

Capítulo VI Avances en la interacción animal-ngi-nutrición en pequeños rumiantes

Chapter VI Advances in animal-ngi-nutrition interaction in small ruminants

MÉNDEZ-ORTÍZ, Francisco Alejandro†*¹, VARGAS-MAGAÑA, Juan Jose¹ y CRUZ-TAMAYO, Alvar Alonzo

¹*Universidad Autónoma de Campeche*

ID 1^{er} Autor: *Francisco Alejandro, Méndez-Ortíz* / **ORC ID:** 0000-0001-5686-5204, **CVU CONACYT ID:** 227861

ID 1^{er} Coautor: *Juan José, Vargas-Magaña* / **ORC ID:** 0000-0002-9218-3259, **CVU CONACYT ID:** 101455

ID 2^{do} Coautor: *Alvar Alonzo, Cruz-Tamayo* / **ORC ID:** 0000-0002-5509-3430, **CVU CONACYT ID:** 83358

DOI: 10.35429/H.2019.1.87.99

F. Méndez, J. Vargas y A. Cruz

*famendez@uacam.mx

N. Niño, M. Valencia y M. García. (Dir.) Sustentabilidad, Turismo y Educación. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Guerrero, 2019.

Resumen

Este capítulo tiene como objetivo presentar alternativas para el control de las nematodosis en la producción de pequeños rumiantes realizadas en nuestro grupo de investigación. Se propone el uso suplementos alimenticios que mejoran la resistencia y resiliencia de los animales, pruebas *in vitro* con extractos de plantas con potencial antihelmíntico y su posterior uso *in vivo*, el uso de plantas con potencial nutracéutico, la selección de animales genéticamente resistentes y el uso racional de los antihelmínticos comerciales a través de la desparasitación selectiva dirigida. Estos métodos han sido aplicados y validados en pruebas de laboratorio y de campo y han demostrado su efectividad. Los resultados indican que el uso de suplementos alimenticios mejora en un 36% el ingreso económico por animal. La inclusión de un 40% de plantas con propiedades nutracéuticas en la dieta reduce en un 60% las cargas parasitarias de NGI. La selección de animales genéticamente resistentes permite disminuir en un 46% el número de desparasitaciones por año y, por último, la desparasitación selectiva dirigida reduce los costos por tratamiento en un 85%. El uso de métodos alternativos para el control de las parasitosis por NGI en pequeños rumiantes se refleja en ganancias económicas para el productor y en beneficios ambientales al disminuir el uso de antihelmínticos.

Control, Parásitos, Pequeños rumiantes, Resistencia

Abstract

This chapter offers alternatives for the control of nematodes in small ruminants production systems, including the use of energy and protein as a way to improve the resistance and resilience of the host, *in vitro* assays to test plant extracts with anthelmintic properties due to their secondary metabolites and their subsequent use in the system *in vivo*, use of plants with nutraceutical potential i.e. nutrients and secondary metabolites source, easy ways to select genetically resistant animals and the rational use of commercial anthelmintic through targeted selective treatment. These methods have been applied and validated in laboratory and field tests and have demonstrated their effectiveness. In this chapter, the main results are summarized, including the use of plant extracts that interfere with the biology of nematodes avoiding exsheathment, the improvement in the nutrition of animals through the use of sources of protein and energy that provides animals with extra nutrients to deal with parasites, animals naturally resistant to nematodes i.e. those who better express their immunology against nematodes and the correct use of antiparasitic drugs like dosage, rotation of active principles that prolongs the useful life of these anthelmintic drugs.

Control, Parasites, Small ruminants, Resistance

6 Introducción

La zona sureste de México se caracteriza por una climatología que favorece las parasitosis por nematodos gastrointestinales (NGI), las cuales afectan los parámetros productivos de las unidades de producción pecuaria y que se ha reportado produce pérdidas millonarias por conceptos de daños a la salud de los animales y mermas en la producción de carne, leche y lana, además de las pérdidas por servicios médicos veterinarios y tratamientos preventivos y curativos, sin mencionar que en casos extremos se puede presentar la muerte de los animales.

Por décadas, el control de estas nematodiasis se realizó con antihelmínticos convencionales, los cuales debido a malas prácticas tales como subdosificación, sobredosificación, dosificación sin pesaje previo entre otras, generaron en las poblaciones de nematodos el fenómeno conocido como resistencia antihelmíntica. Lo anterior ha generado la necesidad de la búsqueda de métodos alternativos, amigables con el medio ambiente y que tengan la capacidad de combatir las nematodosis con un daño ecológico mínimo.

Esta problemática que impacta la salud animal se ha venido resolviendo por medio de una serie de opciones que representan una batería de acciones validadas a nivel de investigación y que el productor puede utilizar entre ellas se cuentan: i) Estudios del papel de la proteína y energía como mediadores de la resistencia y resiliencia contra las poblaciones parasitarias ii) Uso de plantas con potencial antihelmíntico; que revisa la etnoveterinaria para localizar plantas locales con potencial antihelmíntico (AH) y la prueba de las mismas a través de ensayos *in vitro* de sus extractos sobre diferentes estadios biológicos de los nematodos iii) Uso de plantas con potencial nutracéutico para el control de las nematodosis; que se apoya en el uso de plantas locales con potencial antihelmíntico para su uso *in vivo* en las unidades de producción pecuaria (UPP); iv) Selección de animales genéticamente resistentes a NGI; que se enfoca en encontrar metodologías sencillas y económicas para lograr la identificación de animales que de manera natural son resistentes y resilientes a las infecciones por nematodos y que pueden ser seleccionados como futuros padres de la siguiente generación; v) Métodos de desparasitación selectiva dirigida; que fomenta el uso racional de los antihelmínticos comerciales existentes y aun eficientes para el control de los NGI en un programa organizado que utiliza técnicas sencillas y económicas que permiten localizar a los animales que realmente requieren tratamiento, los cuales son tratados únicamente, además de la correcta rotación de estos principios activos.

