, pues serán usados para el crecimiento y producción animal, así como para el mantenimiento de tejidos dañados por la infección parasitaria (CSIRO, 2007).

Las parasitosis internas representan un grave problema en la producción ovina, principalmente porque el uso continuo de químicos antihelmínticos es insostenible, por la resistencia de los nematodos a las tres principales clases de antihelmínticos de amplio espectro. Además, los consumidores de productos ovinos actualmente están más conscientes de los potenciales residuos de los antihelmínticos en la carne y leche, y sus posibles efectos ecotóxicos (Coop y Kyriazakis, 2001).

Las infecciones por NGI impactan la producción ovina en dos sentidos principalmente. Primero, disminuyen la eficiencia productiva de los animales debido a la anorexia que provocan las endoparasitosis, reducen la conversión alimenticia e incluso los animales pueden morir por la infección; y segundo, además se aumentan los costos de producción por la atención veterinaria que requieran los animales, el costo de los fármacos antihelmínticos utilizados y el consecuente tiempo de retiro que estos puedan tener.

2.4 Interacción nutrición-parásito en ovinos

La interacción entre el hospedero y la nutrición se pueden considerar de dos maneras. Primero, los efectos fisiopatológicos inducidos por el parasitismo que modifican el metabolismo del animal; segundo, la disponibilidad de nutrientes, para que el hospedero constituya una respuesta inmune contra el establecimiento y desarrollo del parásito (Hoste *et al.*, 2016).

En consecuencia, el nivel de nutrición puede influir en la *resiliencia* y *resistencia* del animal a la infección. Se puede considerar *resiliencia* a la habilidad del animal para mantener un nivel razonable de producción mientras enfrenta una parasitosis, y la *resistencia* es la capacidad del hospedero para limitar el establecimiento, crecimiento y persistencia de la población parasitaria (Coop y Kyriazakis, 1999, 2001).

Los NGI reducen la disponibilidad de nutrientes por el menor consumo de alimento observado en el cuadro clínico, o bien por a la disminución en la absorción a nivel intestinal. El impacto de la infección por NGI en ovinos en la eficiencia de la utilización de nutrientes, es mayor durante los primeros 3 meses de infección que durante los meses siguientes (Coop y Kyriazakis, 1999; Sykes y Greer, 2003).

Una de las características clave de las infecciones por NGI, es el incremento de la pérdida de proteína endógena en el tracto gastrointestinal (TGI), en parte por la fuga de proteína en plasma, así como al incremento de la producción de moco y la muerte de células epiteliales del TGI. Aunque parte del N perdido se puede absorber en la porción final del intestino, hacer recircular y utilizar este elemento, tendrá un costo energético (Torres-Acosta *et al.*, 2004).

En infecciones abomasales con *H. contortus* toda la proteína sanguínea perdida podría ser considerada por el incremento en el flujo de N en el duodeno, y toda es absorbida en el íleon. Comparativamente, ovinos parasitados en intestino delgado con *Trichostrongylus colubriformis*, sólo la mitad de la pérdida de N fue reabsorbida en el intestino delgado (Holmes, 1993).

Se ha demostrado que las pérdidas de proteína en el TGI pueden llegar a ser de 20 a 125 g/día en animales infectados con *T. colubriformis*, mientras que ovinos infectados con *H. contortus* las pérdidas pueden ser del 10% del volumen de sangre circulante (Sumbria y Sanyal, 2009).

En caprinos parasitados con NGI se ha observado que en el TGI aumenta la producción de moco, el cual es rico en treonina, serina y prolina. Este cambio reduce la disponibilidad de aminoácidos para otras funciones del organismo animal (Aguilar-Caballero *et al.*, 2008).

En general, los ovinos parasitados requieren sintetizar adicionalmente 50 g de proteína al día para hacer frente a la parasitosis por NGI. Se ha estimado que el monto de N endógeno no reabsorbible que se pierde en íleon, de los ovinos parasitados con NGI, puede ser tan elevado como 4-5 g N/día (Poppi *et al.* 1986).

Se ha observado que, en corderos y ovejas en el periparto infectados con NGI, los requerimientos de proteína metabolizable (PM) se pueden incrementar hasta 20-25% (Kyriazakis y Houdijk, 2006).

En estudios de ovinos “resistentes” encontraron una reducción de 15% en el crecimiento lanar durante el desafío larvario. Así como que el crecimiento de lana resultó menor en ovinos seleccionados para reducir la cantidad de huevos por gramo de heces, lo que agrega peso a la propuesta que la “inmunidad adquirida” tiene un costo nutricional (Sykes y Greer, 2003).

Colditz (2008) propone que los costos de hacer frente a la parasitosis se pueden resumir en 6 puntos: 1. Incremento de la actividad metabólica; 2. Disminución de disponibilidad de nutrientes,

debido principalmente a la anorexia; 3. Alteración de las prioridades para uso de nutrientes durante la activación inmunológica, que reducen la capacidad de muchos tejidos no inmunes de utilizar los nutrientes; 4. Cambio en el tamaño y tasa de retorno de células y suministro de proteínas del sistema inmune; y 5. Daño causado a los tejidos del hospedero por una inapropiada o exacerbada actividad del sistema inmune (inmunopatología). El sexto, se considera es el costo genético, que surge de un cambio en la capacidad de la descendencia para expresar la producción y rasgos adquiridos después de la cruce selectiva, o la selección natural, por la resistencia a enfermedades.

2.5 Efecto de la suplementación proteínica y energética en las parasitosis gastrointestinales

Si existe deficiencia de algún nutriente en la dieta, cuando los animales enfrentan una infección por NGI, el metabolismo de dicho elemento se verá afectado seriamente. Por lo tanto, corregir la carencia del nutriente proporcionará beneficios a la respuesta del animal. (Hoste *et al.*, 2016).

La manipulación nutricional es una de las herramientas del manejo integral de las parasitosis por NGI en pequeños rumiantes. En ovinos que reciben una dieta de alta calidad pueden incrementar su capacidad para soportar los efectos adversos de las infecciones parasitarias (resiliencia), incluso pueden limitar el establecimiento y desarrollo del parásito dentro del TGI (resistencia; Hoste *et al.*, 2016).

Blackburn *et al.* (1991) señalan que la reducción en el consumo voluntario observada en infecciones por NGI se puede evitar al mejorar la calidad de la dieta, en palatabilidad y digestibilidad.

Además de la manipulación nutricional, es importante considerar el genotipo animal que se evalúe, pues se ha observado que los beneficios de un genotipo resistente a parásitos no se pierden con dietas bajas en proteínas, mientras que dietas altas en proteína pueden ayudar a superar las desventajas de un genotipo no resistente a parásitos (Coop y Kyriazakis, 1999).

Cuando se mide el efecto de la suplementación de animales infectados en pastoreo, se observa cierto nivel de sustitución del suplemento sobre el forraje pastoreado, lo cual puede ser positivo debido a la cantidad de nutrientes que puede aportar el suplemento (Retama-Flores *et al.*, 2012).

Animales parasitados que consumen dietas de mantenimiento cuando cambian a dietas altas en proteína, muestran mejoras en los signos clínicos de la parasitosis, así como reducción de la cantidad de huevos de nematodos en heces, y se vuelven más resistentes a futuras reinfecciones (Coop y Holmes, 1996).

Se ha sugerido que la suplementación proteínica en corderos infectados con NGI, permite mejorar la respuesta inmune debido a que sus mecanismos efectores son de origen proteínico. Asimismo, el aporte extra de proteína en la dieta, permite compensar la pérdida de proteína endógena derivada del daño a los tejidos del organismo que ocasionan los parásitos, con el objetivo de mantener la homeostasis (Khan *et al.*, 2012).

Dietas altas en proteína (169 g PC/kg MS) han demostrado que se incrementa la resistencia de corderos, de 4 meses de edad, ante infecciones por *H. contortus*. Además, la inmunidad adquirida a *H. contortus* en animales adultos se puede reducir si se alimentan con dietas bajas en proteínas (<30 g PC/kg MS), lo que se presenta como pérdida de peso e incluso la muerte (Coop y Holmes, 1996).

Gárate-Gallardo *et al.* (2015) observaron que en cabras que pastorean en el bosque tropical caducifolio, donde existe una gran proporción de plantas leguminosas que contienen mucha proteína y poca energía, la suplementación energética es una buena herramienta para mejorar la resiliencia y resistencia a infecciones por NGI. En este escenario, el aporte extra de energía permitirá utilizar el exceso de nitrógeno degradable en rumen.

La mayoría de experimentos se enfocan en suplementar con proteína, debido a que muchos componentes del sistema inmune se constituyen por ellas. Sin embargo, si el animal está desnutrido, el aumento del suministro de energía en la dieta obviamente tendrá un efecto sobre la resiliencia del mismo. Lo anterior fortifica la idea que la nutrición del hospedero puede afectar el grado de respuesta a las infecciones parasitarias (Coop y Kyriazakis, 2001).

De manera general, en condiciones de pastoreo en trópico los forrajes tienen bajos niveles de proteína. Si únicamente se suplementa con una fuente proteínica, sin provisión de energía, pudiera no obtenerse el efecto esperado debido a los efectos adversos del exceso de amoníaco, y la necesidad de energía extra para desechar el exceso de N (Torres-Acosta *et al.*, 2012). Al respecto, Khan *et al.* (2017) mencionan que es necesario racionalizar entre formulación económica del

alimento, el nivel óptimo de proteína y adecuada palatabilidad para poder obtener resultados positivos en hemoncosis

La suplementación con fuentes energéticas puede tener un efecto positivo sobre el total de proterína o energía metabolizable que consumen los animales en pastoreo, lo cual permitirá mejorar la resiliencia/resistencia de los animales infectados. Lo anterior resulta de gran importancia debido a que suplementar con fuentes de energía puede ser más económico que suplementar con fuentes de proteína (Hoste *et al.*, 2016).

2.6 Haemonchus contortus

Es un NGI que afecta principalmente a los pequeños rumiantes, se encuentra en prácticamente todos los ecosistemas. Debido a su actividad hematófaga y alto potencial de desarrollo y prolificidad, es una causa frecuente de mortalidad en ovinos y caprinos (Besier *et al.*, 2016).

La fisiopatología de *H. contortus* se asocia principalmente al comportamiento hematófago de su fase adulta, lo que genera signos clínicos relacionados con anemia, la cual se puede detectar a los 10-12 días de la infección. Se estima que el parásito adulto puede ingerir 0.05 ml de sangre/nematodo al día (Rowe *et al.*, 1988), lo que causa una gran pérdida de sangre, reduciendo el hematocrito y la disponibilidad de los elementos sanguíneos como albúmina y proteínas totales.

Debido a que *H. contortus* se localiza en el abomaso, su actividad hematófaga provocará cambios estructurales en la mucosa abomasal, generando cambios en el pH y, por lo tanto, menor cantidad de pepsinógeno activado hacia pepsina; provocando menor digestibilidad y absorción de proteínas a nivel intestinal. Las modificaciones en el pH del abomaso permiten una mayor colonización de bacterias patógenas, produciendo diversos daños a la salud (Hoste *et al.*, 2016).

Los principales cambios histopatológicos provocados en abomaso por *H. contortus* incluyen: a) Hipertrofia de mucosa abomasal con infiltración de células inflamatorias; b) Hiperplasia de células productoras de moco; c) Menor número de células productoras de ácido clorhídrico (Hoste *et al.*, 2016).

Los signos clínicos de la hemoncosis dependerán de factores como la cantidad de larvas y parásitos adultos en abomaso, la susceptibilidad de cada animal y del estado nutricional del hospedero. En el cuadro clínico de hemoncosis aguda se observa anorexia, anemia, edema submandibular,

debilidad general e incluso muertes. Contrario a lo que se señala para las infecciones por NGI, la diarrea no es un rasgo de la hemoncosis. La infección también se puede presentar como subclínica o crónica, lo que generará un lento crecimiento de corderos y reducción en producción de lana. (Besier *et al.*, 2016; Hoste *et al.*, 2016).

2.7 Manipulación nutricional y *H. contortus*

Se ha observado que la fuente primaria para que se presenten los signos de hemoncosis es la malnutrición, es decir, escasez de macro (proteína y energía) o micronutrientes (vitaminas y minerales). Diversos estudios han intentado mejorar el nivel nutricional mediante la suplementación con proteína, aunque su efecto en la resistencia hacia NGI no es clara, hay evidencia sólida y consistente que mayor disponibilidad de proteína en la dieta puede reducir significativamente los efectos fisiopatológicos de la hemoncosis y, por lo tanto, mejora la resiliencia (Hoste *et al.*, 2016).

Si los ovinos consumen cantidades adecuadas de proteína, pero deficientes de energía, las reservas de grasa pueden ser usadas como fuente energética. En consecuencia, la suplementación con fuentes de energía tendrá poco o nulo efecto en el metabolismo de proteína en el organismo animal. Por lo tanto, el uso de la suplementación proteínica tendrá mayor efecto en ovinos que caprinos, debido a que tienen mayor capacidad de movilizar sus abundantes reservas de grasa y retener N extra (Hoste *et al.*, 2016).

