

Conducta ingestiva de cabritos centinelas en la selva baja caducifolia y su relación con la infección con nematodos gastrointestinales

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR:

Médico Veterinario Zootecnista

Paúl Rogelio Jaimez Rodríguez

Asesores:

Dr. Juan Felipe de Jesús Torres Acosta

Dr. Carlos Alfredo Sandoval Castro

Mérida, Yucatán, México, Septiembre de 2016

DECLARACIÓN

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

MVZ Paúl Rogelio Jaimez Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar siempre presente, por darme la fuerza necesaria para conseguir una meta más.

A mis padres Juan José y Teresa de Jesús porque siempre me han apoyado y alentado a seguir adelante a pesar de los tropiezos y obstáculos que pudiera haber en el camino, todo lo que soy se lo debo a ellos.

A mis hermanos Giovanni Alejandro y Priscila Melina por sus consejos, regaños y la ayuda que me han brindado siempre.

A mi novia Cinthia Alejandra por siempre darme ánimos para seguir adelante, por ser ese motor que me impulsa a ser cada día mejor y estar siempre ahí demostrándome lo mucho que me ama.

A mis asesores el Dr. Juan Felipe de Jesús Torres Acosta por sus consejos, la ayuda brindada, por su amistad y por enseñarme que todos los días hay algo que hacer y al Dr. Carlos Alfredo Sandoval Castro por sus aportes a la presente, los divertidos comics de nuestras labores y por estar siempre dispuesto a ayudar.

Al Dr. Pedro Geraldo González Pech por sus correcciones, su ejemplo, su paciencia, sus sabios consejos para la realización de esta tesis y esa actitud positiva que me motivó a seguir “chaaambeando”.

A mi tutor el Dr. Eduardo Gutiérrez Blanco por sus sugerencias, correcciones y comentarios hacia esta tesis.

Al Dr. Javier Ventura Cordero por sus consejos, sus comentarios hacia mi persona como para este trabajo, sus canciones desafinadas y por todo el “coto”.

A los Doctores que conformaron el sínodo de evaluación.

A mis tíos, tías, primos y primas que me apoyaron durante todo el tiempo de la maestría.

Al equipo de trabajo Lupita Ortiz, Rafael Torres, Israel Chan, Sarahi Castañeda, Gloria Hernández y Daniela Román por su compañerismo y amistad.

Al Juan, Rosa, Lucí, Erik por su apoyo como pastores del rebaño.

A los jaguares Cindy, Azucena, Gabriel y Diana por su apoyo con los animales y las maniobras de acostumbamiento.

A Libi Canul, Marilem Rodríguez y Ruby Graciano por su valiosa ayuda con los audios.

A la Unidad de Pequeños Rumiantes M en C Ramón Cámara, Marissa Pérez, Sesar, Leonardo y Luis por estar siempre dispuestos a colaborar.

A mis compañeros por su apoyo, colaboración, pero sobre todo por su afecto y amistad.

Al CONACYT por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios.

Y a todas las personas que en su momento me apoyaron y que fueron omitidas sin intención.

Gracias Totales!!!

RESUMEN

Se estudió la relación entre la conducta ingestiva de cabritos centinelas y la infección con nematodos gastrointestinales (NGI) en la selva baja caducifolia (SBC) en época de lluvias. Se utilizaron seis pares de cabritos centinelas (19.5 ± 2.5 kg) criados libres de NGI. Cada 15 días un par fue expuesto al pastoreo de la SBC durante 4 h y además de 200 g de alimento balanceado (16% proteína cruda). La observación directa sirvió para estimar el consumo de materia seca (CMS) de plantas con diferentes formas de vida (gramíneas, enredaderas, arbustos y herbáceas) y la altura del estrato consumido: bajo (<25 cm), medio (26-50 cm) y alto (>50 cm). Se recuperaron los parásitos del tracto gastrointestinal, postmortem. Se compararon las variables de las semanas 1-7 (P1) vs. semanas 8-14 (P2). La temperatura ambiental y precipitación pluvial fueron menores en el P2 ($P < 0.05$). El total de NGI por centinela fue menor en P1 (mediana = 16; rango = 40-620) vs. P2 (mediana = 1310; rango = 540-1890) ($P < 0.05$). El 51% de los NGI fueron *Haemonchus contortus*, 41.2% *Trichostrongylus colubriformis*, 3.2% *Cooperia curticei*, 4.4% *Oesophagostomum columbianum* y 0.08% *Trichuris* spp. El CMS fue de 467.1 ± 133 g/día y fue similar entre P1 y P2 ($P > 0.05$). El CMS se distribuyó en herbáceas (<1%), enredaderas (1.4%), arbustos (34.5%) y gramíneas (62.6%). El 13.8%, 19.3% y 66.8% del CMS se obtuvo de los estratos alto, medio y bajo, respectivamente. El consumo de arbustivas del estrato alto fue 80.6 g vs. 45.5 g MS, P1 vs. P2 respectivamente ($P < 0.05$). Aun cuando las condiciones medioambientales fueron favorables para las larvas de vida libre, se observó mayor infección por NGI durante P2, lo que pudo deberse a la acumulación gradual de L₃. El comportamiento de ingestión de arbustivas de estrato alto se relacionó con menor infectividad.

