



Review [Revisión]

**INTERACCIÓN ENTRE LA NUTRICIÓN Y LOS NEMATODOS
GASTROINTESTINALES EN PEQUEÑOS RUMIANTES PASTOREANDO
LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA – CONTRIBUCIONES DE LA FMVZ-
UADY[†]**

**[INTERACTION BETWEEN NUTRITION AND GASTROINTESTINAL
NEMATODES IN SMALL RUMINANTS GRAZING THE LOW
DECIDUOUS FOREST – CONTRIBUTIONS FROM FMVZ-UADY]**

**J.F.J. Torres-Acosta^{*1}, C.A. Sandoval-Castro¹, P.G. González-Pech¹,
M.G. Mancilla-Montelongo², A. Ortega-Pacheco¹, A.J. Aguilar-Caballero,
R.H. Santos-Ricalde¹, L.A. Sarmiento-Franco¹, E. Ramos-Bruno¹,
R.A. Torres-Fajardo¹ and F.A. Méndez-Ortíz³**

¹ *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán.
Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil, CP 97315, Mérida, Yucatán, México. Emails.*

*tacosta@correo.uady.mx, Carlos.sandoval@correo.uady.mx,
pedro.gonzalez@correo.uady.mx, opacheco@correo.uady.mx,
aguilarc@correo.uady.mx, rsantos@correo.uady.mx,*

Luis.sarmiento@correo.uady.mx, veterinario_unam@hotmail.com, rafael-arturo-torres@outlook.es

² *CONACYT - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad
Autónoma de Yucatán, Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, CP 97315. Mérida,
Yucatán, México. Email: maría.mancilla@correo.uady.mx,*

³ *Escuela Superior de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de
Campeche, Calle 53 S/N, Col. Unidad, Esfuerzo y Trabajo #2, Escárcega, CP 24350
Campeche, México. Email: famendez@uacam.mx*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. Small ruminants that graze in the low deciduous forest (LDF) face problems related to malnutrition and gastrointestinal nematode GIN infections. Over the past 30 years, FMVZ-UADY researchers have conducted extensive research to understand the interaction between small ruminant nutrition, the plants consumed in the LDF, and GINs. **Objective.** To review the work carried out at the FMVZ-UADY to explain why these problems of malnutrition and GIN infection occur and how to solve them. **Main findings.** Research shows that the complex interactions between small ruminants, the LDF plants, and the GINs help explaining malnutrition problems and GIN infections. Both of these problems have also been shown to abate through dietary supplementation, which must be designed to deliver the limiting nutrients in the LDF. Producers can use criteria such as weight gain and body condition score (BCS) to monitor that their animals are in an adequate nutritional plane of nutrition. To maintain strong resilience and resistance against GINs, growing animals should achieve > 100 g / day weight gain and adults should maintain > 2.5 BCS. It has also been confirmed that many LDF plant species contain secondary compounds (SC) that can affect the biology of different life stages of GIN, so they could be used as nutraceuticals. However, some SC can also adversely affect the digestion and absorption of nutrients in sheep and goats, so they must be used with caution. The presence of plants containing SC with anthelmintic activity has made it possible to explore the capacity of animals to self-medicate. In these studies, it has been shown that goats do not express a “curative” self-medication behavior against GINs, but do exhibit “preventive” self-medication behaviors that could allow them to limit their GIN burdens. However, animals seem to favor a preventive behavior aimed at avoiding nitrogen:energy imbalances in the consumed diet. **Implications:** Many LDF plant species have a high potential to be used for both nutritional and medicinal purposes in small ruminants, therefore, these species could be considered as nutraceutical resources. **Conclusions.** The work carried out in the last 3 decades has shown us that the optimal use of LDF by sheep and goats will be achieved through a better understanding of the interaction between animals, their GIN and the plants of the LDF.

Keywords: secondary compounds; nutraceuticals; nutrition; supplementation.

[†] Submitted June 08, 2021 – Accepted August 22, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.

RESUMEN

Antecedentes. Los pequeños rumiantes que pastorean en la selva baja caducifolia (SBC) deben enfrentar problemas relacionados con la desnutrición y las infecciones por nematodos gastrointestinales (NGI). En los últimos 30 años, los investigadores de la FMVZ-UADY han realizado numerosas investigaciones para comprender la interacción entre la nutrición de los pequeños rumiantes, las plantas consumidas en la SBC y los NGI. **Objetivo.** Revisar los trabajos realizados en la FMVZ-UADY para explicar por qué se presentan estos problemas de desnutrición e infección por NGI y cómo resolverlos. **Principales hallazgos.** Los trabajos realizados demuestran que las complejas interacciones entre los pequeños rumiantes, las plantas de la SBC y los NGI ayudan a explicar los problemas de desnutrición y las infecciones por NGI. También se ha demostrado que ambos problemas disminuyen mediante la suplementación dietética, la cual debe diseñarse para aportar los nutrientes limitantes en la SBC. Los productores pueden usar criterios como la ganancia de peso y la condición corporal (CC) para monitorear que sus animales estén en un plano nutricional adecuado. Para mantener una sólida resiliencia y resistencia contra los NGI, los animales en crecimiento deben alcanzar una ganancia de peso >100 g/día y los adultos deben mantener una CC >2.5. También se ha confirmado que muchas especies de plantas de la SBC contienen compuestos secundarios (CS) que pueden afectar la biología de diferentes fases de vida de los NGI, por lo que pudieran ser aprovechadas como nutraceuticos. Sin embargo, algunos CS también pueden afectar negativamente la digestión y absorción de nutrientes de ovinos y caprinos, por lo que hay que usarlos con cuidado. La presencia de plantas que contienen CS con actividad antihelmíntica ha permitido explorar la capacidad de los animales para auto medicarse. En estos estudios se ha demostrado que las cabras no expresan una conducta de auto medicación “curativa” contra los NGI, pero si presentan conductas de auto medicación “preventiva” que pudieran permitirles limitar sus cargas de NGI. Sin embargo, los animales parecen privilegiar una conducta preventiva dirigida a evitar desbalances de nitrógeno:energía en la dieta consumida. **Implicaciones:** Muchas especies de plantas de la SBC tienen un alto potencial para ser empleadas tanto con fines nutricionales como medicinales en pequeños rumiantes, por lo tanto, estas especies podrían ser consideradas como recursos nutraceuticos. **Conclusiones.** El trabajo realizado en las últimas 3 décadas nos ha mostrado que el uso óptimo de la SBC por los ovinos y caprinos se logrará mediante un mejor entendimiento de la interacción entre los animales, sus NGI y las plantas de la SBC.

Palabras clave: compuestos secundarios; nutraceuticos; nutrición; suplementación.

INTRODUCCIÓN

Desde la llegada de los rumiantes domésticos a México hace aproximadamente 500 años, estos animales debieron adaptarse para sobrevivir utilizando como alimento los recursos forrajeros disponibles en cada ecosistema de nuestro país. Los rumiantes que fueron introducidos a las selvas tropicales tuvieron que adaptarse a temperaturas y humedades elevadas, y además debieron aprender a consumir numerosas plantas que les resultaban desconocidas. Uno de los ecosistemas de México donde se establecieron los rumiantes domésticos fue la selva baja caducifolia (SBC), que actualmente ocupa el 8% de la superficie de México y es el ecosistema predominante de Yucatán. En la actualidad, muchos productores de ovinos y caprinos siguen obteniendo gran parte de la dieta de sus animales de la vegetación presente en la SBC. No obstante, la SBC es un recurso que frecuentemente no es valorado en todo su potencial (Torres-Acosta et al., 2008, 2016). Como resultado del desconocimiento del potencial forrajero de las plantas nativas de la SBC muchos productores y técnicos de la zona buscan sustituirlas por pastos tropicales de muy baja calidad y difícil mantenimiento, o por árboles forrajeros traídos de otras latitudes que no encuentran las condiciones de suelo y clima para desarrollarse. Es necesario aprender a hacer un uso sustentable de la vegetación de la SBC de tal manera que permita seguir disfrutando de sus numerosos servicios ambientales, y al mismo tiempo se logre una producción óptima de

pequeños rumiantes (Cardozo-Herrán et al., 2021). En el presente trabajo se enlistan las investigaciones realizadas en la FMVZ-UADY dirigidas a comprender la interacción entre la nutrición y los nematodos gastrointestinales (NGI) de pequeños rumiantes pastoreando la SBC.

Investigando el potencial nutricional del recurso forrajero de la SBC

A principios de los ochenta del siglo pasado se inició la investigación para describir el consumo de plantas de la SBC por los caprinos (Rios y Riley, 1985) y los ovinos (Ortega-Reyes, 1985). Esta investigación coincidió con los esfuerzos por encontrar alternativas de diversificación productiva para los campesinos de Yucatán, que en esos años eran expulsados de la agroindustria del henequén, la cual colapsaba de forma irremediable. Estos estudios fueron importantes para identificar a la SBC como una fuente de alimento que podía mantener la producción de ovinos y caprinos. Ante esto, se realizaron números esfuerzos para evaluar el valor nutricional *per se* de las plantas forrajeras que eran comúnmente empleadas en la alimentación de rumiantes. Así, los primeros trabajos iniciaron con evaluaciones de consumo, digestibilidad y preferencia del follaje de varias plantas ampliamente conocidas por los productores: huaxim (*Leucaena leucocephala*), tzalam (*Lysiloma latisiliquum*) (Sandoval-Castro et al., 2002; Sandoval-Castro et al., 2005b), *Boerhavia erecta* (Capetillo et al., 2002c),

frijol mucuna (Sandoval Castro et al., 2003, Loyra-Tzab et al., 2011, García-Galvan et al., 2012, Loyra-Tzab et al., 2013), chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) (Sarmiento-Franco et al., 2003), pixoy (*Guazuma ulmifolia*), jabin (*Piscidia piscipula*), *Albizia lebbeck* (Cardenas Medina et al., 2003) y ramon (*Brosimum alicastrum*) (Rojas Schroeder et al., 2017). También se han estudiado las vainas y semillas de diversos follajes por sus efectos anti-nutricionales o posibles efectos benéficos para el ambiente ruminal (Duate-Vera y Sandoval Castro, 2002; Estrada-Lievano et al., 2009, Galicia-Jimenez et al., 2011a, 2011b, 2014, Monforte-Briceño et al., 2005, Pinto Ruiz et al., 2009, Barros-Rodriguez et al., 2012, 2014a, 2014b, 2015, Ortíz-Domínguez et al., 2017), así como para la producción de leche de caprinos (Solorio-Sanchez et al., 2007). También se ha estudiado el valor nutricional de algunos pastos tropicales (Mendoza Nazar y Sandoval Castro, 2003).