Diversos estudios (Kates *et al.*, 1962; Abbott *et al.*, 1986a, 1986b;) señalan la importancia de proporcionar una dieta balanceada a los animales infectados con *H. contortus*, debido a que tienen mejor respuesta a las infecciones cuando consumen dietas con mayor disponibilidad de nutrientes. Más adelante, Wallace *et al.* (1999) indicaron que la formulación de las dietas para pequeños rumiantes se basa en animales no infectados, sin embargo, se deben considerar los nutrientes demandados por la infección parasitaria, principalmente en aquellos animales en pastoreo.

Se ha señalado que la suplementación proteínica tiene mayor efecto en reparar las consecuencias de la infección por *H. contortus* que en el establecimiento del parásito en el abomaso (Blackburn *et al.*, 1991, 1992; Khan *et al.* 2012). En este sentido, Nnadi *et al.* (2007) observaron que cabras infectadas con *H. contortus* y que consumieron dietas con altos niveles de proteína, la infección tuvo un periodo prepatente más largo.

Debido a que *H. contortus* es un parásito hematófago, se observará reducción del hematocrito (Hto) aún con altos niveles de proteína en la dieta (Blackburn *et al.* 1992). No obstante, Datta *et al.* (1998) mencionan que dietas con proteína cruda (PC) mayor a 16%, permitirán mantener niveles de Hto similares a los observados en animales no infectados.

Al comparar la respuesta de la suplementación proteínica en razas ovinas (Wallace *et al.*, 1995, 1996; Bricarello *et al.*, 2005) y caprinas (Nnadi *et al.*, 2007, 2009) susceptibles o resistentes a hemoncosis, se ha observado que los individuos sensibles a la infección obtienen mayores beneficios al aumentar su resiliencia a la infección, que aquellos que son resistentes genéticamente. Doyle *et al.* (2011b) señalan que Merinos susceptibles infectados y suplementados con dietas de alta calidad, muestran mejor conversión alimenticia que Merinos seleccionados para resistencia a hemoncosis. Lo anterior refuerza el hallazgo de Doyle *et al.* (2011a), quienes observaron que Merinos resistentes tuvieron menor eliminación de huevos de nematodo en heces (HPG) y mejores niveles de Hto, pero no mejor ganancia de peso. Lo anterior puede ser un reflejo que la selección para resistencia a parásitos tiene un costo nutricional.

Bricarello *et al.* (2005) observaron que la suplementación proteínica permitió tanto a la raza Santa Inés (resistente y menos productiva) como a la raza Ile de France (susceptible y más productiva) mejorar su respuesta a los efectos fisiopatológicos de la infección. Estos autores señalan que el incremento de la proteína en la dieta puede beneficiar a resistentes y susceptibles, pero la respuesta dependerá de la raza.

Una excepción a lo señalado es el trabajo de Rocha *et al.* (2011), quienes no observaron mejoría en la resiliencia de ovejas en el parto al suplementar las dietas con proteína, comparando una raza susceptible y una resistente. En su trabajo confirmaron la resistencia de la raza Santa Inés por menor eliminación de HPG y mayor Hto, así como la productividad de Ile de France, reflejada en mayor producción de leche.

En condiciones de trópico, se ha evaluado (Gutiérrez-Segura *et al.*, 2003; Torres-Acosta *et al.*, 2004; Martínez-Ortiz de Montellano *et al.*, 2007) en cabritos en pastoreo el efecto de la suplementación con soya y sorgo. Se observó que fue posible mejorar la resiliencia de los animales, es decir, se mejoró la ganancia de peso y se disminuyeron los efectos fisiopatológicos de la infección.

En los estudios mencionados no se ha evaluado el costo nutricional de la parasitosis en ovinos. Se ha medido la respuesta de los animales a la suplementación proteínica durante el periodo prepatente y patente de una infección con *H. contortus*. Sin embargo, el impacto del parasitismo sobre el requerimiento de nutrientes no ha sido cuantificado en relación con el sitio de infección y el nivel de demanda (NRC, 2007), lo cual es necesario para mejorar la suplementación alimenticia, que ha demostrado ser una alternativa viable para el control de infecciones por NGI (Hoste y Torres-Acosta, 2011).

2.8 Costo metabólico de la parasitosis

Dentro de las principales consecuencias fisiopatológicas que presentan las infecciones por *H. contortus* se ha observado que se altera el pH abomasal, lo que reduce la función enzimática y altera la digestión de los nutrientes ingeridos. En un intento de mantener la homeostasis sanguínea y de los tejidos dañados por el parásito, el metabolismo general del organismo también sufre modificaciones durante la hemoncosis. Estos efectos fisiopatológicos representan un costo metabólico (Hoste *et al.*, 2016).

Doyle *et al.* (2011a) señalan que ovinos seleccionados para resistencia a hemoncosis, modifican su funcionamiento ruminal en respuesta a la infección al incrementar el flujo de líquido y tasa de renovación, además que se disminuye la concentración de ácido propiónico.

Diversos estudios midieron la digestibilidad aparente en ovinos y caprinos infectados con *H. contortus*, sus resultados no son concluyentes en cuanto a la afectación de la digestibilidad. Abbott *et al.* (1986b) mencionan que en ovinos Finn Dorset/Dorset Horn alimentados tanto con niveles bajos (88 g) y altos (170 g) de PC, no se observaron diferencias en la digestibilidad aparente o el balance de N, sin importar la dieta; la principal característica hallada en su trabajo fue la anemia y anorexia. Bambou *et al.* (2009) infectaron artificialmente caprinos seleccionados para resistencia a este parásito, observaron que los efectos de la infección en el consumo de alimento y la digestibilidad, resultaron más influenciados por la genética de los animales y el estado inmunológico que por la misma infección. El efecto del parasitismo ocurrió entre la segunda y tercera semana de infección, cuando la respuesta inmune es más pronunciada probablemente por la maduración del parásito. Resultado similar al de Bambou *et al.* (2013), quienes observaron que el consumo y digestibilidad de nutrientes en caprinos infectados se afectan en la primera semana

de infección, mientras que la digestibilidad aparente de PC aumentó en la tercera semana de infección.

El incremento en la demanda de nutrientes debido a las infecciones por NGI, ha sido medido al determinar el aumento de N perdido en el TGI, comparándolo con animales no infectados. Los resultados son muy variables (Liu *et al.*, 2005).

En ovinos infectados y alimentados con altos niveles (166.3 g) de PC, Khan *et al.* (2011) observaron que los animales infectados consumieron menos proteína comparados con los no infectados, pero no hubo diferencia en el balance de nitrógeno. Atribuyen este resultado a la proteína en la dieta que pudo haber compensado el costo nutricional de la infección. En ovinos Merino seleccionados por resistencia o susceptibilidad a hemoncosis, Doyle *et al.* (2014) observaron que los animales susceptibles infectados retuvieron más N que aquellos resistentes, sin embargo, ambos genotipos se mantuvieron en balance positivo. Khan *et al.* (2012) reportan que la infección por *H. contortus* en ovinos no influyó en el balance de nitrógeno de animales que consumieron altos niveles (150 g y 115 g) de PC.

Symons *et al.* (1981) informaron una pérdida de N entérico de 1 g/día en ovinos infectados con *Ostertagia*. Poppi *et al.* (1981) reportan una pérdida de proteína en plasma de 0,93 g/día en ovejas infectadas con *Trichostrongylus*. Kimambo *et al.* (1988) detectaron una fuga de proteína plasmática y aumento del flujo de N en íleon por 3-5 g/día en el intestino de ovinos infectados con *T. colubriformis*. Steel *et al.* (1980) encontraron que, dependiendo de la dosis de larvas de *Trichostrongylus*, la pérdida de N entérico varía de 0.5 a 1.3 g/día. Coop y Kyriazakis (1999) resumen que la fuga de N puede ser hasta de 4-5 g/día.

Liu *et al.* (2003) señalan, derivado de diversos trabajos en ovinos Merino, que las infecciones con NGI pueden resultar en una pérdida de alrededor de 12 g de proteína al día, lo que resulta de una pérdida aproximada de 6 g en el TGI y 6 g al incrementar la oxidación de aminoácidos en el cuerpo. Esta merma de proteína representa aproximadamente 0.57, 0.71, 0.14 y 0.77 veces los requerimientos de proteína para crecimiento, gestación, lactación y producción de lana, respectivamente. Estos autores señalan que la activación del sistema inmune durante el desafío de una endoparasitosis requiere más proteína que energía, principalmente aminoácidos azufrados

como cisteína y probablemente metionina, por lo tanto, las razas productoras de lana se verán más afectadas por estos parásitos.

Liu *et al.* (2005) midieron los costos de energía y proteína en ovinos Merino infectados con *Trichostrongylus colubriformis* y *Ostertagia circumcincta*. En animales con dieta de mantenimiento se requirieron 6.5 g/día de proteína debido a la infección, mientras que aquellos animales con una dieta estimada para una ganancia diaria de peso de 100 g, la demanda de proteína aumentó a 9 g/día. Los requerimientos de energía también aumentaron de 0.71 a 1.76 MJ/día, dependiendo del peso vivo y la ganancia de peso estimada. En animales resistentes fueron requeridos aproximadamente 0.02 MJ de energía metabolizable (EM)/kg de peso metabólico ($PV^{0.75}$) y 0.19 g de proteína cruda metabolizable/kg de $PV^{0.75}$. Tanto en ovinos susceptibles como en resistentes, la demanda de nutrientes extra debido a la infección por NGI también depende del peso vivo y el nivel de producción estimado, reduciéndose con la edad y en animales más pesados.

Retama-Flores *et al.* (2012) mencionan que el costo metabólico del parasitismo en corderos Pelibuey infectados y suplementados con maíz, fue de 0.7 MJ/EM y de 9.2 g/día de PM. Por su parte, en los animales infectados y no suplementados, el costo de EM y PM aumentan a 1.46 MJ/día fue 12.71 g/día, respectivamente. Además, señalan que las infecciones por NGI representan una diferencia de 43.5 g de ganancia de peso vivo (PV)/día. En condiciones similares, pero en caprinos, Gárate-Gallardo *et al.* (2015) mencionan que el costo metabólico promedio de las infecciones por NGI es de 41 g PV/día. Estos últimos estudios deben tomarse con reserva, debido a que se realizaron en condiciones de pastoreo, donde puede haber influencia del consumo de plantas con metabolitos con actividad antihelmíntica como los árboles leguminosos, además del costo nutricional de la actividad del pastoreo.

3. HIPÓTESIS

Los corderos de pelo parasitados con *H. contortus* tienen mayor pérdida de nitrógeno que aquellos libres de parásitos, y esta pérdida es directamente proporcional al grado de infección.

4. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Estimar la relación entre el nivel de infección con *H. contortus* y el balance de nitrógeno en corderos de pelo.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar el balance de nitrógeno en corderos parasitados con diferentes niveles de infección con *H. contortus*.
- Describir los cambios fisiopatológicos durante la prepatencia y patencia de una infección monoespecífica con *H. contortus* en corderos de pelo.

5. LITERATURA CITADA

- Abbott, E. M., Parkins, J. J., Holmes, P. H. 1986a. The effect of dietary protein on the pathogenesis of acute ovine hemoncosis. *Veterinary Parasitology*, 20, 275-289.
- Abbott, E. M., Parkins, J. J., Holmes, P. H. 1986b. The effect of dietary protein on the pathophysiology of acute ovine hemoncosis. *Veterinary Parasitology*, 20, 291-306.
- Aguilar-Caballero, A. J., Torres-Acosta, J. F. J., Cámara-Sarmiento, R., Hoste, H. y Sandoval-Castro, C. A. 2008. IMMUNITY AGAINST GASTROINTESTINAL NEMATODE: THE GOAT HISTORY. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9, 73–82.
- Bambou, J. C., Arquet, R, Archimède, H, Alexandre, G, Mandonnet, N, E. González-García. 2009. Intake and digestibility of naïve kids differing in genetic resistance and experimentally parasitized (indoors) with *Haemonchus contortus* in two successive challenges. *Journal of Animal Science*. 87:2367–2375. doi:10.2527/jas.2008-1702.
- Bambou, J. C., Cei, W., Camous, S., Archimède, H., Decherf, A., Philibert, L., González-García, E. 2013. Effects of single or trickle *Haemonchus contortus* experimental infection on digestibility and host responses of naïve Creole kids reared indoor. *Veterinary Parasitology*, 191(3–4), 284–292. doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.09.026
- Besier, R. B., Kahn, L. P., Sargison, N. D., Van Wyk, J. A. 2016. The Pathophysiology, Ecology and Epidemiology of *Haemonchus contortus* Infection. *Small Ruminants. Advances in Parasitology*, 93, 95–143. doi.org/10.1016/bs.apar.2016.02.022
- Blackburn, H. D., Rocha, J. L., Figueiredo, E. P., Berne, M. E., Vieira, L. S., Cavalcante, A. R., Rosa, J. S. 1991. Interaction of parasitism and nutrition and their effects on production and clinical parameters in goats. *Veterinary Parasitology*, 40(1–2), 99–112. doi.org/10.1016/0304-4017(91)90086-B
- Blackburn, H. D., Rocha, J. L., Figueiredo, E. P., Berne, M. E., Vieira, L. S., Cavalcante, A. R., Rosa, J. S. 1992. Interaction of parasitism and nutrition in goats: effects on haematological parameters, correlations, and other statistical associations. *Veterinary Parasitology*, 44(3–4), 183–197. doi.org/10.1016/0304-4017(92)90116-Q