6.1 Efecto de la energía y proteína sobre las nematodosis

Este tema sugiere que una mejora en la nutrición de los animales conducirá a un aumento en la resiliencia y resistencia de los animales parasitados. El efecto parece ser más claro en los animales jóvenes que tienen una primoinfección, donde los parásitos gastrointestinales provocan cambios fisiopatológicos sustanciales y daños en los tejidos (Holmes, 1993). En el ámbito científico es aceptado que existe un marco de partición de nutrientes en el cual se describe un orden de prioridades para los recursos alimenticios. Se espera que el mantenimiento de las proteínas corporales sea de mayor prioridad para la asignación de recursos porque garantiza la supervivencia de los animales a corto plazo. El crecimiento y la reproducción tienen la segunda prioridad porque garantiza el material genético del animal a largo plazo, mientras que la expresión de la inmunidad será de una prioridad menor en la asignación de recursos (Coop & Kyriazakis, 2001). Por lo tanto, se requiere una mayor cantidad de nutrientes para alcanzar a cubrir la expresión de la inmunidad. Estudios previos muestran que la ingesta de una mayor cantidad de proteína, por ejemplo, dio lugar a una reducción de las consecuencias fisiopatológicas (pérdida de sangre e hipoalbuminemia) de corderos infectados con *H. contortus* (Wallace et al., 1995). Otros autores han demostrado el aumento de peso de animales parasitados cuando se mejora su plano nutricional.

Se ha observado una mejora en la ganancia diaria de peso (GDP) cuando los animales en infección por goteo reciben una ingesta proteica (Kyriazakis, Oldham, Coop, & Jackson, 1994; Van-Houtert, Barger, Steel, Windon, & Emery, 1995) o una suplementación durante el pastoreo con pastos de mala calidad (Van-Houtert & Sykes, 1996). Las respuestas a la suplementación fueron mejores cuando la proteína consumida por el animal fue sobrepasante, es decir, no fue biodegradable en el rumen (ejemplo: harina de pescado). Otro estudio ha demostrado que ovinos y caprinos son capaces de seleccionar una dieta de mayor calidad cuando presenta una infección en busca de mejorar su resistencia (Kyriazakis, Anderson, Oldham, Coop, & Jackson, 1996; Kyriazakis et al., 1994). Anteriormente se pensaba que la proteína era el nutriente más importante en animales infectados con NGI, debido a que su metabolismo influye en la adquisición de la inmunidad innata y adquirida del animal infectado, sin embargo, otros estudios han demostrado que la energía es otro componente importante (Van-Houtert, Barger, & Steel, 1995; Van-Houtert & Sykes, 1996) y sin este no se puede llevar a cabo el desarrollo de células y proteínas que participan en la inmunidad.

Por lo tanto, la presencia de nematodos gastrointestinales representa requerimientos nutricionales adicionales (energía y proteína) para los animales infectados. Méndez.Ortiz et al. (2019) realizaron un meta-análisis para evaluar el efecto del parasitismo con NGI (infecciones mixtas o mono-específicas) sobre los indicadores productivos (consumo y GDP) y el costo metabólico asociado. Entendiéndose por costo metabólico, como la cantidad extra de energía y proteína que requiere un animal parasitado para alcanzar, en términos de GDP, a su contemporáneo no parasitado. Se encontró que la carga parasitaria es un factor que influye en el consumo y cambio de peso vivo. Así mismo, el costo metabólico aumenta linealmente por cada parásito adulto, tanto para EM ($0.06 \text{ kJ/kg}^{0.75}$) como PC ($0.27 \text{ mg/kg}^{0.75}$). Solo existen dos reportes previos del costo metabólico del parasitismo por NGI en términos de energía y proteína, uno en condiciones de jaulas metabólicas (Liu, Smith, Karlsson, Palmer, & Besier, 2005) y otro en pastoreo (Retama-Flores et al., 2012).

Estos estudios presentan un costo metabólico de NGI similares al estimado en el meta-análisis. Integrar un meta-análisis con amplio rango de niveles de alimentación e infección nos permitió estimar de manera más precisa el costo metabólico de los NGI.

Por lo tanto, si se suministra la cantidad necesaria de energía y proteína de acuerdo con su grado de infección los corderos podrán sobreponerse a la infección y obtener GDP similares a los animales no infectados. En resumen, la suplementación con energía y proteína puede mejorar la resiliencia y resistencia contra los NGI y si esta se integra con otros métodos alternativos de control de nematodos como puede ser animales resistentes y metabolitos secundarios de las plantas, incluso se pudiera potencializar los efectos.

6.2 Uso de extractos de plantas con potencial antihelmíntico

Durante el ramoneo los herbívoros consumen metabolitos secundarios de las plantas (MSPs) junto con los nutrientes. Estos compuestos se consideran secundarios y funcionan, en las plantas que los producen, como disuasivos a la herbivoría es decir hacen estas plantas menos apetecibles para la herbivoría ya sea por ser tóxicas o por reducir la digestibilidad de las plantas (Iason & Wieren, 1999). Uno de los MSPs más distribuidos en el reino vegetal son los taninos, los cuales se dividen en dos clases: hidrolizables y condensados, los cuales son aversivos para los herbívoros y a altas concentraciones son tóxicos (Mueller-Harvey, 2006). Sin embargo, se ha descubierto que a ciertas dosis pueden tener efectos benéficos en la nutrición y salud animal y una de las más estudiadas se refiere a sus propiedades antihelmínticas (Hoste et al., 2012). Por otro lado, se sabe que los animales parasitados pueden seleccionar ciertas plantas por sus metabolitos secundarios, los cuales tienen acción a diferentes niveles en la biología de los parásitos y de esta manera mejoran su salud (De-Roode, Lefèvre, & Hunter, 2013). Una manera de conocer el potencial antihelmíntico de las plantas lo constituyen los ensayos *in vitro* (Jackson & Hoste, 2010), en este sentido se sabe que los MSPs pueden afectar en los estadios larvarios de los nematodos (larvas L3), por ejemplo el proceso de desvaine, necesario para que las larvas penetren la mucosa de sus hospedadores (Brunet & Hoste, 2006), se sospecha que esto se relaciona con la habilidad de los taninos de unirse a las proteínas que son parte constitutiva de la vaina de las larvas o las enzimas relacionadas con el proceso de ecdisis larvario (Hoste et al., 2012; Stepek, McCormack, & Page, 2010).

En este estudio se evaluó el efecto de diferentes extractos de plantas sobre el desarrollo larvario dentro de los huevos (actividad ovicida), la eclosión larvaria y se validó el papel de los taninos en estas acciones a través del uso de un bloqueador de taninos. Se usaron extractos de hojas de plantas ricas en taninos: *Lysiloma latisiliquum*; *Laguncularia racemosa*; *Rhizophora mangle*; *Avicenna germinans*. Además, se probaron extractos de sub-productos agroindustriales; *Coffea arabica* y *Theobroma cacao*. Estos productos fueron molidos y mezclados con acetona agua para extraer los taninos contenidos en ellos. Para conocer su efecto antihelmíntico se usaron los bioensayos de: Ensayo de inhibición del desvaine larvario; ensayo de eclosión de huevos; Ensayo de inhibición de la migración larvaria.