Palabras clave: selva baja caducifolia, cabras, consumo, centinelas, nematodos gastrointestinales

SUMMARY

The relationship between the feeding behavior of tracer goats and infection with gastrointestinal nematodes (GIN) in the tropical deciduous forest (TDF) in the rainy season was studied. Six pairs of tracers kids (19.5 ± 2.5 kg LW) free of NGI were used. Each pair was exposed every 15 days for grazing/browsing of the TDF during 4 h and supplemented with 200 g of balanced food (16% CP). Direct observation was used to estimate the dry matter intake (DMI) of different plant types (grass, vines, shrubs and herbaceous) and the height of the strata consumed: low (<25 cm), medium (26-50 cm) and high (>50 cm). Parasite nematodes were recovered from the gastrointestinal tract, postmortem. Variables were compared for the weeks 1-7 (P1) vs. weeks 8-14 (P2). The ambient temperature and rainfall were lower in the P2 ($P < 0.05$). The total GIN per sentinel was lower in P1 (median = 16; Range = 40-620) vs. P2 (median = 1310; Range = 540-1890) ($P < 0.05$). The 51% of the GIN were *Haemonchus contortus*, 41.2% *Trichostrongylus colubriformis*, 3.2% *Cooperia curticei*, 4.4% *Oesophagostomum columbianum* and 0.08% *Trichuris spp.* The DMI was 467.1 ± 133 g/day and was similar in P1 and P2 ($P > 0.05$). The DMI was distributed in grass (<1%), vines (1.4%), shrubs (34.5%) and grasses (62.6%). The 13.8%, 19.3% and 66.8% of DMI was obtained from the high, medium and low strata, respectively. A higher intake of shrubs from the high strata was observed (80.6 g vs. 45.5 g MS) P1 vs. P2, respectively; $P < 0.05$). Even when environmental conditions were favorable for the free life larvae, we observed a higher GIN infection during P2, which could be due to the gradual accumulation of L3. The feeding behavior of shrubs from the high strata was related with lower infectivity.

Keywords: infectivity, gastrointestinal nematodes, goats, shrubs, feeding behavior

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Los nematodos gastrointestinales.....	2
2.1.1. Etiología	2
2.1.2 Epidemiología.....	3
2.2 La selva baja caducifolia.....	6
2.3. Metodología para determinar la infectividad de la pradera.....	7
2.4. Metodología para estimar el consumo voluntario y la composición de la dieta.....	11
2.5. Asociación entre la infectividad observada y la dieta consumida por cabras en SBC	12
III. HIPÓTESIS.....	14
IV. OBJETIVO.....	14
V. REFERENCIAS	15
VI. ARTICULO CIENTÍFICO.....	20

ÍNDICE DE CUADROS

Marco Teórico

Cuadro 1. Nematodos gastrointestinales que afectan a las cabras en el Estado de Yucatán.....	3
--	---