- Bricarello, P. A., Amarante, A. F. T., Rocha, R. A., Cabral-Filho, S. L., Huntley, J. F., Houdijk, J. G. M., Abdalla, A. L., Gennari, S. M. 2005. Influence of dietary protein supply on resistance to experimental infections with *Haemonchus contortus* in Ile de France and Santa Ines lambs. *Veterinary Parasitology*, 134, 99-109.
- Cárdenas, J. V. M., Sandoval-Castro, C. A., Solorio, F. J. S. 2003. Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*, 41 (3), 283-294.
- Colditz, I. G. 2008. Six costs of immunity to gastrointestinal nematode infections. *Parasite Immunology*, 30, 63-70.
- Coop, R. L., Holmes, P. H. 1996. Nutrition and parasite interaction. *International Journal for Parasitology*, 26(8-9), 951-962. doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80070-1
- Coop, R. L., Kyriazakis, I. 1999. Nutrition-parasite interaction. *Veterinary Parasitology*, 84(3), 187-204. doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00070-9
- Coop, R. L., Kyriazakis, I. 2001. Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. *Trends in Parasitology*, 17(7), 325-330. doi.org/10.1016/S1471-4922(01)01900-6
- Correa-Benítez, A. 2012. Introducción a la zootecnia. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CSIRO. 2007. Nutrient requirements of domesticated ruminants. CSIRO publishing, Collingwood, Australia.
- Cuéllar, O. J. A., Tórtora, P. J., Trejo, G. A., Román, R. P. 2012. La producción ovina mexicana: particularidades y complejidades. Universidad Nacional Autónoma de México, FESC, SAGARPA. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- Datta, F. U., Nola, J. V., Rowe, J. B., Gray, G. D. 1998. Protein supplementation improves the performance of parasitised sheep fed a straw-based diet. *International Journal for Parasitology*, 28, 1269-1278. doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00104-0

- Díaz-García, L. H., Muro-Reyes, A., Trujillo-García, A. M., Guzmán-Hernández, A. S. 2012. Manual de producción ovina. Lactancia artificial de corderos. Texe Editores, Zacatecas, México.
- Doyle, E. K., Kahn, L. P., McClure, S. J. 2011a. Rumen function and digestion of Merino sheep divergently selected for genetic difference in resistance to *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 179, 130–136. doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.063
- Doyle, E. K., Kahn, L. P., McClure, S. J., Lea, J. M. 2011b. Voluntary feed intake and diet selection of Merino sheep divergently selected for genetic difference in resistance to *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 177(3–4), 316–323. doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.043
- Doyle, E. K., Kahn, L. P., McClure, S. J. 2014. Nutrient partitioning of Merino sheep divergently selected for genetic difference in resistance to *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 205(1–2), 175–185. doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.06.028
- FAO. 2016. Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios. Estrategia de suplementación en el engorde de ovinos en el trópico. México. Creado el 13 de junio de 2016. Disponible en <http://teca.fao.org/es/read/4431>, consultado el 17 de noviembre de 2016.
- Gárate-Gallardo, L., Torres-Acosta, J. F. de J., Aguilar-Caballero, A. J., Sandoval-Castro, C. A., Cámara-Sarmiento, R., Canul-Ku, H. L. 2015. Comparing different maize supplementation strategies to improve resilience and resistance against gastrointestinal nematode infections in browsing goats. *Parasite*, 22, 19. doi.org/10.1051/parasite/2015019
- Gutiérrez-Segura, I., Torres-Acosta, J. F., Aguilar-Caballero, A. J., Cob-Galera, L., May-Martínez, M., Sandoval-Castro, C. 2003. Supplementation can improve resilience and resistance of browsing criollo kids against nematode infections during the wet season. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 3, 537-540.
- Holmes, P.H. 1993. Interactions between parasites and animal nutrition: the veterinary consequences. *Proceedings of the Nutrition Society*. 52, 113–120. doi:10.1079/pns19930043.

- Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J. 2011. Non chemical control of helminths in ruminants: Adapting solutions for changing worms in a changing world. *Veterinary Parasitology*, 18, 144-154. doi:10.1016/j.vetpar.2011.05.035.
- Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J., Quijada, J., Chan-Perez, I., Dakheel, M. M., Kommuru, D. S., Mueller-Harvey, I., Terril, T. H. 2016. Interactions between nutrition and infections with *Haemonchus contortus* and related gastrointestinal nematodes in small ruminants. *Advances in Parasitology*, 93, 239-251. doi.org/10.1016/bs.apar.2016.02.025
- Kates, K. C, Allen, R. W., Wilson, G. I. 1962. Effects of Two Diets on Experimental Hemococis in Lambs. *The Journal of Parasitology*, 48, 865-870.
- Khan, F. A., Sahoo, A., Dhakad, S., Pareek, A. K. Karim, S. A. 2011. Effect of trickle infection with *Haemonchus contortus* on pathophysiology and metabolic responses of growing lambs. *Indian Journal of Animal Sciences*. 81 (10), 1005-1009.
- Khan, F. A., Sahoo, A., Sonawane, G. G., Karim, S. A., Dhakad, S., Pareek, A. K., Tripathi, B. N. 2012. Effect of dietary protein on responses of lambs to repeated *Haemonchus contortus* infection. *Livestock Science*, 150, 143-151.
- Kimambo, A.E., MacRae, J.C., Walker, A., Watt, C.F., Coop, R.L. 1988. Effect of prolonged subclinical infection with *Trichostrongylus colubriformis* on the performance and nitrogen metabolism of growing lambs. *Veterinary Parasitology*, 28, 191– 203.
- Ku-Vera, J. C., Avilés, L. R., Ferrer, G. J., Alayón, J. A., Cancino, L. R. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. *FAO Animal Production and Health Paper*, 231-258. Disponible en <http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/FRG/AGROFOR1/ku10.htm>, consultado el 17 de noviembre de 2017.
- Kyriazakis, I., Houdijk, J. 2006. Immunonutrition: Nutritional control of parasites. *Small Ruminant Research*. 62: 79–82. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.07.036.

- Liu, S. M., Masters, D. G., Adams, N. R. 2003. Potential impact of nematode parasitism on nutrient partitioning for wool production, growth and reproduction in sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43, 1409-1417. doi.org/10.1071/EA03017
- Liu, S. M., Smith, T. L., Karlsson, L. J. E., Palmer, D. G., Besier, R. B. 2005. The cost for protein and energy requirements by nematode infection and resistance in Merino sheep. *Livestock Production Science*, 97, 131-139. doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.03.007
- Martínez-Ortíz de Montellano, C., Vargas-Magaña, J. J., Aguilar-Caballero, A. J., Sandoval-Castro, C. A., Cob-Galera, L., May-Martínez, M., Miranda-Soberanis, Hoste, H., Cámara-Sarmiento, R., Torres-Acosta, J. F. F. 2007. Combining the effects of supplementary feeding and cooper oxide needles for the control of gastrointestinal nematodes in browsing goats. *Veterinary Parasitology*, 146, 66-76.
- Nnadi, P. A., Kamalu, T. N., Onah, D. N. 2009. The effect of dietary protein on the productivity of West African Dwarf (WAD) goats infected with *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 161(3-4), 232-238. doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.01.014
- Nnadi, P. A., Kamalu, T. N., Onah, D. N. 2007. The effect of dietary protein supplementation on the pathophysiology of *Haemonchus contortus* infection in West African Dwarf goats. *Veterinary Parasitology*, 148(3-4), 256-261. doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.06.017
- NRC. 2007. *Nutritional Requirements of Small Ruminants*. The National Academies Press, Washington, D. C., USA.
- Pérez-Ramírez, H., Álvarez, J. A., Cruz, C. 2005. Módulo de producción con ovinos de pelo “El cenizontle”. En: CEIEGT. 2005. *Memorias 13° día del ganadero*. FMVZ, UNAM, Veracruz, México: 47-62.
- Poppi, D. P., MacRae, J. C., Brewer, A., Coop, R. L. 1986. Nitrogen transactions in the digestive tract of lambs exposed to the intestinal parasite, *Trichostrongylus colubriformis*. *The British Journal of Nutrition*, 55, 593-602. https://doi.org/10.1079/BJN19860064
- Poppi, D. P., MacRae, J. C., Corrigan, W. Coop, R. L. 1981. Nitrogen digestion in sheep infected with intestinal parasites. *Proceedings of the Nutrition Society* 40, 116A.

- Pugh, D. G., Baird, N. N. 2012. Sheep and goat medicine: Elsevier Health Sciences.
- Retama-Flores, C., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Aguilar-Caballero, A.J., Camara-Sarmiento, R., Canul-Ku, H.L., 2012. Maize supplementation of Pelibuey sheep in a silvopastoral system: fodder selection, nutrient intake and resilience against gastrointestinal nematodes. *Animal*, 6, 145-153. doi.org/10.1017/S1751731111001339
- Rocha, R. A., Bricarello, P. A., Silva, M. B., Houdijk, J. G. M., Almeida, F. A., Cardia, D. F. F., Amarante, A. F. T. 2011. Influence of protein supplementation during late pregnancy and lactation on the resistance of Santa Ines and Ile de France ewes to *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 181(2–4), 229–238. doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.03.055
- Rowe, J. B., Nolan, J. V., De Chaneet, G., Teleni, E. 1988. The effect of hemoncosis and blood loss into the abomasums on digestion in sheep. *British Journal Nutrition*, 59, 125-139.
- Steel, J.W., Symons, L.E.A., Jones, W.O., 1980. Effects of level of larval intake on the productivity and physiological and metabolic responses of lambs infected with *Trichostrongylus colubriformis*. *Australian Journal of Agricultural Research*, 4, 821– 838.
- Sykes, A. R., Greer, A. W. 2003. Effects of parasitism on the nutrient economy of sheep: An overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(12), 1393–1398.
- Symons, L.E.A., Steel, J.W., Jones, W.O. 1981. Tissue protein metabolism in parasitized animals. *Isotopes and radiation in parasitology*. FAO/IAEA Division of Atomic Energy in Food and Agriculture, Cambridge, UK, pp. 171– 178.
- Sumbria, D, Sanyal, P. K. 2009. Exploiting Nutrition-Parasite Interaction for sustainable control of Gastrointestinal Nematodosis in sheep. *Vet Scan*. 4, 10–17.
- Torres-Acosta, J. F. J., Jacobs, D. E., Aguilar-Caballero, A., Sandoval-Castro, C., May-Martinez, M., Cob-Galera, L. A. 2004. The effect of supplementary feeding on the resilience and resistance of browsing Criollo kids against natural gastrointestinal nematode infections during the rainy season in tropical Mexico. *Veterinary Parasitology*, 124(3–4), 217–238. doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.07.009

- Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A. J., Cámara-Sarmiento R., Alonso-Díaz, M. A. 2012. Nutritional manipulation of sheep and goats for the control of gastrointestinal nematodes under hot humid and subhumid tropical conditions. *Small Ruminant Research*. 103: 28-40.
- Wallace, D. S., Bairden, K., Duncan, J. L., Eckersall, P. D., Fishwick, G., Holmes, P. H., Stear, M. J. 1999. The influence of increased feeding on the susceptibility of sheep to infection with *Haemonchus contortus*. *Animal Science*. 69, 457–463. doi.org/10.1017/S1357729800051031
- Wallace, D. S., Bairden, K., Duncan, J. L., Fishwick, G. 1995. Influence of supplementation with dietary soyabean meal on resistance to hemoncosis in Hampshire down lambs. *Research in Veterinary Science*, 58, 232-237. doi.org/10.1016/0034-5288(95)90108-6
- Wallace, D. S., Bairden, K., Duncan, J. L., Fishwick, G. 1996. Influence of soyabean meal on the resistance of Scottish blackface lambs to hemoncosis. *Research in Veterinary Science*, 60(2), 138-143. doi.org/S0034-5288(96)90008-9

6. ARTÍCULO

Balance de nitrógeno en corderos de pelo infectados con *Haemonchus contortus*

E. Ramos-Bruno*, C. A. Sandoval-Castro, J. F. J. Torres-Acosta, L. Sarmiento-Franco

Realizado de acuerdo a los lineamientos de *Journal of Animal Science*

Balance de nitrógeno en corderos de pelo infectados con *Haemonchus contortus*

E. Ramos-Bruno*¹, C. A. Sandoval-Castro*, J. F. J. Torres-Acosta*, L. Sarmiento-Franco*

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5
carretera Mérida-Xmatkuil, Mérida, Yucatán, México ¹Autor correspondiente:

veterinario_unam@hotmail.com

RESUMEN: Se evaluó la pérdida de nitrógeno en corderos de pelo infectados con *H. contortus*. El trabajo se realizó con 24 corderos (16.7 ± 1.7 kg), criados libres de nematodos; se agruparon en No infectados (n= 6) e Infectados (n= 18). En la semana de infección (SI) 0, el inicio del experimento, aleatoriamente 9 animales se infectaron con 300 larvas L3 de *H. contortus*/kg de peso vivo (PV); los otros 9 se infectaron con 500 larvas L3 de *H. contortus*/kg de PV. Se alimentaron para una ganancia diaria de peso de 100 g. Semanalmente se midió el consumo de materia seca, materia orgánica y proteína cruda, así como hematocrito (Hto), ganancia de peso (GP) y digestibilidad aparente de materia seca (DAMS). En la SI-0, SI-1, SI-3 y SI-5 se estimó la proporción de eosinófilos (EOS), la digestibilidad aparente de materia orgánica (DAMO) y proteína cruda (DAPC), así como la retención de nitrógeno (RN). A partir de los 21 días postinfección (DPI), semanalmente se midieron los huevos de *H. contortus* por gramo de heces (HPG), así como el total de huevos en heces (THH). Se sacrificaron los corderos a los 42 DPI para medir la carga parasitaria (CP) en abomaso, así como el rendimiento de canal (RC). En promedio, el mínimo y máximo de HPG fue 344 y 18,444 respectivamente. No se halló correlación significativa entre variables parasitológicas con las variables de consumo, DAMS, DAMO, GP, EOS, RN y RC. Todos los corderos tuvieron RN positiva, independientemente de su nivel de infección. Se halló correlación negativa entre los valores promedio de Hto ($P < 0.001$) y DAPC ($P < 0.05$) con los valores promedio tanto de HPG como de THH. La CP mostró una correlación negativa ($P < 0.001$) con el Hto previo al sacrificio y el Hto promedio. Solo un cordero presentó signos clínicos de hemoncosis. Aparentemente la alimentación permitió a los corderos mostrar resiliencia, y resistencia en algunos, contra los efectos de la infección con *H. contortus*. Los resultados sugieren que, en corderos de pelo en crecimiento que consumen una dieta estimada para GDP 100 g, la infección con *H. contortus* no representa una pérdida de nitrógeno medido en RN.