En este estudio se reporta, para el caso del ensayo de inhibición del desvaine larvario que todos los extractos (plantas y subproductos) muestran un efecto antihelmíntico significativo de dosis dependencia a partir de 600 µg/ml hasta los 1200 µg/ml y el uso del agente bloqueador de taninos polivinilpirrolidona (PVPP) permitió restaurar el nivel de desvaine larvario, lo que confirma el papel de los taninos en afectar este proceso biológico de los nematodos. Para el caso del ensayo de eclosión de huevos los extractos de la planta *L. racemosa* mostraron un efecto antihelmíntico altamente significativo de dosis efecto; mientras que *A. germinans* y *L. latisiliquum* mostraron efecto significativo de dosis dependencia; los efectos para estos extractos de plantas se mostraron a las concentraciones de 2400 y 3600 µg/ml. En el caso de los subproductos agroindustriales *T. cacao* mostró efecto de dosis dependencia a las concentraciones de 1200 a 3600 µg/ml; mientras que *C. arabica* no mostró efecto a ninguna concentración. Durante el desarrollo del ensayo de inhibición de la migración larvaria se registró que ningún extracto de plantas mostró efecto antihelmíntico significativo a ninguna concentración; mientras que para el caso de los extractos de subproductos agroindustriales *T. cacao* mostró efecto antihelmíntico significativo de dosis dependencia. Lo anterior demuestra que los ensayos de inhibición del desvaine larvario y eclosión de huevos pueden ser usados como herramientas para evaluar el potencial antihelmíntico de los extractos de plantas y subproductos agroindustriales y pueden usarse como pruebas tamiz para elegir plantas a ser probadas en ensayos *in vivo* con animales de los diferentes de sistemas de producción en pastoreo.

6.3 Uso de plantas como nutraceuticos

Muchas de las plantas que los animales consumen en los sistemas de producción con biodiversidad de cultivos pueden ser considerados nutraceuticos, es decir además de su potencial nutricional (energía proteína) poseen compuestos secundarios que pueden asociarse a beneficios en la salud de los animales que los consumen (acción bactericida, antiparasitaria etc.). Por lo tanto, el uso de una biodiversidad de cultivos tanto nutraceuticos, como no nutraceuticos en los sistemas de producción podrían traer un beneficio económico a los productores debido a que permitiría a los animales llenar de mejor manera sus requerimientos nutricionales y poder explotar al mismo tiempo el potencial de medicación que aportaría el consumo de plantas nutraceuticas. Existe una gran variedad de trabajos realizados con plantas para explorar su posible uso como nutraceuticos. Se han utilizado en diferentes formas: hojas, harina de hojas, vainas, frutos y subproductos agroindustriales, por mencionar algunos ejemplos. Así, Martínez-Ortiz-de-Montellano *et al.* (2010) evaluaron la actividad nutraceutica del follaje de *L. latisiliquum*, previamente utilizada en pruebas *in vitro*, en ovejas infectadas artificialmente. Este follaje demostró un efecto sobre el tamaño y los huevos *in útero* de los parásitos. Otro experimento, utilizando ovejas de pelo alimentadas con follaje de *Havardia albicans* infectadas con el parásito *H. contortus*, demostró que, a pesar de reducir la digestibilidad del grupo alimentado con el follaje, hubo una reducción del 58.8 % de los NGI y este efecto fue atribuido a la presencia de los polifenoles (Méndez-Ortiz, Sandoval-Castro, & Torres-Acosta, 2012). Un experimento más reciente, utilizando ovejas de pelo alimentadas con una dieta integral conteniendo diferentes niveles de *Gymnopodium floribundum* (GF) e infectadas con *Haemonchus contortus* determinó el valor nutraceutico de *G. floribundum* a través de su efecto sobre el consumo, la digestibilidad y carga de parásitos en ovinos infectados con *H. contortus*.

Para lograr lo anterior, se decidió utilizar los pasos metodológicos propuestos por Hoste *et al.* (2015) para la evaluación *in vivo* de una planta nutraceutica incluyendo: (i) la planta debe considerarse un alimento con un contenido aceptable de nutrientes y una digestibilidad aparente *in vivo*, (ii) la planta debe ser fácilmente consumida por los hospederos, (iii) la planta debe contener metabolitos secundarios activos con actividad confirmada de AH *in vitro*, (iv) poco o ningún impacto negativo en la producción animal, (v) el consumo debe resultar en una actividad AH *in vivo* medible. Los resultados mostraron que *G. floribundum* tuvo efecto negativo sobre la carga parasitaria, al reducir el número de hembras presentes cuando se incluyó esta planta en la dieta integral de los animales a razón de un 40%. No se observó efecto de *G. floribundum* sobre el consumo de MS de la dieta. Sin embargo, la dieta con *G. floribundum* al 40% presentó una menor digestibilidad (Méndez-Ortiz *et al.*, 2019). Es probable que una fracción de los TC de *G. floribundum* haya interactuado con las proteínas de la dieta, causando una reducción en la digestibilidad (Waghorn, 2008). Por el otro lado, los TC pudieron tener un efecto AH directo contra las hembras de *H. contortus* como ha reportado Martínez-Ortiz-de-Montellano *et al.* (Martínez-Ortiz-de-Montellano *et al.*, 2010). *G. floribundum*, puede ser considerada una planta con valor nutraceutico, debido a que presenta una alta concentración de TC, una mediana calidad proteica, un consumo aceptable por los ovinos, un efecto AH sobre *H. contortus*, pero reduce ligeramente la digestibilidad de la dieta. Por lo tanto, el consumo de *G. floribundum* parece ser una decisión basada en el costo-beneficio (“trade off”), entre reducir la carga parasitaria de *H. contortus* a pesar de la disminución en la digestibilidad de la dieta.