Comprender el consumo voluntario de los pequeños rumiantes y los factores involucrados en la preferencia de estos animales hacia los follajes, con particular atención hacia los posibles efectos de los taninos (Alonso-Díaz et al., 2008, 2009a, 2009b; Hernandez-Orduño et al., 2012, 2015), constituyeron un punto de partida importante para el estudio de las interacciones animal-planta. Cabe mencionar que la necesidad de estudiar el valor nutricional de las plantas de la SBC y los posibles efectos de sus compuestos secundarios (CS) sobre la nutrición de los rumiantes, resultaron ser cruciales para establecer en la FMVZ-UADY las metodologías que permitieran estudiar el metabolismo de rumiantes así como el valor nutricional y contenido de CS de diferentes insumos (Capetillo-Leal et al., 1999, Sandoval-Castro y Herrera-Gómez, 1999, Sandoval-Castro y Herrera-Gómez, 2001, Sandoval-Castro et al., 2001, 2002, Ayala Burgos et al., 2003; Capetillo-Leal et al., 2002a, 2002b, 2003; Sandoval-Castro et al., 2005a; Diaz-Ortega et al., 2006).

Así, los trabajos inicialmente relacionados únicamente con aspectos nutricionales permitieron llegar a la conclusión de que la SBC no sólo posee un potencial forrajero, que generalmente no es valorado en toda su extensión o es incluso subvalorado (Torres-Acosta et al., 2016), sino que también tiene diversas actividades biológicas que pudieran ser aprovechadas en muchas especies productivas (Sandoval-Castro et al., 2012, Ventura-Cordero et al., 2017c). Por lo anterior, la SBC representa una alternativa viable para su uso cotidiano por los productores de pequeños rumiantes que permitiría una producción más sustentable reduciendo los costos asociados con el uso la alimentación al limitar el uso de insumos de importación (Cardozo-Herran et al., 2021).

Contexto nutrición y parasitismo

En el proceso de inserción de los pequeños rumiantes a la SBC como principal fuente de alimentación, frecuentemente se observaron numerosos casos de desnutrición y de infecciones parasitarias por NGI, que afectaron negativamente la salud y producción de los animales. Era evidente que se debía abordar el fenómeno de la interacción entre la nutrición y los NGI de los animales como un fenómeno multifactorial. Ante esto, se propuso implementar una línea de investigación para identificar la importancia relativa de la desnutrición y los NGI como limitantes de la producción de ovinos y caprinos en la SBC de Yucatán. A mediados de los años noventa del siglo pasado se realizaron los primeros estudios de campo que demostraron que era posible usar la suplementación dietética para mejorar la producción y evitar los efectos negativos de los NGI en animales que pastoreaban en la SBC (Torres-Acosta et al., 2004, 2006). Estos estudios, y otros posteriores, demostraron que la suplementación puede dirigirse a elevar el plano nutricional de los animales (energía y proteína), o simplemente aportar una fuente de energía degradable en rumen (Retama-Flores et al., 2012; Gárate-Gallardo et al., 2015). Esto último sugería que la SBC aportaba elevada cantidad de nitrógeno e insuficiente cantidad de energía, pero no se contaba con evidencia cuantitativa de dicho desbalance. Consecuentemente, se reavivó el interés por profundizar la investigación de la conducta de ingestión de ovinos y caprinos en la SBC. Para esta nueva etapa de investigación se adoptó una metodología de observación directa de los animales (González-Pech et al., 2014, González-Pech et al., 2018a), estableciendo los protocolos para poder realizar esta metodología sin modificar la conducta normal de los animales (González-Pech et al., 2018b). Esta metodología permitió plantear un esquema pictórico de bocados que considera la forma de las plantas y el tamaño de bocado que realizan estos animales en las diferentes especies de plantas. Esta adaptación se puede considerar como la “piedra Rosetta” para descifrar el consumo de los pequeños rumiantes en la SBC. El esquema pictográfico se consolidó con numerosas mediciones que permitieron “traducir” cada bocado de los animales a la cantidad de nutrientes consumidos. La suma de bocados por tamaño y especie de planta, podían usarse para estimar el consumo diario de los animales en la SBC tanto en época de secas como de lluvias (González-Pech et al., 2015; Ventura-Cordero et al., 2019). Con estos antecedentes se han realizado numerosos hallazgos relacionados con la SBC, pequeños rumiantes, NGI y sus interacciones.

¿De dónde surge la necesidad de estudiar la relación nutrición:parásitos?

En 1983 se construyó el Área de Pequeños Rumiantes de la FMVZ-UADY y se recibió un pequeño rebaño de cabras Criollas, cuyos primeros registros reproductivos datan de 1985. Posteriormente, en 1992 se recibieron los primeros animales del rebaño ovino. Desde su inicio, la alimentación de los animales se basó en el aprovechamiento de plantas nativas que iban poblando los henequenes abandonados en la periferia de la FMVZ-UADY. Con el paso del tiempo, el personal de la granja tuvo que enfrentar los problemas de la producción de pequeños rumiantes en el trópico: (a) un pobre nivel nutricional en época de seca y lluvia, (b) infecciones mixtas de NGI que podían ocasionar problemas de salud y muerte de algunos animales, y (c) la interacción de ambos problemas. Para empeorar el panorama, se diagnosticó que la granja de la FMVZ-UADY poseía cepas de NGI resistentes a antihelmínticos (AH) como bencimidazoles y levamisol (Torres-Acosta et al., 2003). Por lo tanto, era evidente que los problemas de desnutrición y las infecciones por NGI eran componentes que requerían ser investigados. Un trabajo innovador de Etter et al. (2000) que exploró el uso de la alimentación como medio para mejorar la capacidad de las cabras adultas de producir leche y tolerar a los NGI en clima templado, sirvió como modelo para una propuesta de investigación centrada en cabras tropicales en la SBC. Esta propuesta coincidió con un momento de la historia en el cual se publicaron excelentes revisiones acerca de la relación nutrición:parásito, donde se plasmaba todo el conocimiento adquirido por la humanidad en esta temática hasta los años noventa del siglo pasado (Coop y Holmes, 1996; Van Houtert y Sykes, 1996; Coop y Kyriazakis, 1999). Aunque estos trabajos reportaban resultados obtenidos principalmente en ovinos de clima templado, sirvieron para sentar las bases de trabajos de campo que se realizaron en cabras y ovejas en las condiciones tropicales de Yucatán.

La interacción entre plantas, pequeños rumiantes y sus nematodos gastrointestinales

Al llegar al continente americano, los rumiantes domésticos traían consigo los parásitos que les afectaban en su país de origen. Tanto los animales como sus parásitos debieron adaptarse a las condiciones del clima y de la vegetación que prevalecía en cada zona del “nuevo” continente. En este periodo de 500 años los animales han tenido una interacción constante con las plantas de las cuales obtienen diferentes proporciones de su dieta y nutrientes. Al mismo tiempo, obtienen CS de estas mismas plantas, cuyo uso apenas estamos comenzando a entender. Asimismo, obtienen las larvas L₃ de los NGI que van a parasitar su abomaso, intestino delgado o grueso. Aunque esta interacción es tan antigua como

la presencia de los animales en la SBC de Yucatán, es tan solo en los últimos 25 años que se ha empezado a explorar científicamente.

La interacción con las plantas y los NGI ha moldeado a los ovinos y caprinos que se encuentran presentes hoy en día en la SBC de México. Por ejemplo, se ha descrito la gran capacidad de los ovinos Pelibuey para limitar sus poblaciones de NGI, posiblemente como resultado de una fuerte respuesta inmune contra estos parásitos (Ojeda-Robertos et al., 2017; Palomo-Couoh et al., 2017). También se han descrito adaptaciones fisiológicas de cabras y ovejas tales como la producción de proteínas salivales bloqueadoras de taninos (Alonso-Díaz et al., 2012; Vargas-Magaña et al., 2013; Pech-Cervantes et al., 2016; Ventura-Cordero et al., 2017). Algunas adaptaciones pudieran manifestarse como conductas de ingestión que demuestran el nivel de adaptación de estos animales a los recursos forrajeros disponibles. Posiblemente toman decisiones acerca de qué comer, cuándo comerlo y cómo mezclar las plantas que consumen, de tal manera que se limite la ingestión de larvas infectantes de NGI o que se afecte la biología de los NGI mediante CS de plantas (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2010, 2013; Torres-Fajardo et al., 2019b). Esta información puede considerarse como una aportación importante al conocimiento de la ecología de los rumiantes domésticos en la SBC.

La interacción entre animales y plantas en la SBC también ha moldeado a los NGI. Los estudios realizados en la SBC de Yucatán son los únicos que han investigado la sobrevivencia de las fases de vida libre, en particular las larvas infectantes L₃, que son el origen del potencial infectante de la vegetación en las granjas. Se ha demostrado que solo logran sobrevivir en este ecosistema algunas especies de NGI: *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus colubriformis*, *Strongyloides papillosus*, *Oesophagostomum columbianum* y *Trichuris* spp. (Torres-Acosta et al., 2004; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2007; Jaimez-Rodríguez et al., 2019). Se demostró que las fases de vida libre de los NGI (huevos, L₁, L₂ y L₃), presentes en las heces de los animales y en la vegetación, tienen una marcada estacionalidad y solo pueden sobrevivir en la época de lluvia, principalmente entre agosto y noviembre. Sin embargo, las larvas L₃ pueden ser abundantes en otros meses del año por alguna condición particular de cada granja. Aquellas larvas L₃ que sobreviven a las limitantes ambientales y llegan a ser consumidas por los animales, tienen todavía que sobrevivir al sistema inmune de estos y también deben evitar los efectos negativos que les ocasionan los CS de las plantas.