Palabras clave: costo metabólico, balance de N, digestibilidad, *Haemonchus*, nutrición, ovinos de pelo

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales parásitos que afectan la salud y producción de los pequeños rumiantes, mayormente en trópico, es *Haemonchus contortus*. Este parásito provoca cambios en el metabolismo debido a la reducción del consumo de alimento y digestibilidad, y por lo tanto la absorción de nutrientes. Una fracción de los nutrientes digeridos se destinará a la reparación de los tejidos dañados por el parásito, lo que supone un costo metabólico (CM). La mayoría de estudios que han evaluado el CM, se realizaron en razas ovinas especializadas, ya sea en producción de lana o cárnicas (Besier *et al.*, 2016b; Hoste *et al.*, 2016). El incremento en la demanda de nutrientes del CM se ha medido principalmente por el incremento de N perdido en el tracto gastrointestinal (Poppi *et al.*, 1981; Symons *et al.*, 1981; Kimambo *et al.*, 1988), mayores requerimientos de energía y proteína metabolizable (Liu *et al.*, 2005; Retama-Flores *et al.*, 2012). En condiciones de trópico, se ha señalado que las infecciones por nematodos gastrointestinales (NGI) en ovinos tienen un CM de 43.5 g/día de ganancia de peso vivo (PV; Retama-Flores *et al.*, 2012), mientras que en caprinos es de 41 g/día de ganancia de PV (Gárate-Gallardo *et al.*, 2015). A pesar de los esfuerzos por evaluar el impacto del parasitismo sobre el requerimiento de nutrientes, no se han evaluado en relación con el sitio y nivel de infección (NRC, 2007), lo cual es necesario para mejorar la suplementación alimenticia (Hoste y Torres-Acosta, 2011). Nuestra hipótesis es que los corderos de pelo parasitados con *H. contortus* tienen mayor pérdida de nitrógeno que aquellos libres de parásitos, y esta pérdida es directamente proporcional al grado de infección. Consecuentemente, el objetivo del presente trabajo fue estimar la relación entre el nivel de infección con *H. contortus* y el balance de nitrógeno en corderos de pelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Autónoma de Yucatán, de septiembre a octubre de 2017. El clima de la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura promedio anual de 27 °C. La precipitación pluvial anual promedio es de 940 mm y la humedad relativa promedio anual de 72% (Flores, 2001). Todos los cuidados animales, técnicas de manejo, toma de muestras y licencia para la infección fueron

aprobados y certificados (CB-CCBA-M-2017-003) por el Comité de Bioética de la FVMZ, previo al inicio de la investigación.

Animales e Infección. Se utilizaron 24 corderos de pelo, machos, de un rebaño comercial de la zona, de 3 a 4 meses de edad, con un PV promedio de 16.7 ± 1.7 kg. Los animales se desparasitaron 13 días previos a la infección artificial, como medida profiláctica, con levamisol (7.5 mg/kg PV) y ricobendazol inyectables (5 mg/kg PV). Tres días previos a la infección artificial, mediante la técnica modificada de McMaster (Rodríguez y Cob, 2005) se corroboró que los corderos estuvieran libres de parásitos.

Las larvas infectantes de *H. contortus* se obtuvieron mediante la técnica estándar de Baerman (Rodríguez y Cob, 2005) con un máximo de 60 días previos a la infección artificial, provenientes de cultivos de heces de cabritos con infección monoespecífica. Se almacenaron a 4°C en agua potable hasta el día de la inoculación. Las dosis infectantes fueron diluidas en 10 ml de agua y administradas oralmente.

Los animales se agruparon en Infectados (n= 18) y No infectados (n= 6). En la semana de infección (SI) 0, el inicio del experimento, aleatoriamente 9 animales se infectaron con 300 larvas L3 de *H. contortus*/kg de PV; los otros 9 se infectaron con 500 larvas L3 de *H. contortus*/kg de PV, completándose la infección en dos días consecutivos. La inoculación de las larvas se realizó de esta manera para obtener diferentes niveles de la infección, no para comparar las dosis infectantes. La cantidad de larvas promedio (\pm desviación estándar) fue $6,608.3 \pm 1,942.3$ larvas L3 de *H. contortus*. Siendo la dosis máxima 9,500 larvas, mientras que la mínima de 3,870. El cordero A7 recibió una dosis infectante de 7,400 larvas L3.

Alimentación. Se proporcionó pasto *Pennisetum purpureum* (44.42% de inclusión), cortado y picado diariamente en la mañana, y alimento concentrado elaborado con maíz molido (24.19% de inclusión), pasta de soya (24.17 % de inclusión), carbonato de calcio (2.02 % de inclusión) y melaza (5.2 % de inclusión; Tabla 1). La dieta fue calculada para una ganancia diaria de peso de 100 g (AFRC, 1993) desde el inicio al término del experimento (Semana 0 a 5 de infección); con 15.4% de proteína cruda (PC) y 10.52 MJ de EM/kg de materia seca (MS). La cantidad de pasto y concentrado se ajustó semanalmente de acuerdo al PV de los corderos. El alimento se suministró una vez al día, los animales tuvieron libre acceso a agua potable. Durante el periodo de adaptación

a la dieta (5 días) se mantuvieron en corrales con piso de cemento, posteriormente los animales se alojaron en jaulas metabólicas individuales donde estuvieron todo el periodo experimental (42 días de infección). Se proporcionaron 8 días de adaptación a las jaulas metabólicas antes de iniciar las mediciones.

Análisis parasitológico. A los 21, 23 y 25 días postinfección (DPI) se colectaron heces de los animales infectados (4 g aproximadamente) directo del recto del animal, utilizando una bolsa de plástico a modo de guante. Las heces fueron analizadas mediante la técnica modificada de McMaster (Rodríguez y Cob, 2005) para poder definir la patencia de la infección; una vez establecida en todos los animales, el muestreo y análisis de heces se realizaron en la SI-4, SI-5 y SI-6 (previo al sacrificio de los corderos). Se realizó el mismo procedimiento en los animales no infectados para confirmar la ausencia de NGI. Los resultados de McMaster se expresan en huevos por gramo de heces (HPG). En la SI-3, SI-4 y SI-5, durante tres días se midió la producción diaria de heces para poder estimar la eliminación total de huevos de *H. contortus* en heces (THH), se obtuvo multiplicando los HPG por la cantidad total (g) de heces producidas.

Ganancia de peso (GP). Los animales se pesaron semanalmente, desde el día de la infección (día 0) hasta los 42 DPI, para determinar la GP. Se realizó antes de proporcionar agua y alimento, además de cualquier otro manejo en los corderos. Los corderos se pesaron previo al sacrificio.

Análisis sanguíneo. El muestreo sanguíneo se realizó individualmente una vez a la semana por medio de punción yugular, con agujas desechables 21G, colocados en porta-tubos para la transferencia de sangre, se extrajo aproximadamente 4 ml de sangre en tubos de plástico con anticoagulantes (tubos EDTA; BD Vacutainer®, Plymouth, R. U.). Los tubos con sangre se mantuvieron en refrigeración (4°C) para su posterior análisis. El hematocrito (Hto) se midió semanalmente, y un día previo al término del experimento, por el método de microhematocrito. En la semana 0, 1, 3 y 5 de infección se midió el porcentaje de eosinófilos (EOS) circulantes por medio del diferencial de glóbulos blancos, en el laboratorio de análisis clínicos de la FMVZ.

Consumo de alimento y Digestibilidad aparente. Desde el día de la infección, diariamente se pesó el alimento ofrecido y rechazado para medir el consumo voluntario. El consumo de materia seca (MS), PC, Nitrógeno (N) y materia orgánica (MO) se calculó de la diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado. Tres días de cada semana de infección se pesó la producción diaria de heces, para

medir la digestibilidad aparente de MS (DAMS). En la semana 0, 1, 3, y 5 de infección se midió la digestibilidad aparente de MO (DAMO) y PC (DAPC). En tres días de las semanas 0, 1, 3 y 5 se midió la producción diaria de orina, se mantuvo con un pH <3 al agregar 80 ml de una solución diluida de ácido sulfúrico (4M) por litro (Loyra-Tzab *et al.*, 2013). Todas las muestras de alimento, heces y orina se congelaron para su posterior análisis.

Análisis químico. Las muestras de alimento, heces y orina fueron remitidas al laboratorio de Nutrición Animal de la FMVZ para su análisis. La MS del pasto, concentrado y heces se determinó por secado en estufa, a peso constante a 55°C por 48 h. El contenido de PC del alimento, heces y orina fue calculado después de medir el contenido de N, usando el método Dumas (TRUMAC® Leco® CN-2013). En el pasto se determinó la fibra detergente neutro y ácida, así como lignina, mediante la técnica de la bolsa de papel filtro (Equipo Digestor/Analizador ANKOM 200/220). El extracto etéreo del alimento se midió con el método Randall (VELP® modelo SER 148). El contenido de cenizas se determinó en alimento y heces, al calentar las muestras a 600°C por 16 h; la MO fue calculada por diferencia.

Retención de Nitrógeno (RN). Se midió la RN en las semanas de infección 0, 1, 3 y 5, mediante la fórmula: $RN (g/kg PV^{0.75}) = (NC - NHe - NO_r) / PV^{0.75}$; donde NC: N consumido, NHe: N eliminado en heces, NO_r: N eliminado en orina, PV^{0.75}: peso metabólico.

Análisis parasitológico post mortem. A los 42 DPI los animales se sacrificaron en el rastro de la FMVZ, de acuerdo a la normatividad vigente (NOM-033-Z00-1995), para extraer el abomaso y contabilizar la fase adulta de *H. contortus*. El abomaso se removió por completo, se abrió a lo largo de la curvatura mayor y se lavó mediante presión moderada. El contenido abomasal se colectó en frascos de plástico herméticos con solución de formalina al 5% para su posterior análisis. Para el conteo de parásitos adultos de *H. contortus*, el contenido de abomaso se lavó de nuevo (tamiz No. 200). Se recogieron cinco alícuotas de 40 ml cada una (0.10 del total del contenido). La fase adulta de *H. contortus* se contó en la submuestra mediante estereoscopio (40X), se contaron por separado machos y hembras. El resultado total se multiplicó por un factor de corrección de 10.

Rendimiento de canal (RC). Los corderos se pesaron previo al sacrificio para poder determinar el RC. Las canales (masas musculares, hueso y riñón con grasa perirenal; se excluyen piel, vísceras, cabeza, metatarsos y metacarpos) se conservaron 24 h en refrigeración a 4 °C. Posteriormente

fueron pesadas. El RC se determinó mediante la fórmula: $RC = (\text{Peso de canal} / \text{Peso vivo antes de sacrificio}) * 100$.

Análisis estadístico. Para describir la fisiopatología de la infección se obtuvieron los valores mínimos, máximos, y mediana de las variables, así como sus promedios y desviación estándar, iniciando en la semana de infección (SI) 0, momento de inoculación. A partir de la SI3, cada semana se realizaron análisis de correlación y regresión simple del efecto de las variables parasitológicas (HPG y THH) sobre cada una de las variables de consumo (MS, MO, PC), GDP, DAMS, DAPC, DAMO, Hto y EOS; la carga parasitaria se analizó con las mediciones previas al sacrificio de Hto y GP, así como con sus promedios, para el resto de las variables se analizó con el promedio de la SI3 a las SI5. El análisis de regresión y correlación del RC se realizó con la última medición de hpg y la carga parasitaria. Para todos los rasgos, el cordero fue la unidad experimental debido a que fueron alimentados y manejados individualmente. La significancia se determinó a $p \leq 0.05$. Se usó el programa estadístico Minitab® 18. Se excluyó de los análisis a uno de los 18 animales infectados, denominado A7, debido a la severa disminución en el consumo voluntario, modificando en extremo los datos de digestibilidad y RN.

Tabla 1. Composición química (promedio \pm desviación estándar) de *Pennisetum purpureum* y alimento concentrado.