Además de los efectos antihelmínticos encontrados en las plantas con potencial nutraceutico, se han registrado otros efectos benéficos tales como: i) unión de los taninos a las proteínas de los alimentos evitando su degradación en rumen y dejándola disponible para su absorción en intestino delgado (proteína de sobrepaso) (Rahman, Refat, Zhang, Zhang, & Yu, 2019) ii) reducción de la excreción del nitrógeno en orina que resulta en una reducción del costo energético por síntesis de urea (Somda, Powell, Fernández-Rivera, & Reed, 1993); iii) reducción en las concentraciones de metano en los animales que consumen plantas nutraceuticas debido a la disminución de proteína disponible para las bacterias de fermentación (Carulla, Kreuzer, Machmüller, & Hess, 2005); iv) Reducción de los efectos adversos que pudiera ocasionar el exceso de proteína. Esto último se ha observado a través de un meta-análisis donde se estudió el efecto de diferentes plantas con taninos condensados sobre el consumo y la ganancia diaria de peso de ovinos, en ese estudio se pudo observar que animales con dietas de buena calidad (alta concentración de proteína y energía) y presencia de taninos condensados presentaban una mejor ganancia de peso que animales con dietas de buena calidad sin taninos condensados (Méndez-Ortiz, Sandoval-Castro, Ventura-Cordero, Sarmiento-Franco, & Torres-Acosta, 2018). Es importante mencionar que los metabolitos secundarios presentes en las plantas nutraceuticas debido a su naturaleza pueden ocasionar una reducción en la digestibilidad de la dieta, sin embargo, es un costo-beneficio que el animal elige en busca de mejorar su salud.

6.4 Selección de animales genéticamente resistentes a nematodos

En un rebaño infectado con NGI se presentan tres fenotipos en relación con el establecimiento del parásito en el hospedero: i) los animales resistentes que tienen una respuesta inmune capaz de prevenir el establecimiento de L₃, rechazar los nematodos ya implantados y reducir la aparición de la infección parasitaria (Miller & Horohov, 2006), ii) los animales resilientes que son aquellos capaces de mantenerse saludables y productivos a pesar de altos niveles de infección (Sargison, 2013) y iii) los animales susceptibles que son aquellos que son incapaces de prevenir la infección y por tanto las consecuencias del parasitismo como disminución de la productividad y el riesgo de la muerte (Assenza et al., 2014).

Se han seleccionado ovinos y cabras resistentes y resilientes con el objetivo de evitar las altas pérdidas causadas por el parasitismo en especial por *Haemonchus contortus* (Bishop, 2012). Al seleccionar animales resilientes se tiene un rebaño con buenos niveles de productividad, aunque estén con una fuerte infección parasitaria, sin embargo, en eventos donde la nutrición sea inadecuada o en condiciones fisiopatológicas que resulten en inmunosupresión, estos individuos pueden volverse susceptibles y sufrir las consecuencias del parasitismo incluida la muerte (Woolaston & Baker, 1996). Hay otro problema al seleccionar ovinos resilientes, que es la alta contaminación de las praderas con L₃ debido a la elevada excreción de huevos de NGI que será dañino especialmente para los animales susceptibles, tanto crías como madres en el parto (Fox, 1997). Por lo tanto, la selección de animales resistentes es ampliamente aceptado como una herramienta alternativa para el control de NGI, ya que no sufren las consecuencias de la infección, su baja excreción de huevos significa una baja contaminación de las praderas y por consecuencia menos tratamientos antihelmínticos, mantenimiento de la eficacia de los principios activos y reduce la población de parásitos resistentes (Zvinorova et al., 2016).

En Australia y Nueva Zelanda los programas de crianza selectiva de borregas resistentes han estado funcionando durante muchos años con una reducción exitosa en la incidencia de infecciones parasitarias en comparación con rebaños no seleccionados (Gray, 1997). En un estudio se reportó que en borregas de raza Merino que fueron seleccionadas por resistencia a NGI, se tuvieron resultados de cuenta de huevos fecales (FEC) reducidos en un 69% (Eady et al., 1998). Mejorar la resistencia a los NGI es sostenible, factible y deseable.

La resistencia a NGI es poligénica y de carácter cuantitativo, entonces la selección de animales resistentes trae consigo el fenómeno de la correlación genética. Hay estudios que reportan que los animales resistentes son menos productivos que los no resistentes a NGI (Morris et al., 2000). Sin embargo, otros han reportado una correlación genética positiva entre la resistencia a NGI y rasgos de producción, como el crecimiento (Bouix et al., 1998). Esto sugiere que podría existir un mecanismo de asignación de nutrientes para satisfacer las demandas de mantenimiento de la producción y de la inmunidad (Kyriazakis & Houdijk, 2006).

Para poder seleccionar a los ovinos resistentes a NGI es necesario identificarlos mediante marcadores fenotípicos relacionados con indicadores parasitológicos, inmunológicos y aquellos relacionados con la patología de las nematodiasis (Cuadro 1) y genéticos relacionados con la infección parasitaria. La identificación de genes que tienen una asociación significativa con la resistencia a NGI permite seleccionar animales sin la necesidad de inducir la infección parasitaria. Además, una comprensión detallada de los genes y mecanismos involucrados en la inmunidad adquirida y los factores que regulan esta respuesta también son esenciales para establecer estrategias para la crianza de animales con métodos de control sustentables contra los NGI. Los marcadores genéticos más comunes asociados a la resistencia a NGI son:

- Identificación de *loci* de caracteres cuantitativos (QTL), es decir la búsqueda de regiones genómicas que expliquen una proporción relativamente alta de variación genética de esta característica (Emery, Hunt, & Le Jambre, 2016).
- Con ayuda de fragmentos de restricción de longitud polimórfica (RFLP) se estudian genes candidatos relacionados con el complejo mayor de histocompatibilidad (Ovar-MHC) que codifican proteínas que intervienen en la presentación del antígeno a los linfocitos B durante la respuesta inmune (Bishop, 2012).

- Mediante exploración de polimorfismos de nucleótido único (SNP) han encontrado expresión por células Th2 y Th17 y asociados a ovinos resistentes a NGI. Para ovinos existen chips (OvineSNP12K, OvineSNP50K y OvineSNP700K, Illumina) con los que se pueden detectar simultáneamente más de 50,000 SNP y usar estos marcadores para predecir el mérito genético para resistencia a NGI (Atlija, Arranz, Martínez-Valladares, & Gutiérrez-Gil, 2016).
- La expresión de genes mediante análisis del mRNA es una poderosa herramienta para la identificación de genes de proteínas que se alteran notablemente durante la infección por NGI en los ovinos ya que nos permite comprender las bases moleculares de la variación fenotípica de la resistencia a NGI (Sallé et al., 2014).
- Lo más reciente es el uso de las herramientas ómicas (genómica, transcriptómica, metabolómica y proteómica) donde se analizan gran cantidad de datos genéticos que generan conocimiento sobre los procesos biológicos. En cabras, fue analizado el transcriptoma de sangre periférica de cabras resistentes y susceptibles a NGI. El análisis de RNA-seq mostró que 298 genes se encontraban altamente expresados en las cabras resistentes respecto a las susceptibles. Los genes estaban asociados a inmunidad innata, factor de crecimiento transformante y proteína quinasa activada por mitógenos (Bhuiyan et al., 2017).