Importancia de la nutrición para el control de los nematodos gastrointestinales en ovinos y caprinos

Las infecciones por NGI representan un problema nutricional. En principio, los animales se infectan por comer hojas de plantas que contienen larvas L₃. Estas larvas llegan al abomaso e intestinos y se establecen hasta llegar a su fase adulta, afectando a los animales en varios aspectos que limitan el uso eficiente de la dieta mediante varios procesos (Hoste et al., 2016) relacionados con su capacidad de: (a) reducir el consumo de alimento debido a la anorexia parasitaria, (b) reducir la digestibilidad de la dieta consumida por los animales, (c) limitar la absorción de nutrientes digeridos por el animal, y (d) obligar a los animales a redirigir los nutrientes absorbidos de la dieta para usarlos en la reparación de tejidos o su defensa mediante el sistema inmune. Todo lo anterior reduce la cantidad de nutrientes usados para la producción. Por muchos años se propuso que era teóricamente posible usar la suplementación dietética para mejorar la resiliencia o la resistencia de los ovinos y caprinos contra los NGI. De acuerdo con Hoste et al. (2005), la resiliencia se refiere a la capacidad de tolerar la infección por NGI, mientras que la resistencia se entiende como la capacidad de usar la respuesta inmune para limitar la población de los NGI en los animales. Estas aseveraciones se basaban en diferentes estudios de infección controlada que demostraron que la suplementación con proteína mejoraba la resiliencia o resistencia contra NGI (Abbott et al., 1985, 1986a, 1986b; Wallace et al., 1996, 1999). Estos estudios se centraron en ovinos de razas lanares en estabulación con infecciones controladas. Sin embargo, algunos autores ponían en duda que fuera posible lograr, a nivel de campo, una mejoría en la resiliencia o resistencia contra los NGI mediante la manipulación dietética. Por ejemplo, se pensaba que la anorexia parasitaria evitaría la posibilidad de usar a la suplementación como un método viable en la práctica. Así mismo, se pensaban que solo la suplementación con proteína (en forma de alguna oleaginosa como la soya) podría tener algún efecto positivo sobre la resiliencia o resistencia contra NGI. También se ponía en duda que la suplementación fuera necesaria durante los meses de la época de lluvia, ya que se suponía que en dicha época los animales pastoreando la SBC tendrían una cosecha suficiente de nutrientes tanto en calidad como en cantidad. Sin embargo, los estudios realizados en la SBC de Yucatán fueron pioneros en demostrar los siguientes aspectos:

- Es posible mejorar la resiliencia de los ovinos y caprinos contra los NGI mediante suplementos que aporten energía y proteína para mejorar el plano nutricional tanto en época de lluvia como de seca (Gutiérrez-Segura et al., 2003; Torres-Acosta et al., 2004, 2006).
- La anorexia parasitaria no representa una limitante evidente en ningún estudio realizado con ovinos y caprinos de Yucatán. Esta ausencia de la anorexia parasitaria ha sido confirmada en estudios recientes con ovinos de pelo infectados artificialmente con *H. contortus* (Méndez-Ortiz et al., 2019b, 2021; Ramos-Bruno et al., 2021).
- Contrario a lo que se había supuesto, los ovinos y caprinos no obtienen suficientes nutrientes al pastorear durante la época de lluvia. Por lo tanto, se puede mejorar la ganancia de peso de los animales mediante la suplementación (Torres-Acosta et al., 2004, 2006; Aguilar-Caballero y Torres-Acosta, 2006). Lo anterior fue confirmado posteriormente en los estudios de conducta de pastoreo realizados en SBC con animales de diferentes edades.
- El efecto positivo de la suplementación sobre la resiliencia o resistencia contra NGI no es permanente. Al suprimirse este manejo, los animales en pastoreo vuelven a reducir su capacidad de respuesta contra los NGI tanto en época de lluvia como de seca (Aguilar-Caballero et al., 2002).
- La suplementación con insumos que aportan energía degradable en el rumen puede mejorar la resiliencia de ovinos y caprinos contra los NGI. Esto se debe a que la vegetación de la SBC tiene una elevada proporción de forrajes ricos en nitrógeno, como se ha confirmado en estudios recientes de conducta de pastoreo en la SBC (González-Pech et al., 2015; Ventura-Cordero et al., 2019; Torres-Fajardo et al., 2019b). Adicionalmente, la suplementación con energía fermentable en el rumen puede mejorar la resistencia contra los NGI, que se refleja en una menor cantidad de huevos en heces de los animales suplementados y en un menor número de parásitos *post-mortem* (Retama-Flores et al., 2012; Gárate-Gallardo et al., 2015). Estos efectos se pueden lograr usando insumos de bajo costo — como la melaza — que no compitan con los utilizados para el consumo humano o para monogástricos como cerdos o aves (Landa-Cansigno et al., 2005).
- Ofrecer una cantidad de materia seca de suplemento equivalente al 1.5% del peso vivo del animal puede lograr eliminar el efecto negativo de los NGI sobre la ganancia de peso y reducir significativamente la cantidad de parásitos que pueden establecerse en los animales (Gárate-Gallardo et al., 2015).
- El trabajo de desparasitación selectiva dirigida realizado por varios años en granjas ovinas de Yucatán, demostró que los animales con una condición corporal (CC) >2.5 tienen baja probabilidad de tener cargas >1000 huevos por gramo de heces (HPG) y, por lo tanto, no

requieren desparasitación (Soto-Barrientos et al., 2018). Esto demuestra la importancia de mantener a las ovejas adultas con una buena nutrición.

- Las ovejas de camada múltiple (dos o más corderos) tienen mayor probabilidad de requerir desparasitación durante la lactancia, en comparación con aquellas que paren un solo cordero (Aguirre-Serrano et al., 2020). Esto se debe a que las ovejas con camadas múltiples reciben la misma dieta que las ovejas con un cordero, aunque tienen mayor requerimiento nutricional. Por lo tanto, se debe centrar la vigilancia sobre las ovejas lactantes con camada múltiple tanto en su nutrición como en su desparasitación.

Los resultados generados por el grupo de investigación de Yucatán y de sus colaboradores en diferentes zonas tropicales de México, demuestran que los productores deben hacer un esfuerzo por mejorar la nutrición de sus animales ya que esto puede ser vital para lograr un control sustentable de los NGI en sus granjas. Para saber si están logrando el objetivo de mejorar la nutrición, los productores pueden usar criterios sencillos como la ganancia de peso o la CC. Es importante recalcar que en todos los estudios realizados con suplementos para mejorar la resiliencia o resistencia contra los NGI se demostró que la mejoría en resiliencia puede costear el alimento extra ofrecido a los animales. Además, hay que considerar que el manejo de suplementación mejora el bienestar animal como un elemento importante en la actualidad.

¿Cuánto cuesta en términos de nutrientes la infección por nematodos gastrointestinales?

Desde los primeros estudios, donde se evaluó la suplementación como método para mejorar la resiliencia contra NGI en cabras y ovejas, se incluyeron grupos de animales que se mantuvieron libres de infección mediante la aplicación de moxidectina cada 28 días (Torres-Acosta y Jacobs, 1999). Este diseño permitió comparar la ganancia de peso de ovinos y caprinos con y sin parásitos. En estos trabajos se demostró que durante la época de lluvia hay una reducción cercana al 50% en la ganancia diaria de peso debida a la infección (Torres-Acosta et al., 2004; Martínez-Ortíz de-Montellano et al., 2007). En el estudio de Retama-Flores et al. (2012) se incluyeron mediciones de consumo de alimento que permitieron identificar que el costo de la infección natural equivalía a 0.7 Megajulios de energía metabolizable por día (MJ EM/d) y 9.6 g de proteína metabolizable por día (PM/d) en animales suplementados, mientras que, en animales no suplementados fue de 1.46 MJ EM/d y 12.7 g de PM/d. Este último estudio se incluyó en un meta-análisis que buscaba identificar el costo de las infecciones por NGI utilizando los resultados de varios

trabajos con diferentes tipos de razas ovinas, sistemas de producción y climas (Méndez-Ortíz et al., 2019a). En este trabajo se demostró que el costo de la infección se incrementa conforme aumenta la carga parasitaria y se estableció un costo teórico por cada parásito adulto de 0.3 mg de proteína/kg PV^{0.75} y 0.056 Kj EM/ kg PV^{0.75}. Posteriormente, nos planteamos la necesidad de identificar el costo de la infección por diferentes especies de NGI en ovinos y caprinos en condiciones tropicales. En cuanto al costo de *H. contortus*, se contaba con datos que contradecían la percepción común de que son los parásitos más dañinos de los pequeños rumiantes. Por ejemplo, los estudios de campo en los que se evaluaron las agujas de óxido de cobre como desparasitantes contra *H. contortus* permitieron comparar animales con infecciones mixtas de NGI, animales con infecciones mixtas sin *H. contortus* y animales sin infección por NGI. En estos trabajos se demostró que remover la infección por *H. contortus* no mejora la ganancia de peso en ovinos y caprinos (Martínez-Ortíz de Montellano et al., 2017; Zaragoza-Vera et al., 2005). Otro trabajo de campo que controló la infección por *H. contortus* en ovinos de pelo mediante la vacuna Barbervax®, tampoco mostró mejoría en la ganancia de peso (Cáceres-Mejía et al., 2016). Adicionalmente, un trabajo de infección artificial mostró que altas cantidades de *H. contortus* no afectaron el consumo de alimento, la digestibilidad de la materia seca o la ganancia de peso en corderos recién destetados, aunque sí redujo el hematocrito sin llegar a niveles de anemia (Méndez-Ortíz et al., 2021). Ante esta dificultad para encontrar el costo de las infecciones por *H. contortus*, se evaluaron cantidades crecientes de este parásito en corderos de pelo y se confirmó que las infecciones de hasta 3190 parásitos adultos no afectaron el consumo, la digestibilidad de la dieta o la ganancia de peso de los corderos. Lo anterior confirma que el costo de la infección por *H. contortus* es muy bajo y se limita a una reducción de 1% de hematocrito por cada 257 parásitos adultos (Ramos-Bruno et al., 2021a, sometido). Por otro lado, la infección por *T. colubriformis* sí ocasiona un costo metabólico que equivale a 10 g de ganancia de peso por cada 3500 parásitos adultos (Ramos-Bruno et al., 2020). Queda pendiente por estudiar el costo metabólico de las infecciones mixtas por parásitos abomasales e intestinales. Es importante recordar que es necesario continuar con estudios similares en caprinos, dado que difieren a los ovinos en varios aspectos como por ejemplo la respuesta inmune (Aguilar-Caballero et al., 2008; Hoste et al., 2008b). De la misma manera, así como se ha evaluado la idoneidad de algunos modelos nutricionales para predecir el comportamiento de las ovejas Pelibuey (Duarte-Vera et al., 2008, 2009, 2012), será necesario incorporar los resultados relativos al costo de infección en modelos nutricionales que sean adecuados a las condiciones tropicales de la SBC.

Evaluación de materiales nutraceuticos para el control de NGI

Cómo se mencionó anteriormente, a finales de los años noventa del siglo pasado, se realizaron varias investigaciones orientadas a encontrar TC en las hojas de diferentes plantas de la SBC de Yucatán. Estos estudios se dirigieron a identificar problemas ocasionados por los taninos condensados (TC) y otros CS en la digestión de los rumiantes. En el año 2000 se inició una importante colaboración con la Unidad Mixta de Investigación 1225 de Toulouse, Francia, del Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INRA, por sus siglas en francés). Este grupo de investigación exploraba el potencial AH directo de los TC de las hojas de *Onobrychis viciifolia* (Brunet et al., 2008a). Dicha investigación buscaba aprovechar a esta planta con un enfoque nutraceutico, es decir, que al mismo tiempo aporte macronutrientes para los animales y CS que presenten alguna actividad contra los NGI (Hoste et al., 2015). Esta colaboración dio origen a una nueva línea de investigación que se avocó a explorar diversas plantas de la SBC, cuyas hojas presentaran un buen valor nutricional y al mismo tiempo contengan TC y otros CS con potencial AH. La exploración de estas plantas se basó en una idea innovadora: se trabajó con aquellas plantas que fuesen ricas en taninos y consumidas libremente por los animales en la SBC de acuerdo con los trabajos de observación directa desarrollados por González-Pech et al. (2014, 2015) y Ventura-Cordero et al. (2019). Adicionalmente, se han estudiado diferentes subproductos agroindustriales como el café molido percolado (Ortíz-Ocampo et al., 2016) o las hojas y las cáscaras del fruto del cacao (*Theobroma cacao*) (Mancilla-Montelongo et al., 2021).

