

# Efecto de la hemoncosis experimental sobre las concentraciones séricas de sodio, potasio y cobre en dos razas ovinas

## *Effect of experimental hemonchosis on sodium, potassium and copper serum concentrations in two sheep breeds*

MARCO ANTONIO MUÑOZ-GUZMÁN<sup>1</sup>, V.H. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ<sup>1</sup>, V.A. REVILLA<sup>2</sup>, H.A. ABD-ELGHANY<sup>3</sup>, CÉSAR CUENCA-VERDE<sup>1</sup>,  
JORGE ALFREDO CUÉLLAR-ORDAZ<sup>1</sup> Y FERNANDO ALBA-HURTADO<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Km 2.5 carr. Cuautitlán-Teoloyucan, Col. San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México. C.P. 54714.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Químicas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

<sup>3</sup> Faculty of Veterinary Medicine Department of Animal Medicine, Benha University, Cairo, Egypt.

\*Correo electrónico: fealba@hotmail.com

ENVIADO EL 12 DE AGOSTO DE 2015/ ACEPTADO EL 15 DE SEPTIEMBRE DE 2015

### RESUMEN

Se comparó el efecto de la hemoncosis experimental sobre las concentraciones séricas de sodio, potasio y cobre entre corderos de dos razas ovinas. Cinco corderos Columbia (Cb) y cinco corderos Blackbelly (Bb) recibieron seis inóculos semanales de 1 000 larvas de *Haemonchus contortus* y cinco corderos de cada raza se usaron como testigos. Durante 12 semanas se contó el número de huevos por gramo de heces (HPG), se midió la ganancia de peso y se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica las concentraciones séricas de sodio, potasio y cobre. Los corderos Cb infectados eliminaron más HPG que los Bb infectados ( $p < 0.05$ ). La infección disminuyó ( $p < 0.05$ ) la ganancia de peso de los corderos Cb pero no la de los corderos Bb. Las concentraciones de sodio y potasio séricas en ambas razas fueron menores ( $p < 0.05$ ) en los corderos infectados con respecto a los corderos no infectados. Los corderos Cb infectados presentaron entre las semanas dos a la diez menores concentraciones ( $p < 0.05$ ) de sodio sérico que los Bb infectados. No se encontraron diferencias ( $p > 0.05$ ) en las concentraciones de cobre sérico entre los diferentes grupos estudiados. Las concentraciones de sodio sérico correlacionaron negativamente con la cantidad de HPG ( $r = -0.9$ ,  $p < 0.001$ ). Las concentraciones séricas de sodio ( $r = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ) y potasio ( $r = 0.43$ ,  $p < 0.12$ ) correlacionaron positivamente con la ganancia de peso de los corderos Cb, pero no con la ganancia de los corderos Bb. Lo anterior indica una mayor resiliencia y resistencia de los corderos Bb en relación a los corderos Cb.

**Palabras clave:** hemoncosis, sodio sérico, potasio sérico, cobre sérico.

### INTRODUCCIÓN

La verminosis gastroentérica es una de las enfermedades que tienen mayor impacto económico en las unidades de producción ovina de las regiones tropicales y subtropicales en todo el mundo, especialmente en regiones con alta humedad (Mugambi et al., 1997). Debido a su amplia distribución y su alta virulencia, *Haemonchus contortus* es considerado el nematodo gastroentérico más importante de los ovinos en México y muchas otras regiones del mundo.

### ABSTRACT

The effect of the experimental haemonchosis on serum concentrations of sodium, potassium and copper between two ovine breeds was compared. Five Columbia lambs (Cb) and five Blackbelly lambs (Bb) were infected weekly with 1 000 third-stage larvae (L3) of *Haemonchus contortus* for six weeks, five lambs of each breed were the control groups. For 12 weeks, the number of eggs per gram of feces (EPG) and the weight gain were measured. The serum concentrations of sodium, potassium and copper were determined by atomic absorption spectrophotometry. The infected Cb lambs eliminated more EPG than the infected Bb ( $p < 0.05$ ). The infection decreased ( $p < 0.05$ ) the weight gain of the Cb lambs but not that of the Bb lambs. The serum concentrations of sodium and potassium in both breeds were lower ( $p < 0.05$ ) in the infected lambs than in the uninfected lambs. The infected Cb lambs showed lower concentrations ( $p < 0.05$ ) of serum sodium than the infected Bb lambs between weeks two and ten. No differences ( $p > 0.05$ ) were observed in the concentrations of serum copper between the different study groups. Serum sodium concentrations were negatively correlated with the amount of EPG ( $r = -0.9$ ,  $p < 0.001$ ). In Cb lambs the serum sodium ( $r = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ) and potassium ( $r = 0.43$ ,  $p < 0.12$ ) concentrations correlated positively with weight gain, but the same was not observed in the Bb lambs. These results indicate a greater resilience and resistance of the Bb lambs than the Cb lambs.