Estos hallazgos proporcionan información que es relevante para el mejoramiento de la resistencia del hospedero a las infecciones por NGI y que permite conocer los mecanismos involucrados a la resistencia de los ovinos a las infecciones por NGI. Escoger un marcador (fenotípico o genético) para identificar a animales resistentes a *H. contortus* y otros NGI dependerá de las capacidades tecnológicas y presupuesto que se tengan. En un principio quizá sea suficiente el conteo fecal de huevos y el volumen celular aglomerado, pero mientras más marcadores usemos la selección para mejoramiento genético en la resistencia a NGI será más acertada. Por ejemplo, en un trabajo reciente el objetivo fue seleccionar corderos Pelibuey resistentes, susceptibles y resilientes después de una infección experimental con 6,000 L₃ de *H. contortus*, mediante el FEC y parámetros hematológicos como volumen celular aglomerado, cuenta total de leucocitos, linfocitos, eosinófilos y neutrófilos. Para la segregación en resistentes, susceptibles y resilientes se utilizó un modelo que utiliza la media \pm 3 errores estándar del FEC. Los resultados fueron nueve corderos resistentes, seis susceptibles y 14 resilientes, donde los corderos resistentes presentaron los valores más bajos ($p < 0.05$) del promedio de huevos por gramo de heces (1061 ± 1053) respecto a los otros grupos (susceptible= 3958 ± 3037 y resiliente= 2385 ± 1794). Como apoyo al modelo de segregación, los valores de los parámetros hematológicos siempre fueron más elevados para los corderos resistentes en todas las etapas de la infección. Los nueve corderos seleccionados como resistentes a *H. contortus* pueden pasar a formar parte de un rebaño genéticamente resistente a NGI.

6.5 Métodos de desparasitación selectiva dirigida

Tratamientos selectivos.- Estos métodos consisten en la aplicación de tratamientos AH pero teniendo en mente que la aplicación debe ser de manera racional, es decir la aplicación de los tratamientos de acuerdo al peso correcto de los animales y eligiendo métodos que permitan seleccionar “solamente” a los animales que lo requieran, evitando de esta manera una presión de selección elevada sobre los nematodos dentro de los animales que los contienen, con bajo control sobre el refugio de los parásitos (ambiente) y de esta manera retardando la resistencia a los AH convencionales. Este método consiste en la evaluación clínica del animal, y dentro de la inspección se evalúan dos criterios primordiales: el grado de anemia, medido a través del sistema FAMACHA[®] y el grado de nutrición a través de la medición de la condición corporal (Torres-Acosta et al., 2014).

Desparasitación selectiva dirigida con uso del método FAMACHA[®].- El método FAMACHA[®] inició como un proyecto apoyado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se desarrolló en Sudáfrica por Francois Malan (Faffa Malan Chart), tiene como objetivo reducir los costos de los problemas ocasionados por la parasitosis, y se estableció como un sistema eficiente de control para la identificación de animales infectados con *Haemonchus contortus*, parásito hematófago íntimamente ligado a la producción de anemia en los animales parasitados. Este sistema ha sido evaluado con éxito en varios países localizados en las regiones tropicales y subtropicales (Bath, Hansen, Krecek, van Wyk, & Vatta, 2001; Leon & Choque-López, 2010; Vargas-Rodríguez, 2006).

El sistema FAMACHA[®] consiste en una serie de cinco figuras de la mucosa palpebral de los borregos, en cada una se muestra una conjuntiva con diferente coloración que va desde el rojo hasta el rosa pálido, cada figura tiene una calificación de 1 hasta el 5, y corresponden al respectivo estado hematológico del animal; $> 0 = 28\%$ en la categoría 1, 23-27% en la categoría 2, 18-22% para la categoría 3, 13-17% para la categoría 4 y $< 0 = 12\%$ para la categoría 5 (Morales, Guillen, Pinho, Pino, & Barrios, 2010; van Wyk & Bath, 2002) (Figura 1).

Las ventajas de este método son:

- El método FAMACHA[®] permite desparasitar selectivamente a los animales más afectados y a su vez realizar una selección de individuos resistentes (Vargas-Rodríguez, 2006).
- Permite reducir los costos de producción a través de un programa selectivo de desparasitación, mantiene a su vez una población de parásitos susceptibles a los fármacos y evita que se dé un uso desmedido de los mismos (Vargas-Rodríguez, 2006).
- Es una herramienta para utilizar a nivel campo, la cual puede ser aplicada debido a que no involucra términos técnicos de gran complejidad (Vargas-Rodríguez, 2006).

Las desventajas de este sistema son (FAO, 2003):

- Posibilidad de diagnósticos erróneos.
- Muchas veces su fundamento es difícil de entender para el productor.
- Puede ocasionar actitudes simplistas e uso indiscriminado de esta tecnología.
- No es consistente en algunas categorías de animales como en corderos jóvenes y ovejas recién paridas.
- Cuando las condiciones epidemiológicas favorecen al parásito, la frecuencia de tratamientos aumenta, así como la necesidad de incrementar las inspecciones en el establecimiento (Por el riesgo de aumentar pérdidas productivas/muertes de animales).

Desparasitación selectiva dirigida.- La desparasitación selectiva dirigida (DSD) es una metodología que se encuentra dentro de la categoría para la eliminación de los NGIs mediante tratamiento químico estratégico (Medina-Pérez, Ojeda-Robertos, Reyes-García, Cámara-Sarmiento, & Torres-Acosta, 2015).

La DSD tiene como principio que la mayoría de los animales tienen pocos parásitos, mientras que solo una pequeña cantidad de ellos poseen altas cargas parasitarias, presentan signos clínicos de parasitosis, son responsables de la mayor cantidad de la infectividad de la pradera y son los únicos que deberían ser desparasitados (Medina, Guevara, Ojeda, & Reyes, 2014).