Se han identificado varias especies de plantas de la SBC con potencial nutraceutico confirmado en condiciones *in vitro* (Castañeda-Ramírez et al., 2017; Mancilla-Montelongo et al., 2021) o *in vivo* (Brunet et al., 2008b; Martínez-Ortíz-de-Montellano et al., 2013; Méndez-Ortíz et al., 2012, 2019b). Las diversas publicaciones de la actividad AH *in vitro* e *in vivo* de las plantas de la SBC de Yucatán y de otros materiales tropicales se han incluido en artículos de revisión a lo largo de los años (Hoste et al., 2008a; Alonso-Díaz et al., 2010; Hoste y Torres-Acosta, 2011; Torres-Acosta et al., 2012; Hoste et al., 2016; Sepúlveda-Vásquez et al., 2018, Torres-Acosta et al., 2019, Torres-Fajardo et al., 2020, 2021). Entre los principales hallazgos que se han obtenido de las plantas probadas en nuestro grupo de investigación se encuentran los siguientes:

- Los CS presentes en extractos acetona:agua o metanol:agua de varias plantas ricas en taninos obtenidas en la SBC, tienen actividad AH contra

huevos o larvas L₃. En estas últimas se afecta la motilidad o su desenvaine.

- Los extractos contienen CS bioactivos que tienen diferentes eficacias dependiendo de la fase de vida de los NGI con la que se evalúen. Por lo tanto, una mejor actividad contra huevos no necesariamente garantiza una buena actividad contra el desenvaine o la motilidad de las larvas, y viceversa.
- La mayoría de los extractos que presentan actividad contra la eclosión de huevos permiten que la L₁ se forme dentro de los mismos, pero las larvas no pueden emerger del huevo, y de esta manera se interrumpe su ciclo de vida (Vargas-Magaña et al., 2014; Castañeda-Ramírez et al., 2017b, 2018; Mancilla-Montelongo et al., 2021). Se desconocen los CS que impiden la eclosión. Sin embargo, sabemos que esta actividad no está asociada a los TC, e incluso estos últimos pueden antagonizar con los CS que manifiestan esta actividad.
- Algunos extractos de plantas de la SBC (ejem. *Senegalia gaumeri*) contienen CS que penetran en el huevo de los NGI y ocasionan su muerte en la fase de mórula (Castañeda-Ramírez et al., 2017b, 2019). Sin embargo, se desconocen los CS que ocasionan este efecto. Algunos trabajos hicieron sospechar que el ácido p-cumárico podía ser responsable de dicho efecto, pero este compuesto puro no tuvo el efecto esperado. También se han explorado varios CS derivados del ácido cinámico (Mancilla-Montelongo et al., 2019).
- Los CS presentes en los extractos acetona:agua de varias plantas de la SBC bloquean el desenvaine de las L₃ de los NGI. Este bloqueo se ha asociado al contenido de polifenoles en la mayoría de los extractos evaluados. Sin embargo, la ausencia de una correlación significativa entre el contenido de TC y la inhibición del desenvaine se podría explicar por al menos dos fenómenos: (a) existen otros CS involucrados en esta actividad y (b) puede ser más importante la estructura de los TC que la cantidad de estos (Castañeda-Ramírez et al., 2018; Ortíz-Ocampo et al., in press).
- Los aislados de *H. contortus* de diferentes partes del mundo tienen diferente susceptibilidad a los CS de las plantas. Esto se confirmó tanto para la eclosión de huevos como para el desenvaine de las L₃ (Chan-Pérez et al., 2016, 2017). Las cepas de *H. contortus* aisladas en zonas templadas pueden ser más sensibles a los extractos de plantas tropicales que las cepas aisladas en zonas tropicales (Calderón-Quintal et al., 2010). Se ha sugerido que esto es el resultado de una aclimatación o adaptación de los NGI de zonas tropicales a los CS de las plantas de la misma región, ya que los parásitos y las plantas están en

contacto constante como resultado de la ingestión de follaje por los rumiantes.

- La prueba de desvenne larvario y la prueba de migración larvaria realizadas en zonas tropicales se deben realizar con larvas L₃ de 2 a 7 semanas de edad para *H. contortus* (Castañeda-Ramírez et al., 2017a), y de 2 a 10 semanas de edad para *T. colubriformis* (Mancilla-Montelongo et al., 2020).
- Se propuso una metodología *in vitro* para evaluar materiales nutracéuticos, que incluye la evaluación del valor nutricional (composición química y digestibilidad *in vitro*) en conjunto con la evaluación de la actividad antihelmíntica utilizando diferentes pruebas *in vitro* en huevos y larvas L₃ (Castañeda-Ramírez et al., 2018).

Las evaluaciones *in vivo* con plantas ricas en TC también han dejado diferentes aportaciones a este campo de estudio:

- El consumo de plantas ricas en TC puede afectar el desvenne de las larvas L₃, dando como resultado un menor establecimiento de las L₃ en el abomaso e intestino delgado (Brunet et al., 2008b). Este mecanismo AH *in vivo* es congruente con el efecto de la prueba *in vitro* de desvenne larvario.
- El consumo de plantas de la SBC, que contienen CS bioactivos, puede ocasionar diferentes efectos sobre las poblaciones de *H. contortus*. En general, se ha descrito que el consumo de estas plantas puede ocasionar una reducción en la fecundidad y tamaño de las hembras parásitas, que puede resultar o no, en una reducción en el número de HPG de los animales (Martínez-Ortíz-de-Montellano et al., 2010; Méndez-Ortíz, et al., 2012; Galicia-Aguilar et al., 2012). En ciertas plantas se ha descrito una reducción en el número de hembras adultas (Méndez-Ortíz et al., 2019b).
- Los estudios de microscopía electrónica de barrido mostraron que el consumo de plantas ricas en taninos puede ocasionar lesiones externas en la cutícula de *H. contortus*, así como presencia de materiales que bloquean la boca de estos parásitos (Martínez-Ortíz-de-Montellano et al., 2013). Por otro lado, la microscopía electrónica de transmisión mostró lesiones en las células musculares adosadas a la cutícula y en las células intestinales. Estas alteraciones son compatibles con una menor capacidad de locomoción, consumo y absorción de los nutrientes consumidos en la sangre, lo que pudiera explicar que sean parásitos de menor tamaño o menor fecundidad (Martínez-Ortíz-de Montellano et al., 2019).
- El consumo del follaje de una especie de planta rica en TC (*Gymnopodium floribundum*) no siempre resulta en actividad AH significativa

(Méndez-Ortíz et al., 2019b, 2021). El seguimiento anual de las características del follaje de esta especie de planta demostró su variación estacional en el contenido y la actividad biológica de los CS de sus hojas (Ortíz-Ocampo et al., In press).

- Se propuso una metodología *in vivo* para la evaluación del valor nutracéutico de plantas o subproductos agroindustriales. Esta metodología incluye pruebas de consumo, pruebas de digestibilidad aparente y la evaluación de la actividad AH medida como la eliminación de HPG *ante-mortem* y el conteo de los parásitos *post-mortem* (Méndez-Ortíz et al., 2019b).

¿Se pueden auto medicar los pequeños rumiantes con las plantas de la SBC?

Una vez que se demostró que existen plantas de la SBC que contienen CS con actividad AH, surgió la pregunta de si los animales pueden auto medicarse con las plantas de la SBC. Para contestar esta pregunta se elaboraron estudios de campo basados en la metodología de observación directa desarrollada por Agreil y Meuret (2004) y adaptada por González-Pech et al. (2014) para la SBC. Estos estudios de campo utilizaron cabras adultas con experiencia de pastoreo y con infecciones naturales por NGI en época de lluvias (Novelo-Chi et al., 2019; Torres-Fajardo et al., 2019b). También se realizaron estudios de cafetería usando cabras adultas con experiencia de ramoneo, pero mantenidas en estabulación. El primer estudio de cafetería se realizó con cabras adultas con infecciones naturales de NGI (Ventura-Cordero et al., 2017a), y posteriormente se realizaron dos trabajos con cabras infectadas con *H. contortus* (Ventura-Cordero et al., 2018; Torres-Fajardo et al., 2018). En estos trabajos se demostró que la conducta de ingestión de plantas provenientes de la SBC responde a muchos estímulos, y no se centra en la auto medicación “terapéutica” para el control de su población de NGI. Esto pudiera deberse a que las cabras adultas están acostumbradas a tener una infección constante por NGI que normalmente no les representa peligro, por lo que no sienten la necesidad de “curarse” modificando su conducta ingestiva. Es posible también que los animales estén acostumbrados a consumir cierta cantidad de plantas nutracéuticas de la SBC que les aportan CS que pudieran funcionar como una automedicación “preventiva” ya que puede evitar el establecimiento de las L₃ en sus tractos gastrointestinales. Además, las cabras despliegan conductas de ramoneo que pudieran estar limitando la cantidad de larvas L₃ que consumen en la SBC. Por ejemplo, consumen un elevado porcentaje del follaje de ramas a una altura superior a 50 cm, que posiblemente tenga menos larvas L₃ de NGI (Jaimez-Rodriguez et al., 2019). Además, las cabras parecen

evitar consumir pastos de baja altura a las horas de mayor humedad por la mañana, que es cuando el pasto pudiera tener más larvas L₃, y consumen una mayor proporción de plantas de ramoneo, que pudieran tener menos L₃ por ser follaje de más altura. Esta conducta se revierte cuando el sol ya ha secado el rocío de los pastos, y las cabras aumentan su consumo de forrajes de baja altura (Torres-Fajardo et al., 2019a).

Por otro lado, se ha demostrado que las cabras tienen capacidad de consumir plantas ricas en TC. Esta conducta pudiera servir para evitar las consecuencias negativas de una dieta alta en nitrógeno y con escaso contenido de energía (Torres-Fajardo et al., 2019b). De esta manera, los animales pueden mantener un consumo elevado de plantas ricas en nitrógeno debido a que pueden bloquear el exceso de éste con los TC de las plantas de la SBC (Cardozo-Herran et al., 2021). Esta conducta se ha descrito como un ejemplo de sabiduría nutricional (Ventura-Cordero et al., 2018).