**Key words:** haemonchosis, serum sodium, serum potassium, serum copper

Se localiza en abomaso y produce una enfermedad llamada hemoncosis. (Quiroz, 1984)

La hemoncosis se adquiere por la ingestión de larvas de tercer estadio (L3) de *H. contortus* junto con el pasto. La L3 penetra en las glándulas abomasales donde muda a L4. La presencia de larvas provoca hiperplasia de glándulas abomasales, infiltración de células inflamatorias y sustitución de las células parietales secretoras de HCl por células jóvenes no secretoras. Produce aumento del pH en contenido abomasal, lo que reduce la transfor-

mación de pepsinógeno en pepsina, disminuye la digestión de proteínas, aumenta la permeabilidad de la mucosa y hay salida de proteínas endógenas. Los estadios adultos se encuentran en la luz del abomaso y son hematófagos voraces, se ha calculado que la pérdida diaria de sangre es de 0,05 mL por gusano (Fox, 1997). La hemoncosis repercute negativamente en la eficiencia biológica y económica de los rebaños ovinos, en estos produce retraso en el crecimiento, desnutrición, baja conversión alimenticia, anemia, pérdida de apetito, bajos índices de fertilidad y en algunos casos, muertes en animales jóvenes. (Quiroz, 1984; Notter, Andrew & Zajac, 2003)

El control de esta parasitosis se basa casi exclusivamente en la administración de compuestos químicos con actividad antihelmíntica. Desafortunadamente, uno de los problemas que se ha generado por el uso masivo e indiscriminado de los antihelmínticos es la resistencia hacia los mismos (Van Wyk, Van der Merwe, Vorster & Viljoen, 1999; Saeed et al., 2010; Cezar et al., 2010), lo que ha obligado a generar otras estrategias de control antiparasitario que no dependan del empleo de sustancias químicas. Dentro de estas se encuentra la introducción de razas resistentes o resilientes a la hemoncosis. (Bisset & Morris, 1996)

Se ha demostrado que la infección por *H. contortus* disminuyen la concentración sérica de algunos minerales como sodio, potasio y cobre (Evans, Blunt & Southcott, 1963; Kumari, Sinha, Sinha, Hoda & Kumar, 2007) y que estas alteraciones pueden estar asociadas al cuadro clínico. Considerando lo anterior, es probable que la diferencia de susceptibilidad entre razas de ovinos influya en la concentración sérica de estos minerales durante las infecciones. Por lo anterior, en este trabajo se compararon los niveles séricos de sodio, potasio y cobre entre una raza susceptible (Columbia) y una raza resistente (Blackbelly) a la hemoncosis experimental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Animales

Se utilizaron 10 corderos de la raza Columbia (Cb) y 10 corderos de la raza Blackbelly (Bb), machos, libres de nematodos gastroentéricos y

con una edad de entre 6 y 8 meses. Los corderos se mantuvieron durante todo el experimento en condiciones libres de nematodos. La alimentación consistió en una mezcla 50% de alimento comercial para ovinos (14% de proteína) y 50% de rastrojo picado, en porciones calculadas al 4% del peso corporal por día. El agua se ofreció *ad libitum* por medio de bebederos con válvula. Este trabajo fue aprobado por el Comité Interno para el Cuidado de Animales en Experimentación, del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y Salud Animal, de la UNAM.

### Parásitos

La cepa de *H. contortus* fue aislada y caracterizada por nuestro grupo y ha sido utilizada en trabajos previos (Valdez-Ramírez, 2004; Muñoz-Guzmán, Cuéllar-Ordaz, Valdivia-Anda, Buendía-Jiménez & Alba-Hurtado, 2006; Cuenca-Verde et al., 2011; Muñoz-Guzmán, Cuenca-Verde, Valdivia-Anda, Cuéllar-Ordaz & Alba-Hurtado, 2012); el período de prepatencia de la cepa es de 18 a 20 días y muestra alta virulencia. La cepa ha sido mantenida por infecciones sucesivas en corderos susceptibles. Su virulencia, fertilidad y morfología se han verificado periódicamente. Las L3 usadas en las infecciones experimentales se obtuvieron a partir de cultivos larvarios de heces obtenidas de corderos infectados. (Alba, 2007)

### Diseño experimental

Cinco corderos de cada raza fueron infectados con L3 de *H. contortus* y formaron el grupo experimental, los 5 corderos restantes de cada raza no recibieron larvas y se usaron como grupos testigo. A cada cordero de los grupos experimentales se les administró por sondeo ruminal 6 inóculos semanales de 1 000 L3 de *H. contortus*. Los corderos de los grupos testigo solo recibieron solución salina fisiológica. Semanalmente se midió cantidad de huevos por gramo de heces (HPG) y la ganancia de peso. Quincenalmente se tomaron, directamente de la yugular, muestras de sangre para medir la concentración sérica de sodio, potasio y cobre.