Elemento, %	Pasto	Concentrado ¹
Materia seca	23.78 \pm 4.26	88.82 \pm 2.29
Materia orgánica	92.43 \pm 1.14	93.74 \pm 0.36
Proteína cruda	7.91 \pm 1.3	28.35 \pm 1.65
EB, MJ/kg MS	15.4 \pm 0.27	16.04 \pm 0.28
Extracto etéreo	0.91 \pm 0.1	1.38 \pm 0.38
FDN	60.25 \pm 3.12	-
FDA	37.34 \pm 3.84	-
Lignina	6.73 \pm 1.46	-

¹Elaborado con maíz molido, pasta de soya, melaza, carbonato de calcio

RESULTADOS

Infección y análisis parasitológico. La patencia de la infección se observó entre los 21 y 25 DPI. En la tabla 2 se describen el conteo de HPG y el THH; se observa la amplia distribución de los niveles de infección. Únicamente un animal, diferente a A7, mostró un aumento constante de hpg desde la SI3 hasta la SI5. La cantidad máxima de HPG contabilizada fue 28,200, la cual se redujo a 14,550 al finalizar el experimento. No se detectaron huevos de NGI en los corderos no infectados.

Datos fisiopatológicos: Únicamente el cordero A7 mostró un cuadro clínico de haemoncosis: anorexia, descenso de Hto, se alteró la digestibilidad, pérdida de peso, debilidad general, no se observó edema submandibular. El máximo rechazo de alimento de A7 se observó en la SI-3, siendo de 76.86% del total de la dieta. En la SI4 disminuyó su peso, para posteriormente mostrar una tendencia ascendente. La máxima eliminación de HPG se observó en la SI4, siendo de 21,750; descendió hasta 6,800 HPG a los 42 DPI. El Hto del A7 comenzó a descender desde la SI2 (37%), teniendo su menor nivel en la SI5 (22%) y en la SI6 muestra una ligera recuperación (26%).

Tabla 2. Estadística descriptiva del conteo semanal de huevos de *Haemonchus contortus* por gramo de heces (HPG) y el total de huevos de *H. contortus* en heces (THH) de corderos de pelo infectados artificialmente.

HPG	Semana de infección				Promedio
	3	4	5	6	
Promedio	1,367	6,271	5,653	3,838	4,430
D.E. ^a	1,523.1	5,918.4	7,636.9	4,628.5	4,767.4
Mediana	967	4,225	2,450	2,775	2,642
Mínimo	17	300	100	100	344
Máximo	3,850	21,850	28,200	14,550	18,444
THH					
Promedio	628,782	2,405,635	2,303,408	-	1,779,275
D. E	704,419.1	2,380,304.8	3,261,495.7	-	2,019,183.1
Mediana	399,500	1,635,133	1,136,550	-	8,039,137
Mínimo	7,522	134,600	45,067	-	127,859
Máximo	2,659,278	9,031,333	12,426,800	-	8,039,137

^aDesviación estándar

Rechazo de alimento. El rechazo en los animales infectados fue en promedio 6.6% en la SI0, disminuyendo semanalmente, llegando a ser menor del 1% en la SI4. Se observó un consumo semejante de MS y MO, mientras que el CPC se mantiene ligeramente superior en los corderos infectados desde la SI2.

Ganancia de peso. La GP de los animales infectados desde el día de la infección hasta el día previo al sacrificio fue en promedio 2.42 ± 0.61 kg; para los no infectados la GP fue en promedio 2.14 ± 0.58 kg. En los animales infectados, la GDP desde el día de la infección artificial hasta el día previo al sacrificio fue 0.09 ± 0.018 kg, en los corderos no infectados fue 0.09 ± 0.018 kg.

Análisis sanguíneo. El Hto promedio de los animales infectados en la SI2 fue 36 ± 2.7 , a partir de entonces se observó una tendencia descendente, teniendo su valor más bajo en la SI5 (29 ± 4.04), para posteriormente mostrar una tendencia ascendente al término del experimento (31 ± 4.97). El promedio de EOS en los animales infectados en la SI-0 fue 4.3 ± 3.04 , aumenta en la SI-1 a 5.2 ± 4.53 , en la SI-3 fue 3.0 ± 3.65 , para la SI-5 2.7 ± 3.44 . En los animales no infectados, el promedio de EOS en la SI-0, SI-1, SI-3 y SI-5 fue 3.8 ± 2.56 , 5.7 ± 2.94 , 4.0 ± 2.83 y 4.5 ± 3.89 respectivamente.

Digestibilidad aparente y Retención de nitrógeno. La DAMS promedio de los animales infectados fue 68.54 ± 1.39 %, mientras que para los no infectados fue 67.98 ± 1.21 %. El promedio de DAMO de los corderos infectados fue 70.88 ± 1.65 %, en los no infectados fue de 70.63 ± 0.67 %. La DAPC promedio de los animales infectados fue 78.33 ± 2.05 %, para los no infectados, el promedio fue 78.61 ± 0.97 %. La RN fue positiva en todas las semanas de infección, el promedio de los animales infectados fue 0.93 ± 0.18 g N/kg PV^{0.75}, mientras que en los no infectados fue 0.97 ± 0.2 g N/kg PV^{0.75}.

Análisis parasitológico postmortem. En promedio se colectaron $1,202.22 \pm 1,035.65$ parásitos adultos de *H. contortus*, siendo lo mínimo 50 parásitos, mientras que la mayor cantidad fue 3,190. En el cordero A7 se recuperaron 2,900 parásitos adultos.

Rendimiento de canal. En la tabla 3 se muestra un resumen del PV final, peso de la canal y el RC.

Tabla 3. Estadística descriptiva del peso vivo final (PVF), peso de canal (PC) y el rendimiento de canal (RC) de corderos de pelo no infectados e infectados artificialmente con *Haemonchus contortus*.

	PVF, kg		PC, kg		RC, %	
	Inf ¹	NoInf ²	Inf	NoInf	Inf	NoInf
Mínimo	17.4	18.8	6.8	7.6	38.4	40.43
Máximo	22.6	22.6	10.6	10.4	58.6	46.6
Promedio \pm D. E ³	19.3 \pm 1.7	21 \pm 1.7	9.1 \pm 1.0	9.2 \pm 1.1	44.7 \pm 4.5	43.8 \pm 2.4

¹Inf: Corderos infectados con L3 de *H. contortus*

²NoInf: Corderos libres de infección de *H. contortus*

³Desviación estándar

Efecto de las variables parasitológicas sobre variables de consumo, digestibilidad, sanguíneas, ganancia de peso y retención de nitrógeno. No se halló relación significativa de HPG, y THH, con las variables de consumo (figura 1), así como DAMS (figura 2) y DAMO. Las correlaciones de las variables parasitológicas con la GP no fueron significativas (figura 3), así como con EOS, RC, tampoco se encontró correlación significativa con la RN (figura 4). En la tabla 4 se muestran las correlaciones significativas halladas, las fórmulas de regresión de dichas correlaciones se presentan en la tabla 5. Se determinó una relación lineal negativa en la SI3 (P=0.03) y la SI4 (P<0.001) de HPG sobre Hto (figura 5); para la SI5, SI6 y el promedio de la SI3 a la SI6, esta relación se ajustó mejor con un modelo de regresión cuadrática (P<0.001; figura 3). Se obtuvo una relación lineal negativa en la SI5 entre HPG y DAPC (P=0.02; figura 2), así como entre el promedio de la SI3 a la SI5 (P=0.02). Se halló una relación lineal negativa (P=0.02) del THH sobre la DAPC en la SI5, así como entre el promedio de la SI3 a la SI5 (P=0.02). Se determinó una relación lineal negativa entre el THH y Hto en la SI3 (P=0.046) y SI4 (P<0.001), para la SI5 y el promedio de la SI3 a la SI5 esta relación se ajustó mejor con un modelo de regresión cuadrática (P<0.001). La carga parasitaria tuvo una relación lineal negativa (P<0.001) con el Hto previo al sacrificio de los corderos, así como con el promedio de la SI3 a la SI6 (P<0.001).

Tabla 4. Coeficiente de correlación de variables parasitológicas con la digestibilidad aparente de proteína cruda (DAPC) y hematocrito (Hto) en corderos de pelo infectados artificialmente con *Haemonchus contortus*.

	Semana de infección				Promedio
	3	4	5	6	
HPG^b					
DAPC, %	-0.31	-	-0.47*	-	-0.47*
Hto, %	-0.46*	-0.72*	-0.79**	-0.73**	-0.76**
THH^c					
DAPC, %	-0.36	-	-0.49*	-	-0.48**
Hto, %	-0.42*	-0.71**	-0.77**	-	-0.68**
C. P.^d					
Hto, %	-	-	-	-0.83**	-0.77**

^bHuevos de *H. contortus* por gramo de heces

^cTotal de huevos de *H. contortus* en heces

^dCarga parasitaria medida después del sacrificio de los corderos

*P<0.05; **P<0.01

Tabla 5. Análisis de regresión^a (\pm EE^b) del efecto de las variables parasitológicas sobre la digestibilidad aparente de proteína cruda (DAPC) y hematocrito (Hto) en corderos de pelo infectados artificialmente con *Haemonchus contortus*.

	Semana de infección				Promedio
	3	4	5	6	
HPG^d					
DAPC, %	78.32 (\pm 0.77) - 0.0007 (\pm 0.0004)X	-	78.82 (\pm 0.44) - 0.0001 (\pm 0.00005)X*	-	78.64 (\pm 0.47) - 0.0002 (\pm 0.00008)X*
Hto, %	33.74 (\pm 0.61) - 0.0008 (\pm 0.0004)X*	32.6 (\pm 0.66) - 0.0004 (0.00009)X**	32.9 (\pm 0.546) - 0.001 (\pm 0.0002)X + 0.0 (\pm 0.0)X ² **	35.35 (\pm 0.83) - 0.002 (\pm 0.0005)X + 0.0 (\pm 0.0)X ² **	34.06(\pm 0.63) - 0.001 (\pm 0.0003)X + 0.0 (\pm 0.0)X ² **
THH^e					
DAPC, %	78.42 (\pm 0.75) - 0.000002 (\pm 0.000001)X	-	78.8 (\pm 0.4) - 0.0 (\pm 0.0)X*	-	78.6 (\pm 0.5) - 0.0 (\pm 0.0)X*
Hto, %	33.66 (\pm 0.62) - 0.000002 (\pm 0.000001)X*	32.5 (\pm 0.66) - 0.000001 (\pm 0.0)X**	32.9 (\pm 0.5) - 0.000002 (\pm 0.0)X + 0.0 (\pm 0.0)X ² **	-	33.6 (\pm 0.64) - 0.000002 (\pm 0.000001)X + 0.0 (\pm 0.0)X ² **
C. P.^f					
Hto, %	-	-	35.25 (\pm 0.7) - 0.004 (\pm 0.0006)X**	-	33.6 (\pm 0.6) - 0.003 (\pm 0.0005)X**

^aY= DAPC o Hto, X= variable parasitológica

^bError Estándar

^dHuevos de *H. contortus* por gramo de heces

^eTotal de huevos de *H. contortus* en heces

^fCarga parasitaria medida después del sacrificio de los corderos

*P<0.05; **P<0.01

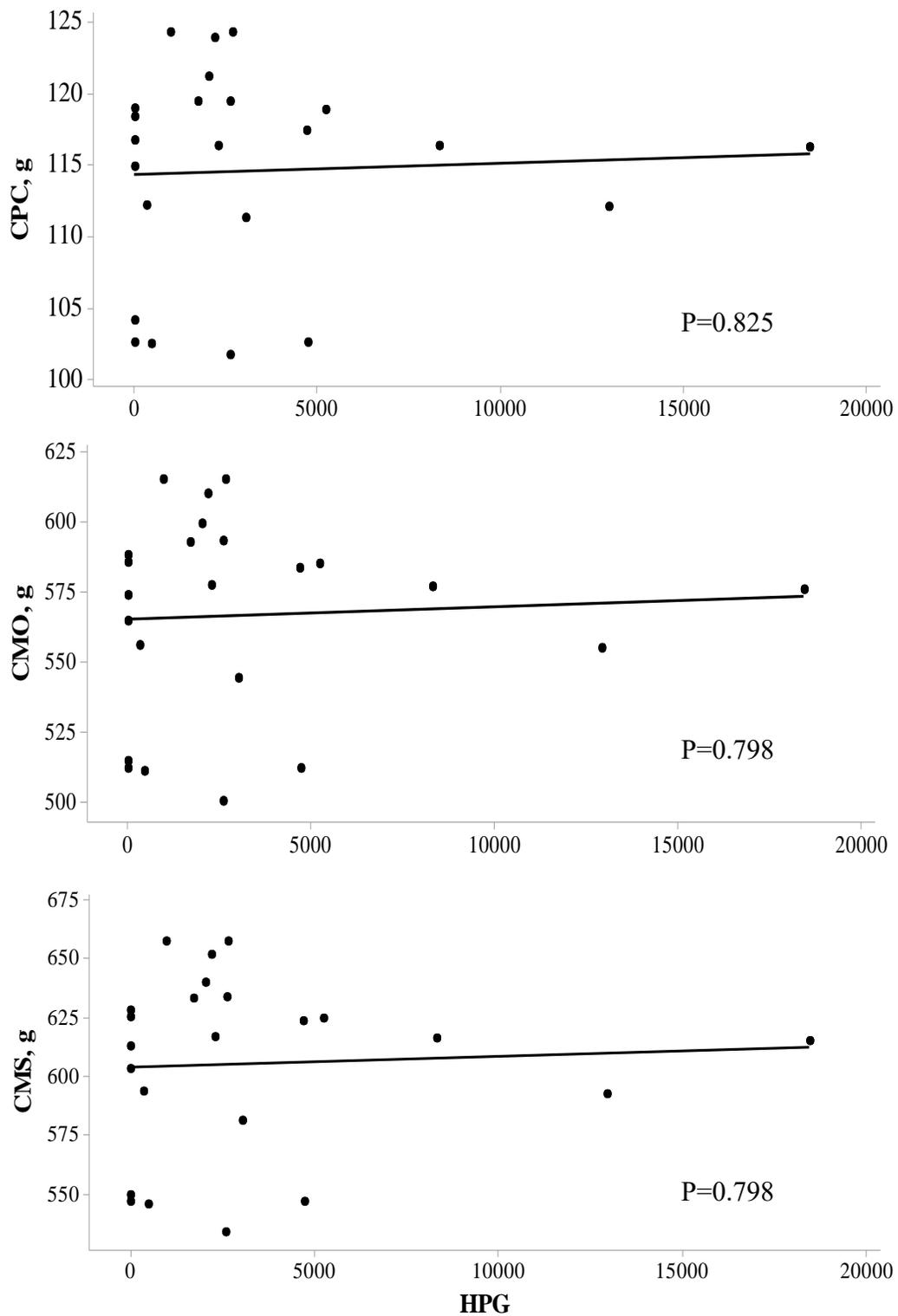


Figura 1. Análisis de regresión del promedio de huevos de *Haemonchus contortus* por gramo de heces (HPG) con del promedio del consumo de materia seca (CMS), materia orgánica (CMO) y de proteína cruda (CPC).