Reflexiones finales

Los trabajos realizados en los últimos 25 años han demostrado que la SBC es un ecosistema complejo y heterogéneo que estamos empezando a comprender. Los pequeños rumiantes y sus NGI han desarrollado una compleja interacción con las plantas de la SBC. En cada bocado, los pequeños rumiantes pueden estar consumiendo macronutrientes, CS y fases infectantes de NGI en cantidades variables. En muchos casos, la dieta cosechada por ovinos y caprinos en la SBC no satisface las necesidades para el mantenimiento de sus funciones vitales y para la producción de carne o leche. Esta problemática empeora por el efecto negativo de los NGI sobre el consumo, digestión, absorción y uso de los nutrientes. Aunque esta problemática es claramente nutricional, los productores de pequeños rumiantes generalmente buscan controlar la infección por NGI mediante AH y omiten mejorar la alimentación de sus animales. Sin embargo, nuestros estudios han demostrado que es más importante resolver el problema de desnutrición ya que en la mayoría de los casos es el más relevante. Los animales que reciben una suplementación que ayude a cubrir sus requerimientos de manera correcta, podrán desplegar una resiliencia y resistencia sólidas contra las infecciones de NGI como lo demuestran estudios recientes realizados en ovinos de pelo (Can-Celis et al., sometido). Es imperativo que las ovejas y cabras adultas mantengan una CC >2.5 ya que esto sugiere que su nivel de nutrición es adecuado. De esta manera, solo algunos animales con requerimientos nutricionales excesivos, como las ovejas con camadas múltiples llegarían a requerir algún tratamiento antiparasitario durante la etapa de lactancia. En el caso de los cabritos y corderos tropicales, se debe buscar mantener una alimentación que les permita ganancias de peso >100 g/día, ya que esto garantizaría una

obtención de nutrientes capaz de sostener su respuesta inmune y su crecimiento. Cuando los animales de un rebaño tienen baja CC, baja ganancia de peso y elevada eliminación de HPG, se debe priorizar en la mejora de la dieta del rebaño y no depender exclusivamente en la desparasitación de los animales. Cuando los productores dependen únicamente de la desparasitación, los animales pueden sucumbir por los problemas que les acarrea la desnutrición y además se favorece la generación de cepas de NGI resistentes a los antiparasitarios.

El uso racional de los CS de plantas en la alimentación de los pequeños rumiantes y el control de NGI todavía requiere de más estudios. Hoy en día se tiene información (si bien limitada), sobre los CS de las más de 60 especies de plantas que consumen los pequeños rumiantes. Es posible que algún día podamos usar a las plantas con CS como nutraceuticos, pero primero debemos entender bien las motivaciones de los animales para consumir estas plantas en el complejo ecosistema de la SBC. Cualquier uso simplista de estos recursos, puede llevar a efectos indeseados en la salud y la producción de los pequeños rumiantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todas las personas que colaboraron en los procesos de diseño, financiación, ejecución, análisis y publicación de los trabajos desarrollados en esta temática en la historia de la FMVZ-UADY. En especial queremos agradecer al Dr Juan José Vargas Magaña por su ayuda en la lectura del documento y sus aportaciones para mejorarlo.

Financiamiento: Mancilla-Montelongo M.G. es Catedrática del CONACYT-México en la UADY (Proyecto No. 692).

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Cumplimiento de estándares de ética: No aplica

Disponibilidad de datos: No aplica

REFERENCIAS

- Abbott, E.M., Parkins, J.J. and Holmes, P.H., 1985. Influence of dietary protein on parasite establishment and pathogenesis in Finn Dorset and Scottish Blackface lambs given a single moderate infection of *Haemonchus contortus*. *Research in Veterinary Science*, 38, pp. 6–13. doi.org/10.1016/S0034-5288(18)31840-X
- Abbott, E.M., Parkins, J.J. and Holmes, P.H., 1986a. The effect of dietary protein on the pathogenesis of acute ovine haemonchosis.

- Veterinary Parasitology*, 20, pp. 275–289. doi.org/10.1016/0304-4017(86)90126-3
- Abbott, E.M., Parkins, J.J. and Holmes, P.H., 1986b. The effect of dietary protein on the pathophysiology of acute ovine haemonchosis. *Veterinary Parasitology*, 20, pp. 291–306. doi.org/10.1016/0304-4017(86)90127-5
- Agreil, C. and Meuret, M., 2004. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. *Small Ruminant Research*, 54(1), pp. 99–113. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.10.013
- Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J., Vera-Ayala, C.E. and Espana-Espana, E., 2002. Long and short term supplementary feeding and the resilience of browsing Criollo goats to gastrointestinal nematodes. In: *Proceedings of the International Conference: "Responding to the increasing global demand for animal products"*, British Society of Animal Science, Mérida, México. pp. 213–214.
- Aguilar-Caballero, A.J. and Torres-Acosta, J.F.J., 2006. ¿Nuevos paradigmas sobre el Control de los Nemátodos Gastrointestinales en Caprinos? In: *XXI Reunión Nacional sobre Caprinocultura*, AMPCA. A.C. Toluca, Mexico.
- Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J., Cámara Sarmiento, R., Hoste, H. and Sandoval-Castro, C.A., 2008. Inmunidad contra los nematodos gastrointestinales: la historia caprina. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(3), pp. 73–82.
- Aguirre-Serrano, A.M., Ojeda-Robertos, N.F., González-Garduño, R., Peralta-Torres, J.A., Luna-Palomera, C. and Torres-Acosta, J.F.J., 2020. Influence of litter size at birth and weaning on the proportion of Pelibuey ewes treated with an anthelmintic in a targeted selective scheme in the hot humid tropics. *Small Ruminant Research*, 184, p.106049. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106049
- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A.J. and Capetillo-Leal, C.M., 2008. Is goats' preference for forage trees affected by their tannin or fiber content when offered in cafeteria experiments? *Animal Feed Science and Technology*, 141(1), pp. 36–48. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.009
- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C., Canul-Ku, H.L. and Hoste, H., 2009a. Intake of tropical tanniferous plants by goats and sheep when offered as a sole fed. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 11(1), pp. 255–258.
- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A.J. and Capetillo-Leal, C.M., 2009b. Sheep preference for different tanniferous tree fodders and its relationship with *in vitro* gas production and digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 151(1), pp. 75–85. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.12.002
- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Hoste, H., 2010. Tannins in tropical tree fodders fed to small ruminants: a friendly foe? *Small Ruminant Research*, 89(2–3), pp. 164–173. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.040
- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Capetillo-Leal, C.M., 2012. Amino acid profile of the protein from whole saliva of goats and sheep and its interaction with tannic acid and tannins extracted from the fodder of tropical plants. *Small Ruminant Research*, 103(1), pp. 69–74. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.10.020
- Ayala-Burgos, A.J., Rosado-Rivas, C.M., Capetillo-Leal, C.M. and Sandoval-Castro, C.A., 2003. Evaluación del método de lavado (Manual vs. Lavadora) en la técnica de degradación ruminal *in situ*. *Técnica Pecuaria en México*, 41, pp. 337–342.
- Barros-Rodríguez, M., Solorio-Sánchez, J., Ku-Vera, J., Ayala-Burgos, A., Sandoval-Castro, C. and Solís-Pérez, G., 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production*, 44(8), pp. 1873–1878. doi.org/10.1007/s11250-012-0150-0
- Barros-Rodríguez, M.A., Solorio-Sánchez, F.J., Sandoval-Castro, C.A., Ahmed, A.M.M., Rojas-Herrera, R., Briceño-Poot, E.G. and Ku-Vera, J.C., 2014. Effect of intake of diets containing tannins and saponins on *in vitro* gas production and sheep performance. *Animal Production Science*, 54(9), pp. 1486–1489. doi.org/10.1071/AN14294
- Barros-Rodríguez, M., Sandoval-Castro, C.A., Solorio-Sánchez, J., Sarmiento-Franco, L.A., Rojas-Herrera, R., Klieve, A. 2014. *Leucaena leucocephala* in ruminant nutrition. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, pp. 173-183.

- <http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2026/877>
- Barros-Rodríguez, M.A., Solorio-Sánchez, F.J., Sandoval-Castro, C.A., Klieve, A., Rojas-Herrera, R.A., Briceño-Poot, E.G. and Ku-Vera, J.C., 2015. Rumen function *in vivo* and *in vitro* in sheep fed *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production*, 47(4), pp. 757–764. doi.org/10.1007/s11250-015-0790-y
- Brunet, S., Jackson, F. and Hoste, H., 2008a. Effects of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) extract and monomers of condensed tannins on the association of abomasal nematode larvae with fundic explants. *International Journal for Parasitology*, 38(7), pp. 783–790. doi.org/10.1016/j.ijpara.2007.10.018
- Brunet, S., Martínez-Ortiz de Montellano, C., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Aguilar-Caballero, A.J., Capetillo-Leal, C. and Hoste, H., 2008b. Effect of the consumption of *Lysiloma latisiliquum* on the larval establishment of gastrointestinal nematodes in goats. *Veterinary Parasitology*, 157(1–2), pp. 81–88. doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.07.013.
- Cáceres-Mejía, J., Torres-Acosta, J.F.J., Cámara-Sarmiento, R., Alzina-López, A., Aguilar-Caballero, A.J., Smith, D., López-Arellano, M.E. and González-Garduño, R., 2016. Inmunización contra nematodos gastrointestinales en corderos Pelibuey bajo pastoreo en el trópico subhúmedo. In: *XIX Congreso Internacional de Ovinocultura*. Toluca, Mexico.
- Calderón-Quintal, J.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Alonso, M.A., Hoste, H. and Aguilar-Caballero, A., 2010. Adaptation of *Haemonchus contortus* to condensed tannins: can it be possible? *Archivos de Medicina Veterinaria*, 42(3), pp. 165–171.
- Capetillo-Leal, C., Reyes-Ramírez, R. and Sandoval-Castro, C.A., 1999. Determinación de L-canavanina por cromatografía líquida de alta resolución en fase reversa y por colorimetría. *Revista Biomédica*, 10, pp. 17–22. doi.org/10.32776/revbiomed.v10i1.183
- Capetillo-Leal, C., Reyes-Ramírez, R., Sandoval-Castro, C. and Camacho Morfin, D., 2002a. A comparison of solvents for extraction of polyphenolic compounds in tree leaves. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, p.135. doi:10.1017/S1752756200007912
- Capetillo-Leal, C., Reyes, R., Sandoval-Castro, C. and Camacho Morfin, D., 2002b. A comparison of solvents for extraction of condensed tannins in tree leaves. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, p.134. doi:10.1017/S1752756200007900
- Capetillo-Leal, C., Herrera, P. and Sandoval-Castro, C., 2002c. Composición química de *Boerhavia erecta* L. y su potencial en la alimentación animal. *Archivos de zootecnia*, 51, pp. 461–464.
- Capetillo, C.M., Reyes, R., Sandoval, C.A. and Camacho, D., 2003. Relationship between polyphenolic and tannin content in tree leaves when using different extracting agents. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 3, pp. 581–584.
- Cárdenas-Medina, J.V., Sandoval-Castro, C.A. and Solorio-Sánchez, F.J., 2003. Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*, 41, pp. 283–294.
- Cardozo-Herrán, M., Ayala-Burgos, A., Aguilar-Pérez, C., Ramírez-Avilés, L., Ku-Vera, J., Solorio-Sánchez, F.J., 2021. Productivity of lactating goats under three grazing systems in the tropics of Mexico. *Agroforestry Systems*, 95, pp. 33-41. doi.org/10.1007/s10457-019-00384-6
- Castañeda-Ramírez, G.S., Mathieu, C., Vilarem, G., Hoste, H., Mendoza-de-Gives, P., González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F. de J. and Sandoval-Castro, C.A., 2017a. Age of *Haemonchus contortus* third stage infective larvae is a factor influencing the *in vitro* assessment of anthelmintic properties of tannin containing plant extracts. *Veterinary parasitology*, 243, pp. 130–134. doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.06.019
- Castañeda-Ramírez, G.S., Torres-Acosta, J.F. de J., Sandoval-Castro, C.A., González-Pech, P.G., Parra-Tabla, V.P. and Mathieu, C., 2017b. Is there a negative association between the content of condensed tannins, total phenols, and total tannins of tropical plant extracts and *in vitro* anthelmintic activity against *Haemonchus contortus* eggs? *Parasitology Research*, 116(12), pp. 3341–3348. doi.org/10.1007/s00436-017-5650-4
- Castañeda-Ramírez, G.S., Rodríguez-Labastida, M., Ortiz-Ocampo, G.I., González-Pech, P.G., Ventura-Cordero, J., Borges-Argáez, R., Torres-Acosta, J.F. de J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Mathieu, C., 2018. An *in*