### Exámenes parasitológicos

Se recolectó materia fecal directamente del recto. La cantidad de huevos en heces se midió median-

te una técnica modificada de McMaster (Alba, 2007) y se expresó como número de HPG.

### Ganancia de peso

La ganancia de peso de cada cordero se obtuvo restando el peso obtenido al inicio del experimento, al peso obtenido en las diferentes semanas del experimento.

### Procesamiento de muestras sanguíneas

El suero obtenido de cada muestra sanguínea fue guardado a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento. La concentración de sodio, potasio y cobre sérico se midió por la técnica descrita por Abd Elghany, López, Revilla, Ramírez & Tórtora (2007). Cada muestra de suero fue digerida mezclando 1 mL de suero con 10 mL de agua desionizada, 5 mL de ácido nítrico concentrado y 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30%. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente por 30 min en vasos de teflón tapados. Las muestras fueron colocadas en un digestor de microondas (Mars 5 CEM Corporation, USA) y se incrementó gradualmente la temperatura durante 5 min hasta alcanzar  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se mantuvieron por 2 min y se volvió a incrementar gradualmente la temperatura durante 5 min hasta  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se mantuvo en esta temperatura por 2 min con una presión máxima de 350 psi. Las muestras se colocaron en un baño frío por 5 min y posteriormente se dejaron a temperatura ambiente por 1 h. Las muestras

digeridas (MD) se aforaron a 50 mL con HCl 7M y se almacenaron a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  en recipientes de plástico por una noche.

La preparación de las muestras para la medición de cada elemento fue diferente. El cobre sérico fue determinado directamente en las MD obtenidas. Para la medición del sodio sérico se colocaron 8 mL de MD y se agregaron 2 mL de una solución 0,2% de cloruro de potasio y para la medición del potasio sérico se colocaron 8 mL de MD y se agregaron 2 mL de una solución 0,2% de cloruro de cesio. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian, model Spectra AA-800) con una lámpara específica para cada elemento. La calibración del equipo fue realizada con una curva patrón para cada elemento y el valor de las muestras fue determinado automáticamente por traspolación.

### Análisis estadístico

Los datos de HPG, así como los de las concentraciones séricas de sodio, potasio y cobre fueron analizadas mediante un modelo general lineal para muestras repetidas con el programa Statistica for windows® ver. 7.0. Se utilizó correlación de Pearson para las variables estudiadas.

### RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran los promedios semanales de HPG en los corderos infectados

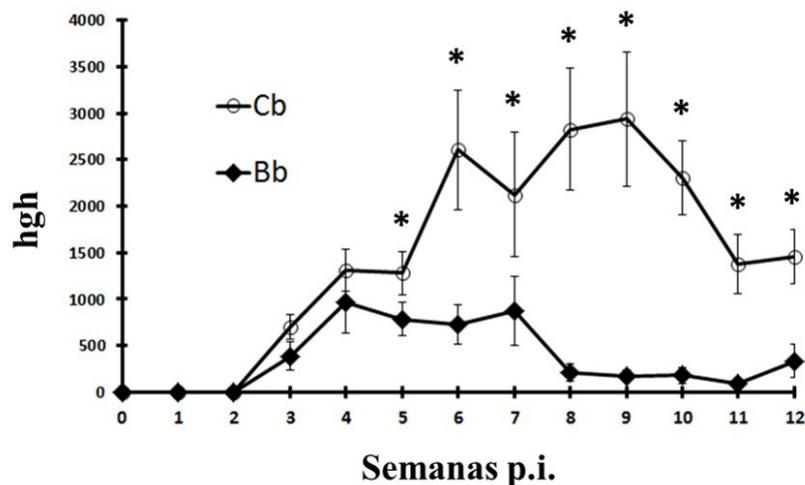


Figura 1. Promedios ( $\pm$ EE) del número de huevos por gramo de heces (hgh) eliminados por corderos Columbia (Cb) y Blackbelly (Bb) infectados con L3 de *Haemonchus contortus*.