Para cumplir con este principio se hace uso de varias estrategias como la condición corporal, FAMACHA[®], y la cuenta de huevos por gramo de heces (HPG) para que la aplicación de este sea más eficiente y se cumpla con el objetivo, ya que en el trópico de México los animales en producción en sistemas de pastoreo pueden presentar anemia y baja condición corporal debido a la insuficiente cantidad y calidad de la dieta, además de la constante actividad reproductiva; por lo tanto, el uso conjunto de estas tres estrategias permite reducir significativamente la cantidad de animales a desparasitar sin afectar la productividad de los animales (Torres-Acosta et al., 2009; Medina et al., 2014).

La condición corporal ovina se evalúa en la escala 1-5, donde la calificación 1 corresponde a un animal emaciado y la calificación 5 a un animal obeso (Thompson & Meyer, 1994). Los animales con condición corporal menor a 2.5 pueden considerarse como reservorios de parásitos, sin embargo, por si sola esta afirmación no está bien fundamentada ya que es imprecisa, por ejemplo, en animales resilientes se limita su uso, es por ello que se requiere de estrategias como el método FAMACHA[®] y el conteo de huevos por gramo de heces (Morales, Pino, Sandoval, Florio, & Jiménez, 2006).

Por otra parte, en los primeros estudios de la FAMACHA[®] se comenzó a notar que se tenía una correlación directa de la condición corporal respecto a los animales que necesitaban tratamiento; ya que hay que recordar que los animales con desnutrición o falta de componentes dietéticos específicos como cobre, cobalto y fósforo aumenta las pérdidas de producción y las tasas de mortalidad por parásitos, sin embargo el punto principal del uso de la FAMACHA[®] y la condición corporal, es que el primero por su origen y creación es ideal para identificar a los animales que enfrentan desafíos con gusanos hematófagos, mientras que la evaluación de condición corporal resulta útil para especies de gusanos que no se alimentan de sangre (Bath et al., 2001). Torres-Acosta et al. (2014) propusieron la utilización conjunta de la técnica FAMACHA[®] y la condición corporal, estos investigadores usaron como criterio la toma de muestras de heces en valores de FAMACHA[®] de 4 o 5 y una condición corporal menor que 2; estas muestras se analizan en el laboratorio y a partir de la determinación del HPG, se confirma o se descarta la desparasitación.

En general para una buena estrategia de control parasitario se debe tomar en cuenta el estado nutricional del animal, requisitos básicos de manejo, cría de animales adecuados, sistemas de monitoreo, uso de antihelmíntico óptimo, planificación adecuada. Dentro de una adecuada revisión para la ejecución de la DSD se tiene que conocer la epidemiología de los nematodos que afectan a nuestro rebaño y los signos que producen (Bath et al., 2001; Torres-Acosta et al., 2014; van Wyk & Bath, 2002). La ventaja de la DSD consiste en conservar la cantidad de parásitos con genes susceptibles a los desparasitantes, permite ahorros en la cantidad del desparasitante utilizado y mano de obra para desparasitar (Torres-Acosta et al., 2014; van Wyk, Hoste, Kaplan, & Besier, 2006). Esta técnica fue bien aceptada por los pequeños productores ya que estos afirman que les permite además de mejorar la salud de su rebaño a través del control de las nematodiasis, mantener un mayor control sobre sus animales, sin embargo, no se sienten seguros para realizarlo de manera particular y preferirían que algún técnico la realizara en sus unidades de producción. La principal limitante encontrada fue la falta de instalaciones adecuadas para el manejo de los animales, aunque los productores conocen esta limitante y están dispuestos a mejorarla. Uno de los productores abandono el uso de la DSD, ya que mencionó que sentía que invertía mucho tiempo en la revisión de los animales y prefería seguir desparasitando a todo el rebaño al momento de percibir signos de enfermedad. En este aspecto se puede mencionar que autores como Cuellar-Ordaz (2007) mencionan que con una buena práctica se podrían revisar alrededor de 500 animales en una hora, lo cual demuestra la viabilidad de la técnica.

6.6 Conclusión

La finalidad de este capítulo es aportar métodos alternativos de control de parásitos, los cuales han sido estudiados en el sureste de México. Todos los métodos han mostrado buenos resultados a nivel regional, por lo que su uso por los productores de pequeños rumiantes podrá ayudar a reducir la resistencia de los NGI a los antihelmínticos convencionales. El uso de alguno de estos métodos o la combinación de estos permitirá a los productores de pequeños rumiantes, reducir el impacto de las parasitosis en aspectos tales como:

i) El uso de fuentes de suplementación; permite mejorar hasta un 36% el ingreso por animal, ii) Las plantas nutracéuticas en 40% de inclusión en la dieta; permite reducir las cargas parasitarias en un 60%; iii) La selección de animales genéticamente resistentes; permite disminuir las desparasitaciones en un 46% y iv) la desparasitación selectiva dirigida; permite reducir los costos por tratamientos antihelmínticos en un 85%. Lo anterior se traduce en mayores recursos económicos para el productor.

6.7 Referencias

Assenza, F., Elsen, J. M., Legarra, A., Carré, C., Sallé, G., Robert-Granié, C., & Moreno, C. R. (2014). Genetic parameters for growth and faecal worm egg count following *Haemonchus contortus* experimental infestations using pedigree and molecular information. *Genetics Selection Evolution*, 46(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-46-13>

Atlija, M., Arranz, J. J., Martínez-Valladares, M., & Gutiérrez-Gil, B. (2016). Detection and replication of QTL underlying resistance to gastrointestinal nematodes in adult sheep using the ovine 50K SNP array. *Genetics Selection Evolution*, 48(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0182-4>