- in vitro* approach to evaluate the nutraceutical value of plant foliage against *Haemonchus contortus*. *Parasitology Research*, 117(12), pp. 3979–3991. doi.org/10.1007/s00436-018-6107-0
- Castañeda-Ramírez, G.S., Torres-Acosta, J.F. de J., Sandoval-Castro, C.A., Borges-Argáez, R., Cáceres-Farfán, M., Mancilla-Montelongo, G. and Mathieu, C., 2019. Bio-guided fractionation to identify *Senegalia gaumeri* leaf extract compounds with anthelmintic activity against *Haemonchus contortus* eggs and larvae. *Veterinary Parasitology*, 270, pp. 13–19. doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.05.001
- Chan-Pérez, J.I., Torres-Acosta, J.F., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Castañeda-Ramírez, G.S., Vilarem, G. and Mathieu, C., 2016. *In vitro* susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone:water extracts of two tannin rich plants. *Veterinary Parasitology*, 217, pp. 53–60. doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.11.001
- Chan-Pérez, J.I., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Castañeda-Ramírez, G.S., Vilarem, G., Mathieu, C. and Hoste, H., 2017. Susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone:water extracts of polyphenol-rich plants. Part 2: Infective L3 larvae. *Veterinary Parasitology*, 240, pp. 11–16. doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.04.023
- Coop, R.L. and Holmes, P.H., 1996. Nutrition and parasite interaction. *International Journal for Parasitology*, 26(8–9), pp. 951–962. doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80070-1
- Coop, R.L. and Kyriazakis, I., 1999. Nutrition–parasite interaction. *Veterinary Parasitology*, 84(3), pp. 187–204. doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00070-9
- Díaz-Ortega, C., Morales-Flores, R.J., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Reyes-Ramírez, R., 2006. Biological activity of tannins extracts from four tropical forages. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2006, p.177. doi:10.1017/S1752756200018548
- Duarte-Vera, F. and Sandoval Castro, C.A., 2002. Efecto de metionina en una dieta integral de yuca para ovinos en desintoxicación de ácido cianhídrico. *Revista Biomédica*, 13, pp. 116–119.
- Duarte-Vera, F., Sandoval-Castro, C.A. and Sarmiento-Franco, L.A., 2008. Evaluación del Modelo CNCPS-S Para Predecir el Crecimiento del Borrego Pelibuey. *Revista Científica*, 18(3), p. 296-304.
- Duarte-Vera, F., Sandoval-Castro, C. and Sarmiento-Franco, L., 2009. Empleo del modelo SRNS para predecir la ganancia de peso en ovinos machos Pelibuey en crecimiento. *Archivos de Zootecnia*, 58 (224), p. 671-681.
- Duarte-Vera, F., Sandoval-Castro, C.A., Sarmiento-Franco, L.A., Tedeschi, L.O. and Santos-Ricalde, R., 2012. Energy and protein requirements of growing pelibuey sheep under tropical conditions estimated from a literature database analyses. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, pp. 97–103.
- Estrada-Liévano, J.M., Sandoval-Castro, C.A., Ramírez-Avilés, L. and Capetillo-Leal, C.M., 2009. *In vitro* fermentation efficiency of mixtures of *Cynodon nlemfuensis*, *Leucaena leucocephala* and two energy sources (maize or sugar cane molasses). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, pp. 497–503.
- Etter, E., Hoste, H., Chartier, C., Pors, I., Koch, C., Broqua, C. and Coutineau, H., 2000. The effect of two levels of dietary protein on resistance and resilience of dairy goats experimentally infected with *Trichostrongylus colubriformis*: comparison between high and low producers. *Veterinary Research*, 31(2), pp. 247–258. doi.org/10.1051/vetres:2000120
- Galicia-Aguilar, H.H., Rodríguez-González, L.A., Capetillo-Leal, C.M., Cámara-Sarmiento, R., Aguilar-Caballero, A.J., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2012. Effects of *Havardia albicans* supplementation on feed consumption and dry matter digestibility of sheep and the biology of *Haemonchus contortus*. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), pp. 178–184. doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.07.021
- Galicia-Jimenez, M.M., Rojas-Herrera, R., Sandoval-Castro, C.A., Magaña-Sevilla, H., 2011a. Possible chemotaxis in *Ruminococcus albus*: comparative genomics. *Journal of Applied Animal Research*, 39, pp. 189-191. http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2011.607705
- Galicia-Jimenez, M.M., Rojas-Herrera, R., Sandoval-Castro, C.A., Magaña-Sevilla, H., 2011b. Quimiotaxis bacteriana y flavonoids: perspectivas para uso de probióticos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, pp. 891-900. http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.ph

- p/TSA/article/view/1087/611
- Galicia-Jiménez, M.M., Rojas-Herrera, R., Sandoval-Castro, C., Murialdo, S.E., Magaña-Sevilla, H., 2014. Chemotactic responses of the rumen bacterial community towards the daidzein flavonoid. *Livestock Science*, 167, pp. 121–125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.05.022>
- Gárate-Gallardo, L., Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J., Sandoval-Castro, C.A., Cámara-Sarmiento, R. and Canul-Ku, H.L., 2015. Comparing different maize supplementation strategies to improve resilience and resistance against gastrointestinal nematode infections in browsing goats. *Parasite*, 22, p.19. doi.org/10.1051/parasite/2015019
- García-Galván, A., Belmar-Casso, R., Sarmiento-Franco, L. and Sandoval-Castro, C.A., 2012. Evaluation of the metabolizable energy value for growing lambs of the *Mucuna pruriens* seed and the whole pod. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4), pp. 843–847. doi.org/10.1007/s11250-011-9976-0
- González-Pech, P.G., Marín-Tun, C.G., Valladares-González, D.A., Ventura-Cordero, J., Ortiz-Ocampo, G.I., Cámara-Sarmiento, R., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2018. A protocol of human animal interaction to habituate young sheep and goats for behavioural studies. *Behavioural Processes*, 157, pp. 632–637. doi.org/10.1016/j.beproc.2018.04.007
- González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F. de J., Sandoval-Castro, C.A. and Tun-Garrido, J., 2015. Feeding behavior of sheep and goats in a deciduous tropical forest during the dry season: The same menu consumed differently. *Small Ruminant Research*, 133, pp. 128–134. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.08.020
- Gonzalez-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J. and Sandoval-Castro, C.A., 2014. Adapting a bite coding grid for small ruminants browsing a deciduous tropical forest. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), pp. 63–70.
- González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J. and Sandoval-Castro, C.A., 2018. Simpler intake estimation using direct observation in small ruminants: grouping bites by plant structure and morphology. *BMC Research Notes*, 11(1), p.453. doi.org/10.1186/s13104-018-3570-8.
- Gutiérrez-Segura, I., Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J., Cob-Galera, L., May-Martínez, M. and Sandoval-Castro, C., 2003. Supplementation can improve resilience and resistance of browsing criollo kids against nematode infections during the wet season. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 3, pp. 537–540.
- Hernández-Orduño, G., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Aguilar-Caballero, A.J., Capetillo-Leal, C.M. and Alonso-Díaz, M.A., 2012. In cafeteria trials with tannin rich plants, tannins do not modify foliage preference of goats with browsing experience. *Ethology Ecology & Evolution*, 24(4), pp. 332–343. doi.org/10.1080/03949370.2012.683453
- Hernández-Orduño, G., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Capetillo-Leal, C.M., Aguilar-Caballero, A.J. and Alonso-Díaz, M.A., 2015. A tannin-blocking agent does not modify the preference of sheep towards tannin-containing plants. *Physiology & Behavior*, 145, pp. 106–111. doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.04.006
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F.J., Paolini, V., Aguilar-Caballero, A.J., Etter, E., Lefrileux, Y., Chartier, C. and Broqua, C., 2005. Interactions between nutrition and gastrointestinal infections with parasitic nematodes in goats. *Small Ruminant Research*, pp. 141–151. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.008
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F., Alonso-díaz, M.Á., Brunet, S., Sandoval-Castro, C. and Adote, S.H., 2008a. Identification and validation of bioactive plants for the control of gastrointestinal nematodes in small ruminants. *Tropical Biomedicine*, 25(1 Suppl), pp. 56–72.
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F.J. and Aguilar-Caballero, A.J., 2008b. Nutrition-parasite interactions in goats: Is immunoregulation involved in the control of gastrointestinal nematodes? *Parasite Immunology*, 30(2), pp. 79–88. doi.org/10.1111/j.1365-3024.2007.00987.x
- Hoste, H. and Torres-Acosta, J.F.J., 2011. Non chemical control of helminths in ruminants: Adapting solutions for changing worms in a changing world. *Veterinary Parasitology*, 180(1–2), pp. 144–154. doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.05.035
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S.,