\*Diferencia significativa entre medias ( $p < 0.05$ )

con L3 de *H. contortus*. En la tercera semana del experimento los animales infectados de ambas razas comenzaron a eliminar huevos en las heces. Desde la semana 4 hasta el final del experimento, los corderos Cb infectados presentaron mayores cantidades de HPG ( $p < 0,05$ ) que los corderos Bb infectados con promedios totales de  $1\,904 \pm 440$  y  $610 \pm 244$ , respectivamente. Los animales no infectados de ambas razas no eliminaron huevos del parásito en la materia fecal durante todo el experimento.

### Ganancia de peso

El promedio de la ganancia de peso de los corderos de los diferentes grupos se presenta en la Figura 2. El promedio final de la ganancia de peso de los corderos Cb infectados ( $25,7 \pm 1,7$ ) fue menor ( $p < 0,05$ ) que el de los corderos Cb no infectados ( $32,6 \pm 0,9$ ). No se observaron diferencias ( $p > 0,05$ ) en el promedio final de la ganancia de peso entre los corderos Bb infectados ( $15,4 \pm 1$ ) y no infectados ( $15,7 \pm 1,4$ ). Los corderos Cb infectados y no infectados presentaron mayor ganancia de peso ( $p < 0,05$ ) que los corderos Bb de ambos grupos.

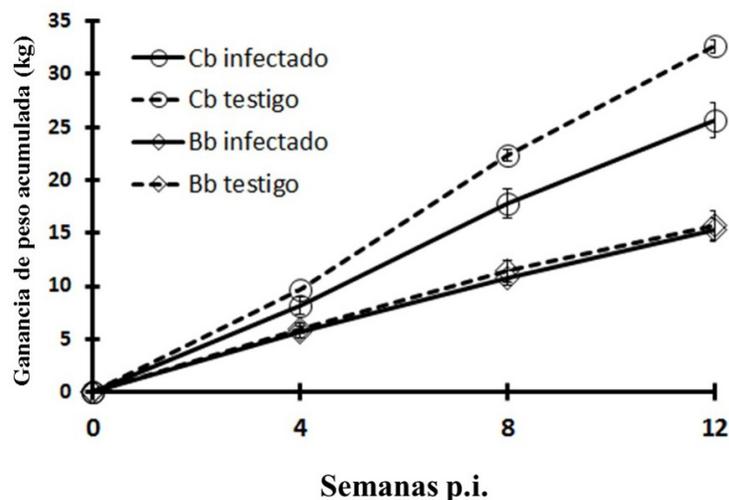
### Concentraciones de sodio sérico

Las concentraciones de sodio sérico de los corderos de los diferentes grupos se muestran en la Figura 3A. El ANOVA mostró un efecto de la interacción raza/infección significativo ( $p < 0,01$ ) sobre la concentración de sodio sérico en

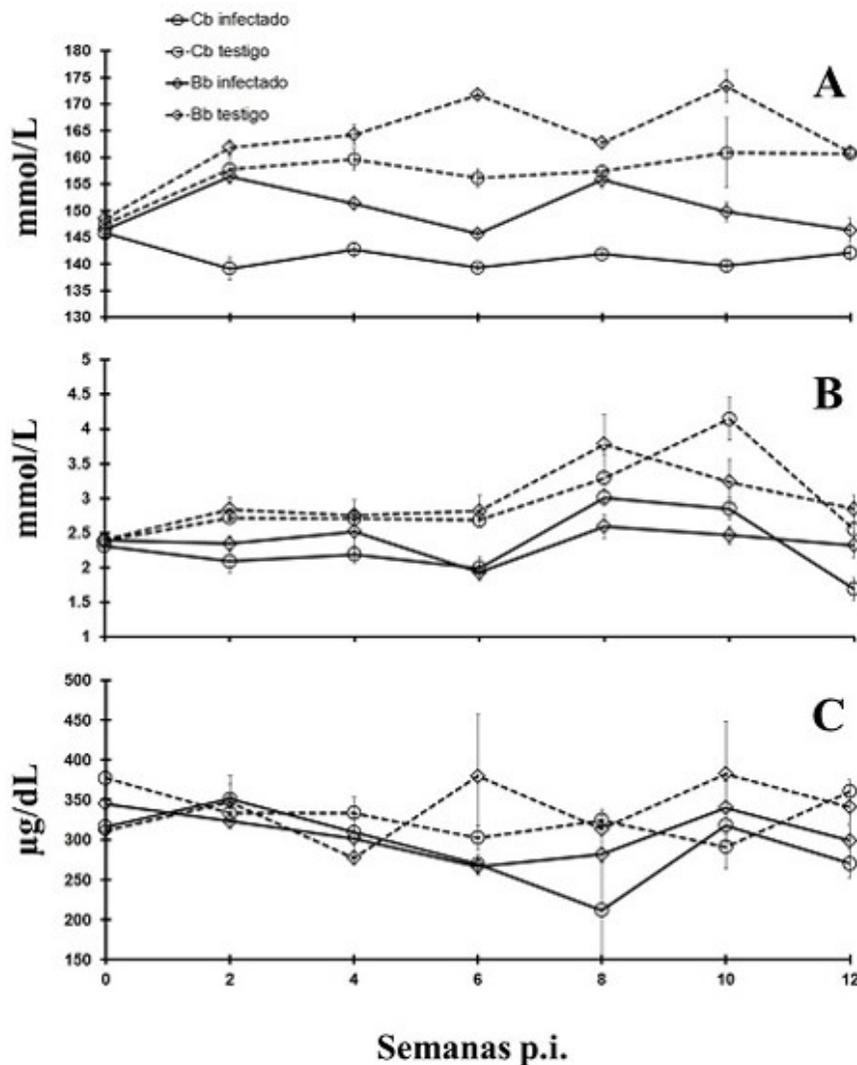
los animales estudiados. Las concentraciones de sodio sérico fueron menores ( $p < 0,05$ ) en los corderos infectados con respecto a los corderos no infectados a partir de la semana 4 en los corderos Bb y a partir de la semana 2 en los corderos Cb, estas diferencias se mantuvieron hasta la semana 12 del experimento. Los corderos Cb infectados presentaron entre las semanas 2 a la 10 menores concentraciones ( $p < 0,05$ ) de sodio sérico que los Bb infectados. Los promedios totales de la concentración de sodio sérico para los corderos Cb infectados y no infectados fueron de  $141,31 \pm 0,89$  y  $155,93 \pm 2,87$  mmol/L, respectivamente, y para los corderos Bb fueron de  $150,50 \pm 0,23$  y  $164,28 \pm 2,61$  mmol/L, respectivamente.