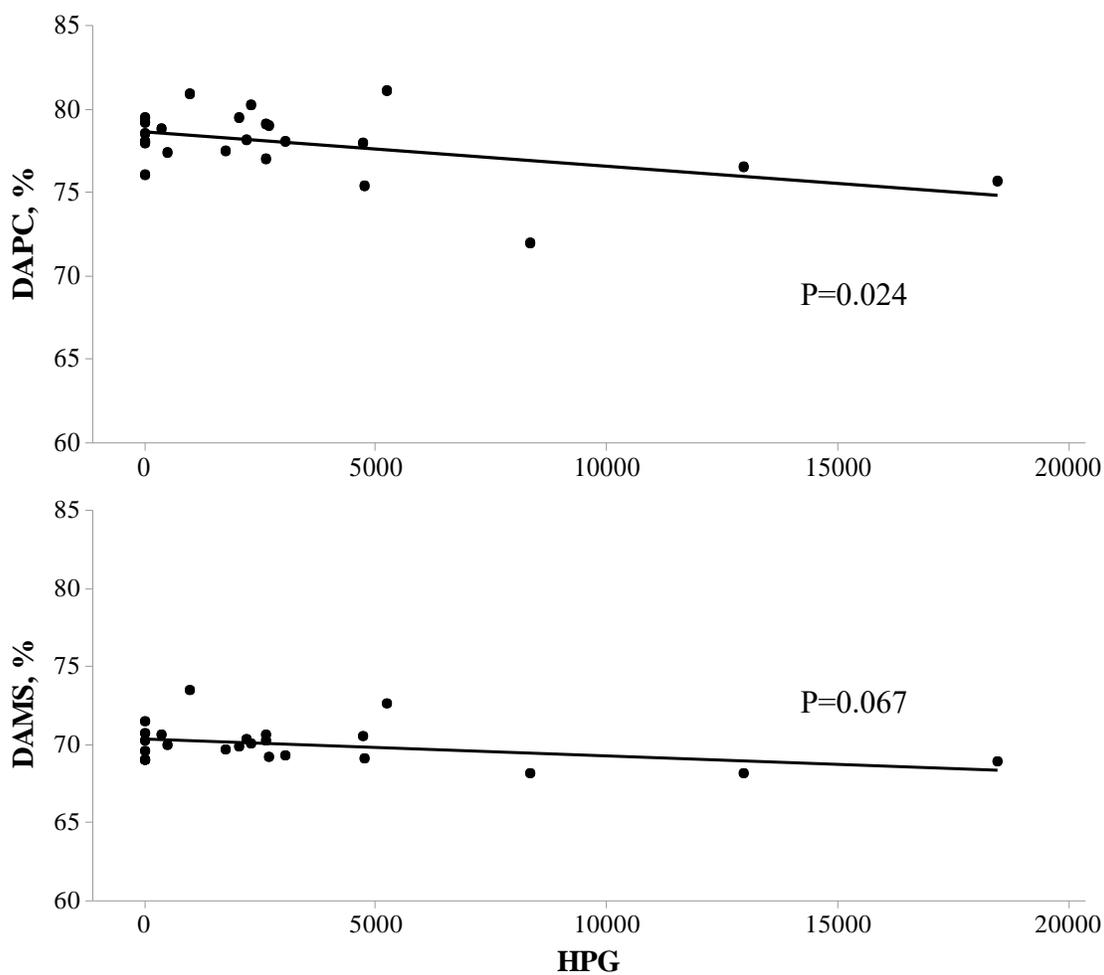


Figura 2. Análisis de regresión del promedio de huevos de *Haemonchus contortus* por gramo de heces (HPG) con la digestibilidad aparente de materia seca (DAMS) y de proteína cruda (DAPC) en corderos de pelo infectados artificialmente con *H. contortus*.

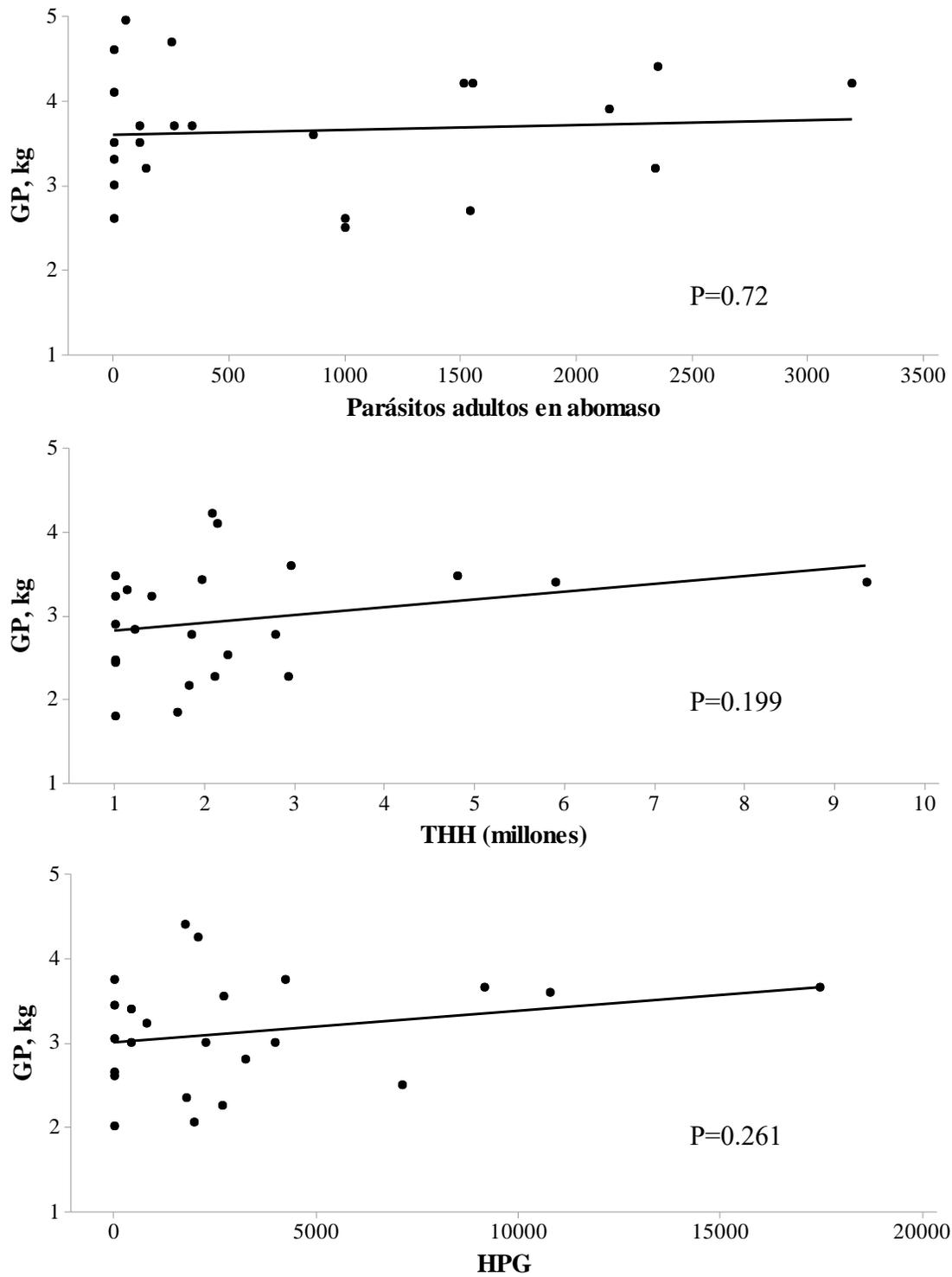


Figura 3. Análisis de regresión del promedio de las variables parasitológicas (Huevos de *Haemonchus contortus* por gramo de heces (HPG); Total de huevos de *H. contortus* en heces (THH)) con el promedio de la ganancia de peso (GP). El análisis de regresión de los parásitos adultos de *H. contortus* recuperados de abomaso, se realizó con la GP previa al sacrificio de los corderos.

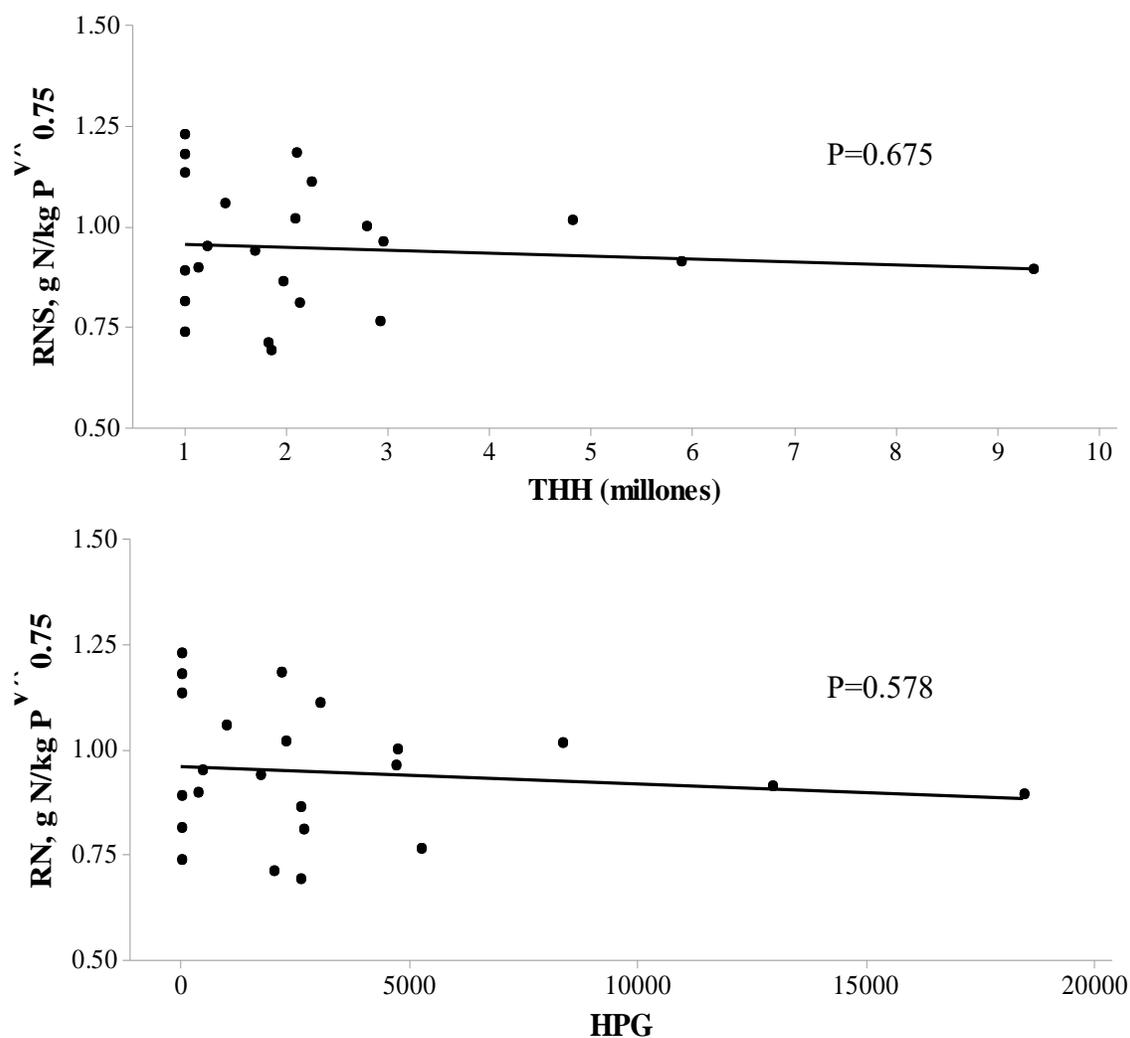


Figura 4. Análisis de regresión del promedio de las variables parasitológicas (Huevos de *Haemonchus contortus* por gramo de heces (HPG); Total de huevos de *H. contortus* en heces (THH)) con el promedio de la retención de nitrógeno (RN) en corderos de pelo infectados artificialmente con *H. contortus*.