- Louvandini, H., Thamsborg, S.M. and Terrill, T.H., 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*, 212(1), pp. 5–17. doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.06.026
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F.J., Quijada, J., Chan-Perez, I., Dakheel, M.M., Kommuru, D.S., Mueller-Harvey, I. and Terrill, T.H., 2016. Interactions between nutrition and infections with *Haemonchus contortus* and related gastrointestinal nematodes in small ruminants. In: R.B. Gasser and G. Von Samson-Himmelstjerna, eds. *Haemonchus contortus and haemonchosis – Past, present and future Trends*. Elsevier Ltd. pp. 239–351. doi.org/10.1016/bs.apar.2016.02.025.
- Jaimez-Rodríguez, P.R., González-Pech, P.G., Ventura-Cordero, J., Brito, D.R.B., Costa-Júnior, L.M., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2019. The worm burden of tracer kids and lambs browsing heterogeneous vegetation is influenced by strata harvested and not total dry matter intake or plant life form. *Tropical Animal Health and Production*, 51(8), pp. 2243–2251. doi.org/10.1007/s11250-019-01928-9
- Landa-Cansigno, E., Friesendhal, E., Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J., Hoste, H. and Vargas-Magaña, J.J., 2005. Comparing the effect of two sources of energy supplement (molasses or Maize) on the resilience and resistance against GI nematodes in browsing goats. In: *20th Internacional Conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology*. Christchurch, New Zealand. p.189.
- Loyra-Tzab, E., Sarmiento-Franco, L.A., Sandoval-Castro, C.A. and Santos-Ricalde, R.H., 2011. Nutrient digestibility and metabolizable energy content of *Mucuna pruriens* beans fed to growing Pelibuey lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 169(1), pp. 140–145. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.06.003
- Loyra-Tzab, E., Sarmiento-Franco, L.A., Sandoval-Castro, C.A. and Santos-Ricalde, R.H., 2013. Nutrient digestibility and metabolizable energy content of *Mucuna pruriens* whole pods fed to growing Pelibuey lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(7), pp. 981–986. doi.org/10.5713/ajas.2013.13062
- Mancilla-Montelongo, G., Castañeda-Ramírez, G.S., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Borges-Argáez, R., 2019. Evaluation of cinnamic acid and six analogues against eggs and larvae of *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 270, pp. 25–30. doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.05.009
- Mancilla-Montelongo, G., Castañeda-Ramírez, G.S., Can-Celis, A., Chan-Pérez, J.I., Sandoval-Castro, C.A. and de Jesús Torres-Acosta, J.F., 2020. Optimal age of *Trichostrongylus colubriformis* larvae (L3) for the in vitro larval exsheathment inhibition test under tropical conditions. *Veterinary Parasitology*, 278, p.109027. doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109027
- Mancilla-Montelongo, M.G., Castañeda-Ramírez, G.S., Gaudin-Barbier, E., Canul-Velasco, M.L., Chan-Pérez, J.I., De la Cruz-Cortazar, Á., Mathieu, C., Fourquaux, I., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Ventura-Cordero, J., González-Pech, P.G. and Torres-Acosta, J.F.J., 2021. In vitro Evaluation of the Nutraceutical Potential of *Theobroma cacao* pod Husk and Leaf Extracts for Small Ruminants. *Acta Parasitologica*, pp. 1–15. doi.org/10.1007/s11686-021-00354-y
- 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, R., Hoste, H., Sarmiento, R.C. and Torres-Acosta, J.F.J., 2007. Combining the effects of supplementary feeding and copper oxide needles for the control of gastrointestinal nematodes in browsing goats. *Veterinary Parasitology*, 146(1–2), pp. 66–76. doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.02.012
- Martínez-Ortíz-de-Montellano, C., Vargas-Magaña, J.J., Canul-Ku, H.L., Miranda-Soberanis, R., Capetillo-Leal, C., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H. and 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), pp. 283–290. doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.04.040
- Martínez-Ortíz-de-Montellano, C., Arroyo-López, C., Fourquaux, I., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Hoste, H., 2013. Scanning electron microscopy of *Haemonchus contortus* exposed to tannin-rich plants under in vivo and in vitro conditions. *Experimental Parasitology*, 133(3), pp. 281–286. doi.org/10.1016/j.exppara.2012.11.024
- Martínez-Ortiz-de-Montellano, C., de Jesús Torres-Acosta, J.F., Fourquaux, I., Sandoval-Castro,

- C.A. and Hoste, H., 2019. Ultrastructural study of adult *Haemonchus contortus* exposed to polyphenol-rich materials under *in vivo* conditions in goats. *Parasite*, 26. doi.org/10.1051/parasite/2019065
- Méndez-Ortíz, F.A., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F. de 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), pp. 185–191. 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. and Ventura-Cordero, J., 2019a. 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, pp. 1–6. doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.11.008
- Méndez-Ortíz, F.A., Sandoval-Castro, C.A., Ventura-Cordero, J., Sarmiento-Franco, L.A., Santos-Ricalde, R.H. and Torres-Acosta, J.F.J., 2019b. *Gymnopodium floribundum* fodder as a model for the *in vivo* evaluation of nutraceutical value against *Haemonchus contortus*. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), pp. 1591–1599. doi.org/10.1007/s11250-019-01855-9
- Méndez-Ortíz, F.A., Sandoval-Castro, C.A., Sarmiento-Franco, L.A., Ventura-Cordero, J., González-Pech, P.G., Vargas-Magaña, J.J. and Torres-Acosta, J.F.J., 2021. Impact of dietary condensed tannins and *Haemonchus contortus* infection in growing sheep: Effects on nutrient intake, digestibility, and the retention of energy and nitrogen. *Acta Parasitologica*. doi.org/10.1007/s11686-021-00441-0
- Mendoza-Nazar, P. and Sandoval-Castro, C., 2003. *In vitro* Gas Production and Nylon Bag Rumen Degradation as Predictors of the *in vivo* Apparent Digestibility and Voluntary Intake of Tropical Hays Fed to Sheep. *Journal of Applied Animal Research*, 23(1), pp. 103–116. doi.org/10.1080/09712119.2003.9706774.
- Monforte-Briceño, G.E., Sandoval-Castro, C.A., Ramírez-Avilés, L. and Leal, C.M.C., 2005. Defaunating capacity of tropical fodder trees: Effects of polyethylene glycol and its relationship to *in vitro* gas production. *Animal Feed Science and Technology*, 123–124, pp. 313–327. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.016
- Novelo-Chi, L.K., González-Pech, P.G., Ventura-Cordero, J., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Cámara-Sarmiento, R., 2019. Gastrointestinal nematode infection and feeding behaviour of goats in a heterogeneous vegetation: No evidence of therapeutic self-medication. *Behavioural Processes*, 162, pp. 7–13. doi.org/10.1016/j.beproc.2019.01.006
- Ojeda-Robertos, N.F., Torres-Acosta, J.F.J., González-Garduño, R. and Notter, D.R., 2017. Phenotypic expression of parasite susceptibility to *Haemonchus contortus* in Pelibuey sheep. *Veterinary Parasitology*, 239, pp. 57–61. doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.04.015
- Ortiz-Domínguez, G., Ventura-Cordero, J., González-Pech, P., Torres-Acosta, J.F.J., Capetillo-Leal, C.M. and Sandoval-Castro, C.A., 2017. Nutritional value and *in vitro* digestibility of legume pods from seven trees species present in the tropical deciduous forest. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), pp. 505–510.
- Ortiz-Ocampo, G.I., Pérez, J.I.C., Covarrubias-Cárdenas, A.G., Santos-Ricalde, R.H., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Capetillo-Leal, C.M., González-Pech, P.G. and Torres-Acosta, J.F.J., 2016. Efecto antihelmíntico *in vitro* e *in vivo* de residuos de *Coffea arabica* sobre un aislado de *Haemonchus contortus* con baja susceptibilidad a taninos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(1), pp. 41–50.
- Palomo-Couoh, J.G., Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J. and González-Garduño, R., 2017. Comparing the phenotypic susceptibility of Pelibuey and Katahdin female lambs against natural gastrointestinal nematode infections under hot humid tropical conditions. *Parasitology Research*, 116(6), pp. 1627–1636. doi.org/10.1007/s00436-017-5437-7
- Pech-Cervantes, A.A., Ventura-Cordero, J., Capetillo-Leal, C.M., Torres-Acosta, J.F.J. and Sandoval-Castro, C.A., 2016. Relationship between intake of tannin-containing tropical tree forage, PEG supplementation, and salivary haze development in hair sheep and goats. *Biochemical Systematics and Ecology*, 68, pp. 101–108. doi.org/10.1016/j.bse.2016.07.003