### Concentraciones de potasio sérico

Las concentraciones de potasio sérico de los corderos de los diferentes grupos se muestran en la Figura 3B. El ANOVA mostró solo efecto de la infección ( $p < 0,001$ ) sobre la concentración de potasio sérico en los animales estudiados. Entre las semanas 6 y la semana 12 del experimento, las concentraciones de potasio sérico fueron menores ( $p < 0,05$ ) en los corderos de los grupos infectados de ambas razas con respecto a los corderos de sus respectivos grupos testigo. Los promedios de potasio sérico para los corderos Cb infectados y no infectados fueron de  $2,28 \pm 0,11$  y  $2,68 \pm 0,26$  mmol/L, respectivamente, y para los corderos Bb fueron de  $2,37 \pm 0,38$  y  $2,97 \pm 0,25$  mmol/L, respectivamente.



**Figura 2.** Promedios ( $\pm$ EE) de la ganancia de peso acumulada de corderos Columbia (Cb) y Blackbelly (Bb) infectados con L3 de *Haemonchus contortus* y corderos no infectados (testigos).



**Figura 3.** Promedios ( $\pm$ EE) de las concentraciones séricas de sodio (A), potasio (B) y cobre (C) en corderos Columbia (Cb) y Blackbelly (Bb) infectados con L3 de *Haemonchus contortus* y corderos no infectados (testigos).

### Concentraciones de cobre sérico

Los resultados obtenidos de las concentraciones de cobre sérico se muestran en la Figura 3C. El ANOVA no mostró ningún efecto ( $p > 0,05$ ) de los factores raza/semana/infección sobre la concentración de cobre sérico en ninguno de los grupos de corderos estudiados. Los promedios de la concentración de cobre sérico de los corderos Cb infectados y no infectados fueron de  $290 \pm 11$  y  $322 \pm 13$   $\mu\text{g/dL}$ , respectivamente, y para los corderos Bb fueron de  $299 \pm 12$  y  $345 \pm 15$   $\mu\text{g/dL}$ , respectivamente.

### Correlaciones observadas

Se observó una correlación significativa entre el número de HPG en los corderos infectados

de ambas razas con la concentración sérica del sodio ( $r = -0,9$ ,  $p < 0,001$ ), mientras que en el caso del potasio y el cobre las correlaciones ( $r = -0,297$  y  $r = -0,09$ , respectivamente) no fueron significativas ( $p > 0,05$ ). Por otro lado, las correlaciones entre ganancia diaria de peso de los corderos Cb con las concentraciones de sodio ( $r = 0,62$ ,  $p < 0,05$ ) y potasio ( $r = 0,43$ ,  $p < 0,12$ ) sérico fueron positivas.