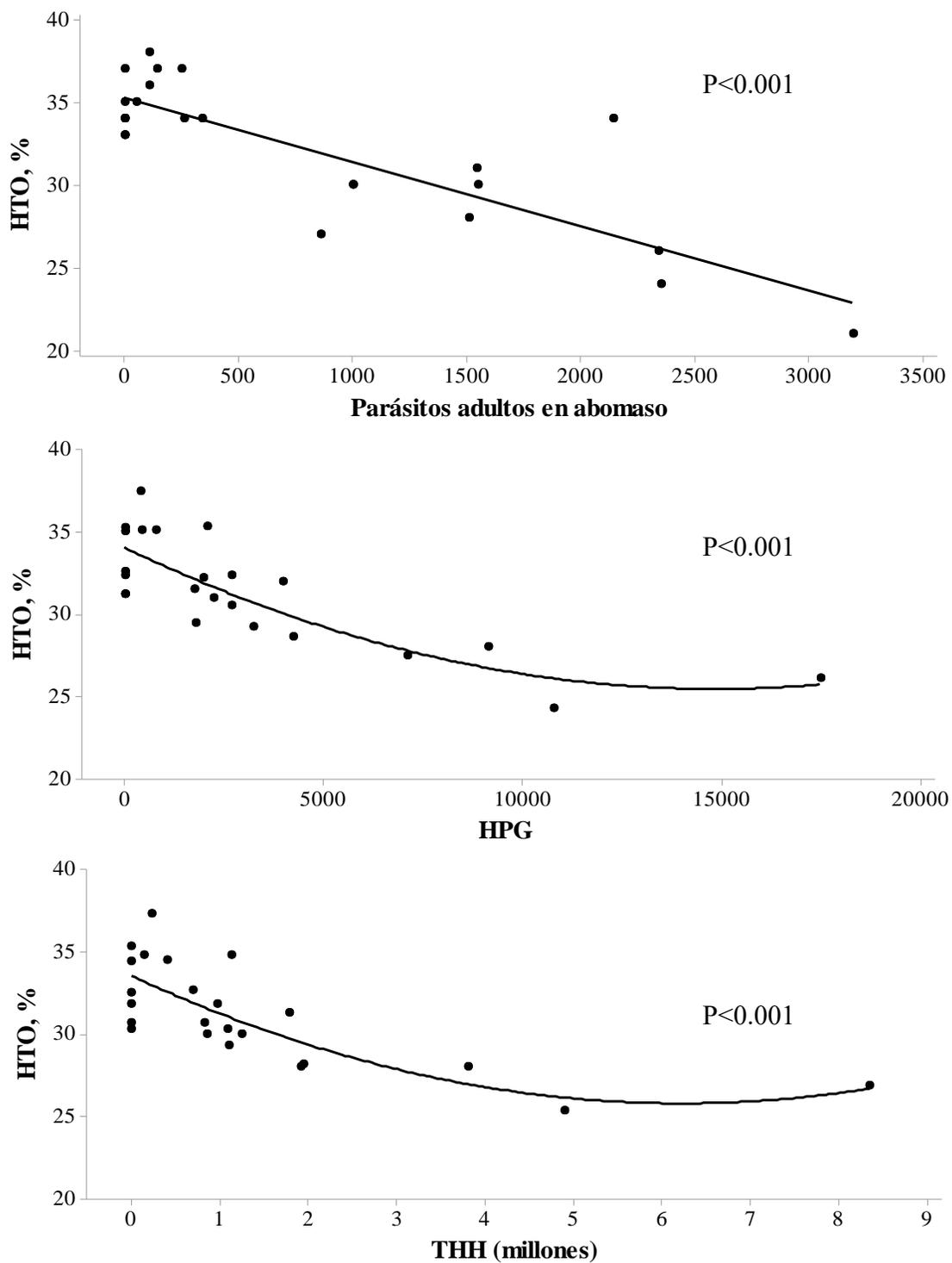


Figura 5. Análisis de regresión del promedio de las variables parasitológicas (Huevos de *Haemonchus contortus* por gramo de heces (HPG); Total de huevos de *H. contortus* en heces (THH)) con el promedio del hematocrito (Hto) en corderos de pelo infectados artificialmente con *H. contortus*. El análisis de regresión de los parásitos adultos de *H. contortus* recuperados de abomaso, se realizó con el Hto previo al sacrificio de los corderos.

DISCUSIÓN

La combinación de malnutrición con infecciones por *H. contortus* provoca la manifestación de los efectos fisiopatológicos de este parásito, por lo tanto, la alimentación del hospedero puede modificar la respuesta del animal y del parásito. Por consiguiente, considerando que la manipulación nutricional es una herramienta para el control de las infecciones por NGI, principalmente en condiciones de trópico (Torres-Acosta *et al.*, 2012; Hoste *et al.*, 2016), en el presente estudio evaluamos la relación de estos cambios durante el periodo prepatente y patente de diferentes niveles de infección artificial con *H. contortus*, en corderos de pelo en crecimiento con una dieta estimada para una GDP de 100 g.

El propósito de la metodología de la inoculación con larvas L3 de *H. contortus* era conseguir diferentes niveles de la infección, el cual se consiguió pues se ha sugerido que niveles de 3,000 HPG es indicativo de una infección ligera, mientras que 30,000 HPG indican una infección severa (Besier *et al.*, 2016a). En el presente trabajo los niveles de HPG fueron tan amplios que hubo animales con infección ligera y otros casi con infección severa. La concentración de HPG puede variar debido a la cantidad de heces producida por el animal, que a su vez depende de la cantidad de alimento consumido, por lo tanto, medir el THH permite evaluar el nivel de infección sin el sesgo de la cantidad de heces producidas.

En el presente trabajo, solo un cordero mostró rechazo de alimento mayor al 70% en la SI3, mientras que en el resto de animales infectados el rechazo de alimento se mantuvo por debajo del 3% desde la SI1. Lo anterior se comprobó con los bajos, y no significativos, coeficientes de correlación semanal entre HPG, y THH, con el consumo de MS, MO y PC. Khan *et al.* (2017) mencionan que en corderos infectados repetidamente con *H. contortus*, y con suplemento proteínico, el consumo de alimento fue relativamente menor en los animales infectados, comparados con los no infectados, pero la diferencia no fue significativa. Bambou *et al.* (2013) señalan que en cabritos infectados con *H. contortus*, alimentados con pasto *ad libitum* y concentrado restringido, hubo un descenso significativo en el consumo de MS únicamente en la tercera semana de infección. Esto puede deberse a que, en comparación con infecciones por otros géneros como *Teladorsagia* o *Trichostrongylus*, la infección con *H.*

contortus es temporal y menos severa, además que comparadas con los ovinos, parece ser que las cabras desarrollan menor respuesta inmune contra NGI (Hoste *et al.*, 2008, 2016).

La pérdida de peso observada en infecciones por NGI, se asocia principalmente a la reducción en el CVA (Ingale *et al.*, 2010). Al término del experimento, tanto en infectados como no infectados, se obtuvo una GDP acorde a la estimación de la dieta, lo que supone que la infección no tuvo efecto sobre GP. Lo anterior se puede corroborar con el análisis de correlación y regresión del efecto de HPG, y THH, sobre la GP, que resultó no significativa, incluso se obtuvo una pendiente positiva. Bambou *et al.* (2011) señalan que se evitó pérdida de peso en cabritos infectados con *H. contortus* al consumir un rango tan amplio de 17 a 128 g/día de proteína metabolizable (PM) y de 1.3 a 3.6 MJ energía metabolizable (EM)/día; los animales que consumieron la mayor cantidad de PM y EM obtuvieron mayor ganancia de peso. Wallace *et al.* (1996) mencionan que corderos *Scottish blackface* infectados con *H. contortus*, reconocidos como resistentes a este parásito, y consumiendo una dieta basal, tuvieron menor GDP que aquellos con dieta suplementada. Estos comparativos nos sugieren que, el nivel nutricional alcanzando en el presente trabajo evitó que los corderos perdieran peso; asimismo podemos suponer una resistencia de los animales a la infección, medida por los bajos niveles de HPG y la carga parasitaria recuperada de abomaso.

Los coeficientes de correlación de Hto con HPG, y THH, aumentaron en cada semana de infección, pero disminuyen previo al sacrificio de los corderos. Los análisis de regresión de estas correlaciones, resultaron lineales negativos en la SI3, SI4; mientras que, en la SI5, previo al sacrificio y en el promedio, el mejor ajuste es una regresión cuadrática. La diferencia en el ajuste del análisis de regresión, pudiera responder al comportamiento del Hto promedio observado en las semanas de infección, debido a que en la SI5 se observa una tendencia ascendente de los niveles de Hto, posiblemente por efecto de eritropoyesis compensatoria (Besier *et al.*, 2016b). Los coeficientes de correlación entre Hto y HPG aquí señalados, son mayores que los reportados en cabras por Blackburn *et al.* (1992), y en corderos por Vanimisetti *et al.* (2004). La correlación entre la carga parasitaria y el Hto previo al sacrificio de los corderos es elevada y altamente significativa, lo que responde a la actividad hematófaga de *H. contortus*.

La eosinofilia es un signo común en infecciones por *H. contortus* (Angulo-Cubillán *et al.*, 2007), incluso se ha propuesto que los EOS pueden ser un marcador para seleccionar animales resistentes a infecciones por NGI (Saddiqi *et al.*, 2011), sin embargo, en el presente trabajo no se halló relación alguna de EOS con HPG, THH ni la carga parasitaria. Esto puede deberse a que la infección no fue lo suficientemente elevada en estos corderos, además del plano nutricional alcanzado.

No se determinó relación de la infección sobre la DAMS y DAMO, pero sí un efecto negativo sobre la DAPC, aunque éste no se observa en la SI3 sí se aprecia en el promedio de la SI3 a la SI5. Algunos estudios en ovinos (Doyle *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2011, 2017) y caprinos (Bambou *et al.*, 2013; Ceï *et al.*, 2017) infectados con *H. contortus* han señalado que existe diferencia en la DAPC, comparados con los no infectados. Los cambios en la DAPC pueden deberse a que en infecciones por *H. contortus* el pH gástrico se modifica, disminuyendo la digestibilidad de alimento por la disminución de actividad enzimática. Se reduce la conversión de pepsinógeno a pepsina, principal catalizador responsable de la digestión de proteínas (Hoste *et al.*, 2016). En las condiciones del presente trabajo, de acuerdo a las estimaciones de regresión, se puede apreciar que son necesarios 5,000 HPG para reducir un punto porcentual la DAPC, a partir de la patencia de la infección por *H. contortus*. Además, con las estimaciones de regresión, se observó que en promedio son necesarios 330 parásitos adultos de *H. contortus* en el abomaso para reducir un punto porcentual el promedio de Hto. Por supuesto que estas afirmaciones necesitan mayor investigación para ser validadas.

Se ha señalado la importancia de la manipulación nutricional para el control de las infecciones por NGI. Mediante la suplementación alimenticia se puede establecer una respuesta inmune que limite el establecimiento de los parásitos (resistencia), o únicamente proveer los nutrientes que permitan mantener la homeostasis en el animal, a pesar de la presencia del parásito (resiliencia; Hoste *et al.*, 2016). La alimentación proporcionada a los corderos en el presente trabajo permitió que algunos animales mostraran resistencia a la infección, medida por la baja carga parasitaria recuperada de abomaso, así como por la escasa presencia de signos de la infección por *H. contortus*; otros animales mostraron resiliencia, sin importar los altos niveles de HPG se obtuvieron GP similares a los animales no

infectados. La resiliencia de los corderos se representa gráficamente en los análisis de regresión, es decir, los animales infectados tuvieron en promedio un comportamiento similar a los no infectados (Khan *et al.*, 2017). Este hallazgo coincide con Coop y Kyriazakis (1999), quienes proponen que en animales jóvenes la ganancia de proteína corporal tendrá mayor prioridad que la expresión de la inmunidad, por lo tanto, mejorar la nutrición puede afectar el grado de la expresión de la respuesta inmune en esta etapa.