- Bath, G. F., Hansen, J. W., Krecek, R. C., van Wyk, J. A., & Vatta, A. F. (2001). *Sustainable approaches for managing haemonchosis in sheep and goats*.
- Bhuiyan, A. A., Li, J., Wu, Z., Ni, P., Adetula, A. A., Wang, H., ... Du, X. (2017). Exploring the genetic resistance to gastrointestinal nematodes infection in goat using RNA-sequencing. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(4). <https://doi.org/10.3390/ijms18040751>
- Bishop, S. C. (2012). Possibilities to breed for resistance to nematode parasite infections in small ruminants in tropical production systems. *Animal*, 6(5), 741–747. <https://doi.org/10.1017/S1751731111000681>
- Bouix, J., Krupinski, J., Rzepecki, R., Nowosad, B., Skrzyzala, I., Roborzynski, M., ... Gruner, L. (1998). Genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in polish long-wool sheep. *International Journal for Parasitology*, 28(11), 1797–1804. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(98\)00147-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00147-7)
- Brunet, S., & Hoste, H. (2006). Monomers of condensed tannins affect the larval exsheathment of parasitic nematodes of ruminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7481–7487. <https://doi.org/10.1021/jf0610007>
- Carulla, J. E., Kreuzer, M., Machmüller, A., & Hess, H. D. (2005). Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(9), 961–970. <https://doi.org/10.1071/AR05022>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S1471-4922\(01\)01900-6](https://doi.org/10.1016/S1471-4922(01)01900-6)
- De-Roode, J. C., Lefeuvre, T., & Hunter, M. D. (2013). Self-medication in animals. *Science*, 340, 150–151. <https://doi.org/10.1126/science.1235824>
- Eady, S. J., Woolaston, R. R., Lewer, R. P., Raadsma, H. W., Swan, A. A., & Ponzoni, R. W. (1998). Resistance to nematode parasites in Merino sheep: Correlation with production traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49(8), 1201–1211. <https://doi.org/10.1071/A98069>
- Emery, D. L., Hunt, P. W., & Le Jambre, L. F. (2016). *Haemonchus contortus*: the then and now, and where to from here? *International Journal for Parasitology*, Vol. 46, pp. 755–769. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2016.07.001>
- FAO. (2003). Resistencia a los Antiparasitarios: Estado Actual con Énfasis en América Latina. In *Departamento de Agricultura y protección del consumidor*.
- Fox, M. T. (1997). Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic ruminants: Recent developments. *Veterinary Parasitology*, 72(3–4), 285–308. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00102-7)
- Gray, G. D. (1997). The use of genetically resistant sheep to control nematode parasitism. *Veterinary Parasitology*, 72(3–4), 345–366. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00105-2)
- Holmes, P. H. (1993). Interactions between parasites and animal nutrition: the veterinary consequences. *Proceedings of the Nutrition Society*, 52(01), 113–120. <https://doi.org/doi:10.1079/PNS19930043>
- Hoste, H., Martínez-Ortiz-De-Montellano, C., Manolaraki, F., Brunet, S., Ojeda-Robertos, N., Fourquaux, I., ... Sandoval-Castro, C. A. (2012). Direct and indirect effects of bioactive tannin-rich tropical and temperate legumes against nematode infections. *Veterinary Parasitology*, 186(1–2), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.042>

- Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H., ... Terrill, T. H. (2015). Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*, 212(1–2), 5–17. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.06.026>
- Iason, G., & Wieren, S. E. van. (1999). Digestive and ingestive adaptations of mammalian herbivores to low-quality forage. In H. Olf, V. K. Brown, & R. H. Drent (Eds.), *Herbivores: Between Plants and Predators* (pp. 337–370). 71, , .
- Jackson, F., & Hoste, H. (2010). In Vitro Methods for the Primary Screening of Plant Products for Direct Activity against Ruminant Gastrointestinal Nematodes. In P. E. Vercoe, H. P. S. Makkar, & A. C. Schlink (Eds.), *In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies* (pp. 25–45). https://doi.org/10.1007/978-90-481-3297-3_3
- Kyriazakis, I., Anderson, D. H., Oldham, J. D., Coop, R. L., & Jackson, F. (1996). Long-term subclinical infection with *Trichostrongylus colubriformis*: effects on food intake, diet selection and performance of growing lambs. *Veterinary Parasitology*, 61(3–4), 297–313. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(95\)00824-1](https://doi.org/10.1016/0304-4017(95)00824-1)
- Kyriazakis, I., & Houdijk, J. (2006). Immunonutrition: Nutritional control of parasites. *Small Ruminant Research*, 62(1-2 SPEC. ISS.), 79–82. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.036>
- Kyriazakis, I., Oldham, J. D., Coop, R. L., & Jackson, F. (1994). The effect of subclinical intestinal nematode infection on the diet selection of growing sheep. *The British Journal of Nutrition*, 72, 665–677. <https://doi.org/10.1079/BJN19940070>
- Leon, E., & Choque-López, J. A. (2010). *El Método FAMACHA® Para diagnosticar anemias causadas por parasitosis en ovinos y caprinos*. Santo Domingo: Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales.
- Liu, S. M., Smith, T. L., Karlsson, L. J. E., Palmer, D. G., & Besier, R. B. (2005). The costs for protein and energy requirements by nematode infection and resistance in Merino sheep. *Livestock Production Science*, 97(2–3), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.03.007>
- Martínez-Ortíz-de-Montellano, C., Vargas-Magaña, J. J., Canul-Ku, H. L., Miranda-Soberanis, R., Capetillo-Leal, C., Sandoval-Castro, C. A., ... Torres-Acosta, J. F. J. (2010). Effect of a tropical tannin-rich plant *Lysiloma latisiliquum* on adult populations of *Haemonchus contortus* in sheep. *Veterinary Parasitology*, 172(3–4), 283–290. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.04.040>
- Medina-Pérez, P., Ojeda-Robertos, N. F., Reyes-García, M. E., Cámara-Sarmiento, R., & Torres-Acosta, J. F. J. (2015). Evaluation of a targeted selective treatment scheme to control gastrointestinal nematodes of hair sheep under hot humid tropical conditions. *Small Ruminant Research*, 127, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.02.021>
- Medina, P., Guevara, F., Ojeda, N., & Reyes, E. (2014). Resistencia antihelmíntica en ovinos: una revisión de informes del sureste de México y alternativas disponibles para el control de nemátodos gastrointestinales. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 257–263.
- Méndez-Ortíz, F. A., Sandoval-Castro, C. A., & Torres-Acosta, J. F. J. (2012). Short term consumption of *Havardia albicans* tannin rich fodder by sheep: Effects on feed intake, diet digestibility and excretion of *Haemonchus contortus* eggs. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.022>
- Méndez-Ortíz, F. A., Sandoval-Castro, C. A., Vargas-Magaña, J. J., Sarmiento-Franco, L., Torres-Acosta, J. F. J., & Ventura-Cordero, J. (2019). Impact of gastrointestinal parasitism on dry matter intake and live weight gain of lambs: A meta-analysis to estimate the metabolic cost of gastrointestinal nematodes. *Veterinary Parasitology*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.11.008>