### DISCUSIÓN

La resistencia a la hemoncosis se ha definido como la habilidad de los corderos para prevenir el establecimiento de las fases larvianas y/o promover la eliminación espontánea de las fases adultas del parásito y por lo tanto,

de reducir la carga parasitaria (Bricarello et al., 2004). Los animales con alta resistencia a la infección no son completamente refractarios; sin embargo, consistentemente tienen menores cargas parasitarias que los animales considerados susceptibles. La forma más confiable para medir la susceptibilidad/resistencia es contar directamente los parásitos en el abomaso de los ovinos en estudio (Le Jambre, 1995). El conteo de huevos en materia fecal y los niveles de eosinófilos sanguíneos también han sido utilizados para evaluar indirectamente la resistencia (Hooda, Yadav, Chaudhri & Rajpurohit, 1999; Pernthaner et al., 1995). Algunos estudios han demostrado que las razas ovinas que se han desarrollado en lugares donde las condiciones climáticas favorecen las nematodosis intestinales son parcialmente resistentes a la infección (Bahirathan et al., 1996; Amarante et al., 1999; Alba-Hurtado et al., 2010; Alba-Hurtado & Muñoz-Guzmán, 2013). En este estudio confirmamos que los corderos Cb son más susceptibles a la hemoncosis que los corderos Bb.

La raza Cb fue seleccionada en un clima templado frío (Estados Unidos), por lo que su exposición a nematodos gastroentéricos fue limitada; en contraparte, la raza Bb fue seleccionada en un clima tropical (Barbados) en donde la exposición a nematodos gastroentéricos es constante. En el presente estudio la infección con L3 de *H. contortus* indujo diferentes grados de infección en las razas evaluadas. Los corderos Cb eliminaron mayor cantidad de HPG que los corderos Bb indicando que son más susceptibles a la infección. Estudios similares han demostrado que razas autóctonas expuestas a selección natural o seleccionadas por el hombre en zonas que favorecen la presencia de nematodos gastroentéricos son parcialmente resistentes a la infección. (Amarante, Craig, Ramsey, Davis & Bazer, 1999; Bricarello et al., 2004; Bahirathan, Miller, Barras & Kearney, 1996; Muñoz-Guzmán et al., 2006; Alba-Hurtado, Romero-Escobedo, Muñoz-Guzmán, Torres-Hernández & Becerril-Pérez, 2010)

La resiliencia a la hemoncosis ha sido definida como la capacidad de un ovino de compensar el efecto negativo de la parasitosis, lo que se

ve reflejado en la preservación de los parámetros productivos (Paolini, De La Farge, Prevot, Dorchie & Hoste, 2005). En este estudio la infección con *H. contortus* indujo una menor ganancia de peso en los corderos de la raza Cb, que en sus homólogos no infectados. En contraste, la infección no tuvo efecto sobre la ganancia de peso en corderos Bb. Lo anterior muestra que los corderos Bb no solo son más resistentes a la hemoncosis que los corderos Cb, sino que también son más resilientes.

La presencia de larvas de *H. contortus* en el abomaso induce hiperplasia y metaplasia de las glándulas abomasales, disminuye la diferenciación de las células principales y debilita las uniones intercelulares (Soulsby, 1988). Estos cambios provocan una disminución en la producción de HCl, aumento en la producción de pepsinógeno, salida de agua, proteínas endógenas y otros elementos. En el presente estudio se observaron en ambas razas menores niveles de sodio y potasio séricos en los corderos infectados con respecto a los no infectados. Estos resultados sugieren la pérdida de estos elementos junto con el líquido extracelular que se elimina en la pared abomasal y puede contribuir a la patogenia de la enfermedad.

Los adultos de *H. contortus* tienen un efecto traumático sobre la pared abomasal y suctionan sangre. El efecto anticoagulante de su saliva prolonga la hemorragia de la mucosa durante varios minutos después de que el parásito se desprende (Soulsby, 1988; Quiroz, 1984). Estos efectos son los responsables de la anemia observada en la hemoncosis y pueden ser otros factores que contribuyan a la pérdida de sodio y potasio sérico. Por otro lado, si bien el intestino tiene capacidad para absorber sodio y potasio, es probable que la salida de estos elementos sea mayor que la capacidad del intestino para recuperarlos.

Recientemente ha cobrado interés la participación del cobre en la fisiopatología de las nematodiasis gastroentéricas de los rumiantes, debido a que se han usado partículas de óxido de cobre para su control (Burke & Miller, 2006; Soli et al., 2010). Algunos autores han asociado cargas parasitarias altas de *H. contortus* con bajos niveles de cobre plasmá-

tico y hepático (Sangwan & Sangwan, 2000; Kumari et al., 2007). En este trabajo no se observaron diferencias en las concentraciones séricas de cobre entre corderos parasitados y no parasitados o entre corderos de las razas estudiadas. Lo anterior puede ser el resultado de la movilización de reservas de cobre del hígado a la sangre y/o, aunque no se midió la cantidad de cobre de la dieta, que esta tuviera cantidades suficientes de cobre para compensar la pérdida.