Se ha reconocido que las infecciones por NGI en pequeños rumiantes tienen un costo nutricional, reflejado en mayor demanda de nutrientes para contrarrestar los efectos fisiopatológicos de la infección. El incremento de esta demanda ha sido medido principalmente por el aumento de N perdido en el tracto gastrointestinal (Poppi *et al.*, 1981; Symons *et al.*, 1981; Kimambo *et al.*, 1988), con resultados muy variables. Liu *et al.* (2005) sugieren que las diferencias en las mediciones de las pérdidas endógenas de N se deben a la divergencia en el régimen de desafío parasitario. Señalamiento similar al que aportan Bambou *et al.* (2013), quienes mencionan que el impacto del parasitismo por NGI sobre el metabolismo de N puede estar correlacionado con el nivel de infección. En el presente trabajo, se tuvieron diferentes niveles de infección y no se encontró correlación significativa entre la infección y RN. La falta de relación entre HPG y RN, así como con DAMS y DAMO, puede deberse a que si bien en infecciones por *H. contortus* se modifica el pH gástrico, los efectos sobre la digestibilidad de proteína y energía pueden estar ausentes o ser efímeros y pequeños, probablemente por una digestión compensatoria y absorción lejana al sitio de infección (Walkden-Brown y Kahn, 2002; Sandberg *et al.*, 2007).

Algunos estudios señalan que el costo metabólico (CM) se puede manifestar en mayores requerimientos de EM y PM (Liu *et al.*, 2005; Retama-Flores *et al.*, 2012). En condiciones de trópico, Retama-Flores *et al.* (2012) estimaron que el CM de infecciones mixtas naturales en corderos Pelibuey fue de 43.5 g/día de peso corporal, mientras que en caprinos Gárate-Gallardo *et al.* (2015) señalan que fue 41 g/día de peso corporal. Estos últimos estudios deben tomarse con reserva, debido a que se realizaron en condiciones de pastoreo, donde puede haber influencia del consumo de plantas con metabolitos con actividad antihelmíntica como los árboles leguminosos, además del costo nutricional de la actividad del pastoreo.

Liu *et al.* (2003) mencionan que los genotipos ovinos productores de lana y carne, particularmente aquellos resistentes a parásitos, pueden tener diferente respuesta en la interacción nutrición-parásito. De acuerdo con los resultados aquí señalados, podemos agregar que en los ovinos de pelo existe dicha interacción y es muy variable.

En conclusión, en corderos de pelo en crecimiento, en estabulación, que consumen una dieta estimada para GDP 100 g, la infección con *H. contortus* no representa una pérdida de nitrógeno medido en RN.

Solo se observó una reducción del Hto que no fue clínicamente compatible con anemia, y no se observaron otros signos clínicos asociados con hemoncosis.

LITERATURA CITADA

AFRC. 1993. Energy and protein requirements of ruminant. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK.

Angulo-Cubillán, F. J., L. García-Coiradas, M. Cuquerella, C. De la Fuente, C., y J. M. Alunda. 2007. *Haemonchus contortus*-sheep relationship: a review. Rev. Cient. XVII (6): 577–587.

Bambou, J. C., H. Archimède, R. Arquet, M. Mahieu, G. Alexandre, E. González-García, y N. Mandonnet. 2011. Effect of dietary supplementation on resistance to experimental infection with *Haemonchus contortus* in Creole kids. Vet Parasitol. 178(3–4): 279–285. doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.030

Bambou, J. C., W. Cei, S. Camous, H. Archimède, A. Decherf, L. Philibert, N. Mandonnet, y E. González-García. 2013. Effects of single or trickle *Haemonchus contortus* experimental infection on digestibility and host responses of naïve Creole kids reared indoor. Vet. Parasitol. 191(3–4): 284–292. doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.09.026

Besier, R. B., L. P. Kahn, N. D. Sargison, y J. A. Van Wyk. 2016a. Diagnosis, treatment and management of *Haemonchus contortus* in small ruminants. En: R. B. Gasser y G. Von

- Samson-Himmelstjerna, editor, *Haemonchus contortus* and Hemoncosis Past, Present and Future Trends. Academic Press, San Diego, CA, 93: 181-238.
- Besier, R. B., L. P. Kahn, N. D. Sargison, y J. A. Van Wyk. 2016b. The pathophysiology, ecology and epidemiology of *Haemonchus contortus* infection in small ruminants. En: R. B. Gasser y G. Von Samson-Himmelstjerna, editor, *Haemonchus contortus* and Hemoncosis Past, Present and Future Trends. Academic Press, San Diego, CA, 93: 95-114.
- Blackburn, H. D., J. L. Rocha, E. P. Figueiredo, M. E. Berne, L. S. Vieira, A. R. Cavalcante, y J. S. Rosa. 1992. Interaction of parasitism and nutrition in goats: effects on haematological parameters, correlations, and other statistical associations. *Vet. Parasitol.* 44(3-4): 183-197. doi.org/10.1016/0304-4017(92)90116-Q
- Ceï, W., H. Archimède, R. Arquet, Y. Félicité, D. Feuillet, A. Nepos, P. Mulciba, T. Etienne, G. Alexandre, y J. C. Bambou. 2017. Effect of changes in the nutritional status on the performances of growing Creole kids during an established nematode parasite infection. *Trop. Anim. Health Prod.* 49: 765-770. doi:10.1007/s11250-017-1258-z
- Coop, R. L., y I. Kyriazakis. 1999. Nutrition-parasite interaction. *Vet. Parasitol.* 84: 187-204. doi:10.1016/S0304-4017(99)00070-9
- Doyle, E. K., L. P. Kahn, y S. J. McClure. 2014. Nutrient partitioning of Merino sheep divergently selected for genetic difference in resistance to *Haemonchus contortus*. *Vet. Parasitol.* 205:175-185. doi:10.1016/j.vetpar.2014.06.028.
- Flores, J. S. 2001. Leguminosae: florística, etnobotánica y ecología. *Etnoflora yucatenense* No. 18. Univ, Aut. de Yucatán. Mérida, Méx.
- Gárate-Gallardo, L., J. F. J. Torres-Acosta, A. J. Aguilar-Caballero, C. A. Sandoval-Castro, R. Cámara-Sarmiento, y H. L. Canul-Ku. 2015. Comparing different maize supplementation strategies to improve resilience and resistance against

- gastrointestinal nematode infections in browsing goats. *Parasite*. 22(19). doi.org/10.1051/parasite/2015019
- Hoste, H., y J. F. J. Torres-acosta. 2011. Non chemical control of helminths in ruminants: Adapting solutions for changing worms in a changing world. *Veterinary Parasitology*. 180: 144–154. doi:10.1016/j.vetpar.2011.05.035.
- Hoste, H., J. F. J. Torres-Acosta, y A. J. Aguilar-Caballero. 2008. Nutrition-parasite interactions in goats: is immunoregulation involved in the control of gastrointestinal nematodes? *Parasite Immunol.* 30(2): 79–88. doi.org/10.1111/j.1365-3024.2007.00987.x
- Hoste, H., J. F. J. Torres-Acosta, J. Quijada, I. Chan-Perez, M. Dakheel, D. S. Kommuru, I. Mueller-Harvey, y T. H. Terrill. 2016. Interactions between nutrition and infections with *Haemonchus contortus* and related gastrointestinal nematodes in Small Ruminants. En: R. B. Gasser y G. Von Samson-Himmelstjerna, editor, *Haemonchus contortus* and Hemoncosis Past, Present and Future Trends. Academic Press, San Diego, CA, 93: 239-351.
- Ingale, S. L., S. V. Mulik, A. Suryawanshi, y S. Zadbuke. 2010. Nutrition-Parasite Interaction- A review. *Agri. Res. Commun. Cent.* 31: 48–55.
- Khan, F. A., A. Sahoo, y S. A. Karim. 2017. Moderate and high levels of dietary protein on clinico-biochemical and production responses of lambs to repeated *Haemonchus contortus* infection. *Small Rumin. Res.* 150: 52–59. doi:10.1016/j.smallrumres.2017.03.009
- Khan, F. A., A. Sahoo, S. Dhakad, A. K. Pareek, y S. A. Karim. 2011. Effect of trickle infection with *Haemonchus contortus* on pathophysiology and metabolic responses of growing lambs. *Indian J. Anim. Sci.* 81(10): 1005–1009.

- Kimambo, A. E., J.C. MacRae, A. Walker, C. F. Watt, y R. L. Coop. 1988. Effect of prolonged subclinical infection with *Trichostrongylus colubriformis* on the performance and nitrogen metabolism of growing lambs. *Vet. Parasitol.* 28: 191-203.
- Liu, S. M., D. G. Masters, y N. R. Adams. 2003. Potential impact of nematode parasitism on nutrient partitioning for wool production, growth and reproduction in sheep. *Aust. J. Exp. Agric.* 43:1409–1417. doi:10.1071/EA03017
- Liu, S. M., T. L. Smith, L. J. E. Karlsson, D. G. Palmer, y R. B. Besier. 2005. The costs for protein and energy requirements by nematode infection and resistance in Merino sheep. *Livest. Prod. Sci.* 97: 131–139. doi:10.1016/j.livprodsci.2005.03.007
- Loyra-Tzab, E., L. A. Sarmiento-Franco, C. A. Sandoval-Castro, y R. H. Santos-Ricalde. 2013. Nutrient digestibility and metabolizable energy content of *Mucuna pruriens* pods fed to growing Pelibuey lambs. *Asian-australas J. Anim. Sci.* 26(7): 981-986. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.06.003
- NRC. 2007. Nutritional requirements of small ruminants (sheep, goats, cervids and new world camelids). Ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación. México, D. F., 24 de junio de 1996.
- Poppi D. P., J. C. MacRae, y W. Corigall. 1981. Nitrogen digestion in sheep infected with intestinal parasites. *Proc. Nutr. Soc.* 40(3): 116A (Abstr.).
- Retama-Flores, C., J. F. J. Torres-Acosta, C. A. Sandoval-Castro, A. J. Aguilar-Caballero, R. Cámara-Sarmiento, y H. L. Canul-Ku. 2012. Maize supplementation of Pelibuey sheep in a silvopastoral system: Fodder selection, nutrient intake and resilience against gastrointestinal nematodes. *Animal.* 6: 145–153. doi:10.1017/S1751731111001339
- Rodríguez, R. I., y L. A. G. Cob. 2005. Técnicas diagnósticas en parasitología veterinaria. 2ª ed. Univ. Aut. de Yucatán. Mérida, Méx.

- Saddiqi, H. A., A. Jabbar, M. Sarwar, Z. Iqbal, G. Muhammad, M. Nisa, y A. Shahzad. 2011. Small ruminant resistance against gastrointestinal nematodes: A case of *Haemonchus contortus*. Parasitol. Res. 109: 1483–1500. doi:10.1007/s00436-011-2576-0.
- Sandberg, F. B., G. C. Emmans, y I. Kyriazakis. 2007. The effects of pathogen challenges on the performance of naïve and immune animals: The problem of prediction. Animal. 1: 67–86. doi:10.1017/S175173110765784X.
- Symmons, L. E. A, J. W. Steel, y W. O. Jones. 1981. Tissue protein metabolism in parasitized animales. Isotopes and radiation in parasitology. FAO/IAEA Div. of Atomic Energy in Food and Agriculture, Cambridge, UK, p. 171-178.
- Torres-Acosta, J. F. J. 1999. Supplementary feeding and the control of gastrointestinal nematodes of goats in Yucatán, México. Tesis PhD. The Royal Veterinary College. Univ. of London.
- Torres-Acosta, J. F. J., C. A. Sandoval-Castro, H. Hoste, A. J. Aguilar-Caballero, R. Cámara-Sarmiento, y M. A. Alonso-Díaz. 2012. Nutritional manipulation of sheep and goats for the control of gastrointestinal nematodes under hot humid and subhumid tropical conditions. Small Rumin. Res. 103:28–40. doi:10.1016/j.smallrumres.2011.10.016.
- Vanimiseti, H. B., S. P. Greiner, A. M. Zajac, y D. R. Notter. 2004. Performance of hair sheep composite breeds: Resistance of lambs to *Haemonchus contortus*. J. Anim. Sci. 82: 595–604.
- Walkden-Brown, S. W., y L. P. Kahn. 2002. Nutritional modulation of resistance and resilience to gastrointestinal nematode infection- A Review. Asian-Australian Journal of Animal Science. 15 (69): 912–924.
- Wallace, D. S., K. Bairden, J. L. Duncan, G. Fishwick, M. Gill, P. H. Holmes, Q. a McKellar, M. Murray, J. J. Parkins, y M. Stear. 1996. Influence of soyabean meal supplementation on the resistance of Scottish blackface lambs to hemoncosis. Res. Vet. Sci. 60: 138–43. doi: S0034-5288(96)90008-9

7. ANEXO 1. Línea de tiempo experimental y variables medidas

	DAMS ¹	DAMS		DAMS		DAMS		Carga parasitaria
	DAMO ²	DAMO		DAMO		DAMO		
	DAPC ³	DAPC		DAPC		DAPC		
	RN ⁴	RN	DAMS	RN	DAMS	RN	RASTRO	
Semana de infección	0	1	2	3	4	5	6	
	INFECCIÓN ARTIFICIAL	CVA	CVA	CVA	CVA	CVA	Pesaje Hto HPG	Pesaje de canal
	CVA ⁵	Hto		Hto	HPG	Hto		
	Pesaje	EOS		EOS	THH	EOS		
	Hto ⁶			HPG ⁸		HPG		
	EOS ⁷			THH ⁹		THH		

¹Digestibilidad aparente de materia seca; ²Digestibilidad aparente de materia orgánica; ³Digestibilidad aparente de proteína cruda; ⁴Rentención de nitrógeno; ⁵Consumo voluntario de alimento; ⁶Hematocrito; ⁷Eosinófilos; ⁸Huevos por gramo de heces; ⁹Total de huevos en heces