- Méndez-Ortiz, F. A., Sandoval-Castro, C. A., Ventura-Cordero, J., Sarmiento-Franco, L. A., Santos-Ricalde, R. H., & Torres-Acosta, J. F. J. (2019). *Gymnopodium floribundum* fodder as a model for the in vivo evaluation of nutraceutical value against *Haemonchus contortus*. *Tropical Animal Health and Production*. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01855-9>
- Méndez-Ortiz, F. A., Sandoval-Castro, C. A., Ventura-Cordero, J., Sarmiento-Franco, L. A., & Torres-Acosta, J. F. J. (2018). Condensed tannin intake and sheep performance: a meta-analysis on voluntary intake and live weight change. *Animal Feed Science and Technology*, 245. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2018.09.001>
- Miller, J. E., & Horohov, D. W. (2006). Immunological aspects of nematode parasite control in sheep. *Journal of Animal Science*, 84 Suppl(February), 124–132. https://doi.org/10.2527/2006.8413_supplE124x
- Morales, G., Guillen, A. T., Pinho, A., Pino, L., & Barrios, F. (2010). Clasificación por el método Famacha y su relación con el valor de hematocrito y recuento de h.p.g. de ovinos criados en condiciones de pastoreo. *Zootecnia Tropical*, 28(4), 545–555.
- Morales, G., Pino, L. A., Sandoval, E., Florio, J., & Jiménez, D. (2006). Niveles de infestación parasitaria, condición corporal y valores de hematocrito en bovinos resistentes, resilientes y acumuladores de parásitos en un rebaño Criollo Río Limón. *Zootecnia Tropical*, 24(3), 333–346.
- Morris, C. A., Vlassoff, A., Bisset, S. A., Baker, R. L., Watson, H. T. G., West, C. J., & Wheeler, M. (2000). Continued selection of Romney sheep for resistance or susceptibility to nematode infection: Estimates of direct and correlated responses. *Animal Science*, 70(1), 17–27. <https://doi.org/10.1017/S1357729800051560>
- Mueller-Harvey, I. (2006). Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2010–2037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>
- Rahman, M. M., Refat, B., Zhang, H., Zhang, W., & Yu, P. (2019). Detect molecular spectral features of newly developed *Vicia faba* varieties and protein metabolic characteristics in ruminant system using advanced synchrotron radiation based infrared microspectroscopy: A preliminary study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 206, 413–420. <https://doi.org/10.1016/J.SAA.2018.08.022>
- Retama-Flores, C., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. a, Aguilar-Caballero, A. J., Cámara-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(01), 145–153. <https://doi.org/doi:10.1017/S1751731111001339>
- Sallé, G., Moreno, C., Boitard, S., Ruesche, J., Tircazes-Secula, A., Bouvier, F., ... Jacquiet, P. (2014). Functional investigation of a QTL affecting resistance to *Haemonchus contortus* in sheep. *Veterinary Research*, 45(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-45-68>
- Sargison, N. D. (2013). Understanding the epidemiology of gastrointestinal parasitic infections in sheep: What does a faecal helminth egg count tell us? *Small Ruminant Research*, 110(2–3), 78–81. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.11.008>
- Somda, Z. C., Powell, J. M., Fernández-Rivera, S., & Reed, J. (1993). Feed factors affecting nutrient excretion by ruminants and the fate of nutrients when applied to soil. In J. M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T. O. Williams, & C. Renard (Eds.), *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa, vol. II*. (pp. 227–243). Addis Ababa, Ethiopia: Technical Papers Proc. Int. Conf. ILCA.
- Stepek, G., McCormack, G., & Page, A. P. (2010). Collagen processing and cuticle formation is catalysed by the astacin metalloprotease DPY-31 in free-living and parasitic nematodes. *International Journal for Parasitology*, 40, 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2009.10.007>

- Thompson, J., & Meyer, H. (1994). Body condition scoring of sheep. In *In Practice: Vol. Corballis*,. <https://doi.org/10.1136/inpract.6.3.91>
- Torres-Acosta, J. F. J., Pérez-cruz, M., Canul-Ku, H. L., Soto-Barrientos, N., Cámara-Sarmiento, R., Aguilar-Caballero, A. J., ... Hoste, H. (2014). Building a combined targeted selective treatment scheme against gastrointestinal nematodes in tropical goats. *Small Ruminant Research*, *121*(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.01.009>
- Van-Houtert, M. F. J., Barger, I. A., & Steel, J. W. (1995). Dietary protein for young grazing sheep: Interactions with gastrointestinal parasitism. *Veterinary Parasitology*, *60*(3–4), 283–295. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(95\)00864-8](https://doi.org/10.1016/0304-4017(95)00864-8)
- Van-Houtert, M. F. J., Barger, I. A., Steel, J. W., Windon, R. G., & Emery, D. L. (1995). Effects of dietary protein intake on responses of young sheep to infection with *Trichostrongylus colubriformis*. *Veterinary Parasitology*, *56*(1–3), 163–180. [https://doi.org/DOI: 10.1016/0304-4017\(94\)00668-3](https://doi.org/DOI:10.1016/0304-4017(94)00668-3)
- Van-Houtert, M. F. J., & Sykes, A. R. (1996). Implications of nutrition for the ability of ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections. *International Journal for Parasitology*, *26*(11), 1151–1167. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(96\)00120-8](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(96)00120-8)
- van Wyk, J. A., & Bath, G. F. (2002). The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Veterinary Research*, *33*, 509–529. <https://doi.org/10.1051/vetres>
- van Wyk, J. A., Hoste, H., Kaplan, R. M., & Besier, R. B. (2006). Targeted selective treatment for worm management-How do we sell rational programs to farmers? *Veterinary Parasitology*, *139*(4), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.023>
- Vargas-Rodríguez, C. F. (2006). FAMACHA© Control de haemonchosis en caprinos. *Agronomía Mesoamericana*, *17*(1), 79–88.
- Wallace, D. S., Bairden, K., Duncan, J. L., Fishwick, G., Gill, M., Holmes, P. h., ... Stear, M. J. (1995). Influence of supplementation with dietary soyabean meal on resistance to haemonchosis in Hampshire down lambs. *Research in Veterinary Science*, *58*(3), 232–237. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(95\)90108-6](https://doi.org/10.1016/0034-5288(95)90108-6)
- Woolaston, R. R., & Baker, R. L. (1996). Prospects of breeding small ruminants for resistance to internal parasites. *International Journal for Parasitology*, *26*(8–9), 845–855. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(96\)80054-3](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80054-3)
- Zvinorova, P. I., Halimani, T. E., Muchadeyi, F. C., Matika, O., Riggio, V., & Dzama, K. (2016). Breeding for resistance to gastrointestinal nematodes - the potential in low-input/output small ruminant production systems. *Veterinary Parasitology*, *225*, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.05.015>.