El sodio y potasio participan en una gran cantidad de procesos fisiológicos, algunos de estos, asociados a la producción, son: asimilación de glucosa y aminoácidos a nivel celular, cofactor de algunas enzimas, síntesis proteica, absorción de nutrientes en el tracto digestivo, regulación del pH gastrointestinal, modulación del apetito y peristalsis gastrointestinal. En este trabajo se encontró una menor concentración de sodio y potasio en los corderos infectados de ambas razas. En general, estas menores concentraciones no se asociaron a un cuadro clínico, sin embargo la concentración sérica de estos elementos correlacionó positivamente con la ganancia de peso de los corderos Cb, pero no de los corderos Bb. Lo anterior muestra la mayor resiliencia de los corderos Bb en relación con los corderos Cb.

## CONCLUSIONES

La hemoncosis produce una gran cantidad de alteraciones metabólicas, nuestros resultados sugieren que el impacto de estos desórdenes en la producción, varían dependiendo de la resistencia y/o resiliencia de cada raza ovina, por lo que es recomendable evaluar estos desórdenes junto con el diagnóstico coproparasitoscópico convencional con miras a establecer un mejor tratamiento con terapia de soporte.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por los proyectos PAPIIT/UNAM N° IN221515 e IN215314.

## REFERENCIAS

Alba-Hurtado, F. (Ed). (2007). Parasitología veterinaria. Manual de laboratorio. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Alba-Hurtado, F. & Muñoz-Guzmán, M.A. (2013). Immune responses associated with resistance to haemonchosis in sheep. *BioMed Research International*.
- Alba-Hurtado, F.; Romero-Escobedo, E.; Muñoz-Guzmán, M.A.; Torres-Hernández, G. & Becerril-Pérez, C.M. (2010). Comparison of parasitological and productive traits of Criollo lambs native to the central Mexican Plateau and Suffolk lambs experimentally infected with *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*. 172, 277-282.
- Amarante, A.F.T.; Bricarello, P.A.; Huntley, J.F.; Mazzolin, L.P. & Gomes, J.C. (2005). Relationship of abomasal histology and parasite-specific immunoglobulin A with the resistance to *Haemonchus contortus* infection in three breeds of sheep. *Veterinary Parasitology*. 128, 99-107.
- Amarante, A.F.T.; Craig, T.M.; Ramsey, W.S.; Davis, S.K. Bazer, F.W. (1999). Nematode burdens and cellular responses in the abomasal mucosa and blood of Florida Native, Rambouillet and crossbred lambs. *Veterinary Parasitology*. 80, 311-324.
- Bahirathan, M.; Miller, J.E.; Barras, S.R. Kearney, M.T. (1996). Susceptibility of Suffolk and Gulf Coast Native suckling lambs to naturally acquired strongylate nematode infections. *Veterinary Parasitology*. 65, 259-268.
- Bisset, S.A. & Morris, C.A. (1996). Feasibility and implications of breeding sheep for increased natural resistance to infection with nematode parasites. *New Zealand Journal of Zoology*. 18, 85-86.
- Bricarello, P.A.; Gennari, S.M.; Oliveira-Sequeira, T.C.G.; Vaz, C.M.S.L.; Goncalves de Goncalves, I. & Echevarria, F.A.M. (2004). Worm burden and immunological responses in Corriedale and Crioula Lanada sheep following natural infection with *Haemonchus contortus*. *Small Ruminant Research*. 51, 75-83.
- Burke, J.M. & Miller, J.E. (2006). Evaluation of multiple low doses of copper oxide wire particles compared with levamisole for control of *Haemonchus contortus* in lambs. *Veterinary Parasitology*. 139, 145-149.
- Cezar, A.; Toscan, G.; Camillo, G.; Sangioni, L.A.; Ribas, H.O. & Vogel, F.S. (2010). Multiple resistance of gastrointestinal nematodes to nine different drugs in a sheep flock in southern Brazil. *Veterinary Parasitology*. 173, 157-160.
- Cuenca-Verde, C.; Buendía-Jiménez, J.A.; Valdivia-Anda, G.; Cuéllar-Ordaz, J.A.; Muñoz-Guzmán, M.A. & Alba-Hurtado, F. (2011). Decrease in establishment of *Haemonchus contortus* caused by inoculation of a *Taenia hydatigena* larvae vesicular concentrate. *Veterinary Parasitology*. 177, 332-338.
- Evans, J.V.; Blunt, M.H. & Southcott, W. (1963). The effects of infection with *Haemonchus contortus* on the sodium and potassium concentrations in the erythrocytes and plasma, in sheep of different haemoglobin types. *Crop and Pasture Science*. 14, 549-558.
- Fox, M.T. (1997). Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic ruminants: recent developments. *Veterinary Parasitology*. 72, 285-294.
- Hooda, V.; Yadav, C.L.; Chaudhri, S.S. & Rajpurohit, B.S. (1999). Variation in resistance to Haemonchosis: Selection of female sheep resistant to *Haemonchus contortus*. *Journal of Helminthology*. 72, 137-142.
- Kumari, S.; Sinha, S.R.P.; Sinha, S.; Hoda, M.Z. & Kumar, A. (2007). Metabolic disorders during haemonchosis in ruminants. *Intas Polivet*. 8, 396-399.
- Le Jambre, L.F. (1995). Relationship of blood loss to worm burdens, biomass and egg production in *Haemonchus* infected sheep. *International Journal for Parasitology* 25. 269-273.
- Mugambi, R.K.; Bain, J.M.; Wanyangu, S.W.; Ihig, M.A.; Duncan, J.L.; Murray, M. & Stear, M.J. (1997). Resistance of four sheep breeds to natural and subsequent artificial *Haemonchus contortus* infection. *Veterinary Parasitology* 69. 265-273.