- Pinto-Ruiz, R., Hernández-Sánchez, D., Ramírez-Avilés, L., Sandoval-Castro, C.A., Cobos-Peralta, M. and Gómez-Castro, H., 2009. Taninos y fenoles en la fermentación *in vitro* de leñosas forrajeras tropicales. *Agronomía Mesoamericana*, 20(1), pp. 81–89.
- Ramos-Bruno, E., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2020. Consumo, digestibilidad y ganancia de peso en corderos de pelo infectados con *Trichostrongylus colubriformis*. *ACOVEZ Asociación Colombiana de Médicos Veterinarios y Zootecnistas*, 49(137), pp. 84–85.
- Ramos-Bruno, E., Sandoval-Castro, C.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sarmiento-Franco, L.A., Torres-Fajardo, R., Chan-Pérez, J.I. and Ortiz-Ocampo, G.I., 2021. Nitrogen retention in hair sheep lambs with a gradient of *Haemonchus contortus* infection. *Veterinary Parasitology*, 296(June), p.109488. doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109488
- Retama-Flores, C., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Aguilar-Caballero, A.J., Cámara-Sarmiento, R. and 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), pp. 145–153. doi: 10.1017/S1751731111001339.
- Rojas-Schroeder, J.A., Sarmiento-Franco, L., Sandoval-Castro, C.A. and Santos-Ricalde, R.H., 2017. Utilización del follaje de ramón (*Brosimum alicastrum* Swarth) en la alimentación animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, pp. 363–371.
- Sandoval-Castro, C.A. and Herrera Gómez, F., 1999. Estimación de la síntesis de proteína microbiana en rumiantes a través de la medición de los derivados de purina en orina. *Revista Biomédica*, 10, pp. 241–251. doi.org/10.32776/revbiomed.v10i4.210
- Sandoval-Castro, C., Quijano-Cervera, R., Ramírez-Avilés, L. and Cetina-Góngora, R., 2001. Determinación de cromo en heces bovinas: variaciones en los resultados en función de la fuente de heces para la preparación de la curva de calibración. *Revista Biomédica*, 12, pp. 180–184. /doi.org/10.32776/revbiomed.v12i3.273
- Sandoval-Castro, C.A., Capetillo-Leal, C., Cetina-Góngora, R. and Ramirez-Avilés, L., 2002. A mixture simplex design to study associative effects with an *in vitro* gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, 101(1), pp. 191–200. doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00137-2
- Sandoval-Castro, C.A., Herrera, P.E., Capetillo-Leal, C.M. and Ayala-Burgos, A.J., 2003. *In vitro* gas production and digestibility of *Mucuna bean*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, pp. 77–80.
- Sandoval-Castro, C.A., Lizarraga-Sanchez, H.L. and Solorio-Sanchez, F.J., 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, *in vitro* gas production and *in situ* degradability. *Animal Feed Science and Technology*, 123–124, pp. 277–289. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.057
- Sandoval-Castro, C.A., Monforte-Briceño, G.E. and Capetillo-Leal, C.M., 2005. A methodology for the rapid assessment of forage tree defaunating capacity. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2005, p.219. doi: 10.1017/S1752756200011303
- Sandoval-Castro, C.A., Torres-Acosta, J.F.J., Hoste, H., Salem, A.Z.M., Chan-Pérez, J.I., 2012. Using plant bioactive materials to control gastrointestinal tract helminths in livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 176, pp. 192–201. http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.023
- Sarmiento-Franco, L., Sandoval-Castro, C.A., McNab, J., Quijano-Cervera, R. and Reyes-Ramirez, R., 2003. Effect of age of regrowth on chemical composition of chaya (*Cnidioscolus aconitifolius*) leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, pp. 609–612. doi.org/10.1002/jsfa.1372
- Sepúlveda-Vázquez, J., Torres-Acosta, J.F., Sandoval-Castro, C.A., Martínez-Puc, J.F., Chan-Pérez, J.I., 2018. La importancia de los metabolitos secundarios en el control de nematodos gastrointestinales en ovinos con énfasis en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 5(2), pp. 82–98. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v5n2/v5n2_a04.pdf
- Solorio-Sánchez, F.J., Sol-Jiménez, J.A., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2007. Evaluation of Tree Fodder Silage in the Feeding of Lactating Goats. *Journal of Applied Animal Research*, 31(2), pp. 189–192. doi.org/10.1080/09712119.2007.9706661
- Soto-Barrientos, N., Chan-Pérez, J.I., España-España,

- E., Novelo-Chi, L.K., Palma-Ávila, I., Ceballos-Mendoza, A.C., Sarabia-Hernández, J.A., Santos-Ricalde, R.H., Cámara-Sarmiento, R. and Torres-Acosta, J.F.J., 2018. Comparing body condition score and FAMACHA© to identify hair-sheep ewes with high faecal egg counts of gastrointestinal nematodes in farms under hot tropical conditions. *Small Ruminant Research*, 167, pp. 92–99. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.08.011
- Torres-Acosta, J.F. and Jacobs, D.E., 1999. Duration of activity of oral moxidectin against *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* and *Trichostrongylus colubriformis* in goats. *The Veterinary Record*, 144(23), pp. 648–649. doi.org/10.1136/vr.144.23.648
- Torres-Acosta, J.F., Villarroel-Álvarez, M.S., Rodríguez-Arévalo, F., Gutiérrez-Segura, I. and Alonso-Díaz, M.A., 2003. Diagnóstico de nematodos gastrointestinales resistentes a bencimidazoles e imidazotiazoles en un rebaño caprino de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 14(2), pp. 75–81. doi.org/10.32776/revbiomed.v14i2.344
- Torres-Acosta, J.F.J., Jacobs, D.E., Aguilar-Caballero, A.J., Sandoval-Castro, C., May-Martinez, M. and 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), pp. 217–238. doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.07.009
- Torres-Acosta, J.F.J., Jacobs, D.E., Aguilar-Caballero, A.J., Sandoval-Castro, C., Cob-Galera, L. and May-Martínez, M., 2006. Improving resilience against natural gastrointestinal nematode infections in browsing kids during the dry season in tropical Mexico. *Veterinary Parasitology*, 135(2), pp. 163–173. doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.08.009
- Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A.J., Cámara-Sarmiento, R. and 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(1), pp. 28–40. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.10.016
- Torres-Acosta, J.F.J., González-Pech, P.G., Ortiz-ocampo, G.I., Rodríguez-Vivas, I., Tun-Garrido, J., Ventura-Cordero, J., Castañeda-Ramírez, G.S., Hernández-Bolio, G.I., Sandoval-Castro, C.A., Chan-pérez, J.I., Ortega-Pacheco, A., 2016. Revalorizando el uso de la selva baja caducifolia para la producción de rumiantes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19, pp. 73-80.
- Torres-Acosta, J.F., Hoste, H., Sandoval-Castro, C.A., Torres-Fajardo, R.A., Ventura Cordero, J., González-Pech, P.G., Mancilla-Montelongo, M.G., Ojeda-Robertos, N.F., Martínez-Ortiz-de-Montellano, C., 2019. El “Arte de la Guerra” contra los nematodos gastrointestinales en rebaños de ovinos y caprinos del trópico. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 17 (supl. 1), pp. 39-46. https://periodicos.pucpr.br/index.php/ciencia-animal/article/view/25345/pdf
- Torres-Fajardo, R.A., González-Pech, P.G., Ventura-Cordero, J., Ortíz-Ocampo, G.I., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2018. Feed resource selection of Criollo goats is the result of an interaction between plant resources, condensed tannins and *Haemonchus contortus* infection. *Applied Animal Behaviour Science*, 208, pp. 49–55. doi.org/10.1016/j.applanim.2018.08.003
- Torres-Fajardo, R.A., González-Pech, P.G., Sandoval-Castro, C.A., Ventura-Cordero, J. and Torres-Acosta, J.F.J., 2019a. Criollo goats limit their grass intake in the early morning suggesting a prophylactic self-medication behaviour in a heterogeneous vegetation. *Tropical animal Health and Production*, 51(8), pp. 2473–2479. doi.org/10.1007/s11250-019-01966-3
- Torres-Fajardo, R.A., Navarro-Alberto, J.A., Ventura-Cordero, J., González-Pech, P.G., Sandoval-Castro, C.A., Chan-Pérez, J.I. and de Jesús Torres-Acosta, J.F., 2019b. Intake and selection of goats grazing heterogeneous vegetation: Effect of gastrointestinal nematodes and condensed tannins. *Rangeland Ecology & Management*, 72(6), pp. 946–953. doi.org/10.1016/j.rama.2019.08.002
- Torres-Fajardo, R.A., González-Pech, P.G., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F. de J., 2020. Small ruminant production based on rangelands to optimize animal nutrition and health: Building an interdisciplinary approach to evaluate nutraceutical plants. *Animals*, 10(10), p.1799. doi.org/10.3390/ani10101799
- Torres-Fajardo, R.A., González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F. de J. and Sandoval-Castro, C.A., 2021. Nutraceutical Potential of the Low Deciduous Forest to Improve Small Ruminant Nutrition and Health: A Systematic Review.

- Agronomy*, 11(7), p.1403.
doi.org/10.3390/agronomy11071403
- Van Houtert, M.F.J. and Sykes, A.R., 1996. Implications of nutrition for the ability of ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections. *International Journal for Parasitology*, 26(11), pp. 1151–1167. doi.org/10.1016/S0020-7519(96)00120-8
- Vargas-Magaña, J.J., Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H. and Capetillo-Leal, C.M., 2013. Tropical tannin-rich fodder intake modifies saliva-binding capacity in growing sheep. *Animal*, 7(12), pp. 1921–1924. doi: 10.1017/S1751731113001651
- Vargas-Magaña, J.J., Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H. and Chan-Pérez, J.I., 2014. Anthelmintic activity of acetone–water extracts against *Haemonchus contortus* eggs: interactions between tannins and other plant secondary compounds. *Veterinary Parasitology*, 206(3–4), pp. 322–327. doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.10.008
- Ventura-Cordero, J., González-Pech, P.G., Jaimez-Rodríguez, P.R., Ortíz-Ocampo, G.I., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2017a. Gastrointestinal nematode infection does not affect selection of tropical foliage by goats in a cafeteria trial. *Tropical Animal Health and Production*, 49(1), pp. 97–104. doi.org/10.1007/s11250-016-1163-x
- Ventura-Cordero, J., Sandoval-Castro, C.A., Torres-Acosta, J.F.J. and Capetillo-Leal, C.M., 2017b. Do goats have a salivary constitutive response to tannins? *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), pp. 29–34. doi.org/10.1080/09712119.2015.1102728
- Ventura-Cordero, J., Sandoval-Castro, C.A., González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J., 2017, El follaje de la selva baja caducifolia como alimento nutracéutico y su potencial antihelmíntico en pequeños rumiantes. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 21, pp. 55-67
- Ventura-Cordero, J., González-Pech, P.G., Jaimez-Rodríguez, P.R., Ortiz-Ocampo, G.I., Sandoval-Castro, C.A. and Torres-Acosta, J.F.J., 2018. Feed resource selection of Criollo goats artificially infected with *Haemonchus contortus*: nutritional wisdom and prophylactic self-medication. *Animal*, 12(6), pp. 1269–1276. doi.org/10.1017/S1751731117002634
- Ventura-Cordero, J., González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A. and Tun-Garrido, J., 2019. Sheep and goat browsing a tropical deciduous forest during the rainy season: why does similar plant species consumption result in different nutrient intake? *Animal Production Science*, 59(1), pp. 66–72. doi.org/10.1071/AN16512
- Wallace, D.S., Bairden, K., Duncan, J.L., Fishwick, G., Gill, M., Holmes, P.H., Mckellar, Q.A., Murray, M., Parkins, J.J. and Stear, M., 1996. Influence of soyabean meal supplementation on the resistance of Scottish blackface lambs to haemonchosis. *Research in Veterinary Science*, 60(2), pp. 138–143. doi.org/10.1016/S0034-5288(96)90008-9
- Wallace, D.S., Bairden, K., Duncan, J.L., Eckersall, P.D., Fishwick, G., Holmes, P.H., Mckellar, Q.A., Mitchell, S., Murray, M., Parkins, J.J. and Stear, M.J., 1999. The influence of increased feeding on the susceptibility of sheep to infection with *Haemonchus contortus*. *Animal Science*, 69, pp. 457–463. doi: 10.1017/S1357729800051031
- Zaragoza-Vera, E., Aguilar-Caballero, A., Hoste, H., Vargas-Magaña, J.J. and Torres-Acosta, J.F.J., 2005. Supplementary feeding and copper oxide wire particles (COWP): effect on the resilience against gi nematodes in browsing hair sheep. In: *20th Internacional Conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology*. p.181.