- Muñoz-Guzman, M.A.; Cuellar-Ordaz, J.A.; Valdivia-Anda, G.; Buendia-Jimenez, J.A. & Alba-Hurtado, F. (2006). Correlation of parasitological and immunological parameters in sheep with high and low resistance to haemonchosis. *Canadian Journal of Animal Science* 86. 363-371.
- Muñoz-Guzmán, M.A.; Cuenca-Verde, C.; Valdivia-Anda, G.; Cuéllar-Ordaz, J.A. & Alba-Hurtado, F. (2012). Differential immune response between fundic and pyloric abomasal regions upon experimental ovine infection with *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology* 185. 175-180.
- Notter, D.R.; Andrew, S.A. & Zajac, A.M. (2003). Responses of hair and wool sheep to a single fixed dose of infective larvae of *Haemonchus contortus*. *Small Ruminant Research* 47. 221-225.
- Paolini, V.; De La Farge, F.; Prevot, F.; Dorchies, P. & Hoste, H. (2005). Effects of the repeated distribution of sainfoin hay on the resistance and the resilience of goats naturally infected with gastrointestinal nematodes. *Veterinary Parasitology* 127. 277-283.
- Pernthaner, A.; Stankiewicz, M.; Bisset, S.A.; Jonas, W.E.; Cabaj, W. & Pulford, H.D. (1995). The immune responsiveness of Romney sheep selected for resistance or susceptibility to gastrointestinal nematodes: lymphocyte blastogenic activity, eosinophilia and total white blood cell counts. *International Journal for Parasitology* 25. 523-529.
- Quiroz, R.H. (Ed). (1984). *Parasitología y enfermedades parasitarias de los animales domésticos*. México, D.F.: LIMUSA.
- Sangwan, N. & Sangwan, A.K. (2000). Trace elements in relation to *Haemonchus contortus* infection in sheep. *International Journal of Animal Sciences* 15. 23-28.
- Saeed, M.; Iqbal, Z.; Jabbar, A.; Masood, S.; Babar, W.; Saddiqi, H.A. et al. (2010). Multiple anthelmintic resistance and the possible contributory factors in Beetal goats in an irrigated area (Pakistan). *Research Veterinary Science* 88. 267-272.
- Soli, F.; Terrill, T.H.; Shaik, S.A.; Getz, W.R.; Miller, J.E.; Vanguru, M. et al. (2010). Efficacy of copper oxide wire particles against gastrointestinal nematodes in sheep and goats. *Veterinary parasitology*. 168(1), 93-96.
- Soulsby, E. (Ed). (1988). *Parasitología y enfermedades parasitarias en los animales domésticos*. México, D.F.: Interamericana.
- Valdez-Ramírez, L. (2004). Aislamiento de una cepa de *Haemonchus contortus* de origen ovino. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. (<http://132.248.9.195/ppt2004/0332608/Index.html>).
- Van Wyk, J.A.; Van der Merwe, J.S.; Vorster, R.J. & Viljoen, P.G. (1999). Anthelmintic resistance in South Africa: surveys indicate an extremely serious situation in sheep and goat farming. *The Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 66. 273-284.