Artículo Científico

Cuadro 1. Promedio de temperatura y humedad y la respectiva desviación estándar del microclima registrados con los data-loggers colocados al nivel de los animales y promedio en minutos desde el amanecer hasta la salida a pastoreo de los centinelas en el Periodo 1 y Periodo 2 del estudio.....	29
Cuadro 2. Especies de nematodos gastrointestinales recuperados de diferentes órganos del tracto gastrointestinal de cabritos centinelas pastoreando la selva baja caducifolia en época de lluvias. Por cada especie de nematodo se incluye la frecuencia de animales infectados (%), mediana, promedio y rango.....	30
Cuadro 3. Especies y forma de vida de las plantas de la selva baja caducifolia que aportaron más del 1% de la materia seca consumida por cabritos centinelas en 4 horas de pastoreo en época de lluvia.....	33
Cuadro 4. Consumo promedio de materia seca realizado por los cabritos centinelas de los distintos estratos de altura estudiados incluyendo el porcentaje de aporte en total y en el Periodo 1 (semanas 1 a 7) y Periodo 2 (semanas 8 a 14).....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número de nematodos gastrointestinales en los diferentes compartimentos del tracto gastrointestinal de cabritos centinelas pastoreando la selva baja caducifolia en la época de lluvias..... 31

Figura 2. Cantidad estimada de larvas L₃ por kg de materia seca (L₃/kg MS) que llegaron a parásitos adultos en los diferentes cabritos centinelas pastoreando la selva baja caducifolia en la época de lluvias..... 32

I. INTRODUCCIÓN

Los nematodos gastrointestinales (NGI) representan un problema importante en la producción y salud de los pequeños rumiantes en pastoreo. Para su control se requiere generar datos epidemiológicos que permitan identificar las épocas de mayor infectividad de la pradera y las fuentes de forraje que pudieran ser las que la ocasionan. A pesar de ser una pieza clave para el control adecuado de las poblaciones de NGI, son pocos los trabajos que han explorado la infectividad por NGI en la selva baja caducifolia (SBC) pastoreada por rebaños de pequeños rumiantes (Torres-Acosta et al., 2004; Torres-Acosta y Aguilar-Caballero 2006; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2010). Estos trabajos identificaron la riqueza y abundancia de especies de NGI en cabritos y corderos consumiendo follaje de la SBC (Torres-Acosta et al., 2004; Torres-Acosta y Aguilar-Caballero, 2006).

Los estudios, realizados en las zonas centro y sur de Yucatán, México, utilizaron cabritos o corderos centinelas demostrando que los principales NGI son: *Haemonchus contortus* en abomaso, *Trichostrongylus colubriformis*, *Cooperia* spp. y *Strongyloides papillosus* en intestino delgado y *Oesophagostomum columbianum* junto con *Trichuris* spp. en intestino grueso. También se demostró que los cabritos centinelas se infectan con mayor cantidad de NGI durante la época de lluvia que durante la de seca ($P < 0.05$). Lo anterior confirma que los mayores niveles de infectividad coinciden con los momentos en los que la temperatura y humedad ambiental favorecen al desarrollo de los parásitos en las zonas tropicales (Besier y Dunsmore, 1993). Una humedad relativa superior al 80%, la temperatura promedio de 28 °C y la precipitación pluvial constante, favorecen la eclosión de los huevos de NGI y el desarrollo de las larvas en los distintos estadios (L₁, L₂, y L₃) (Rossanigo y Gruner, 1995). Las mismas condiciones permiten que las L₃ migren de la materia fecal a las hojas de las plantas (Silva et al., 2008). La capacidad de migración de larvas es de gran importancia ya que determinan el potencial infectante de las plantas y esto determina el contacto hospedero-parásito (Delgado, 1989). Sin embargo, los datos reportados por Torres-Acosta y Aguilar-Caballero (2006) muestran que existen animales centinelas, criados libres de NGI, que no se infectan por NGI en la SBC, durante la época de lluvias una vez que esta se ha establecido

(entre junio y agosto). Lo anterior sugiere que a pesar de existir óptimas condiciones ambientales para el desarrollo de los NGI, éstos no están presentes durante toda la época de lluvias por lo que es posible encontrar animales no infectados. Esto pudiera sugerir que la infectividad parece aumentar gradualmente conforme avanza la época de lluvia. Tal efecto de acumulación de larvas infectantes ha sido reportado para NGI en praderas pastoreadas por rumiantes en clima templado (Urquhart et al., 1996). Sin embargo, otra posible explicación pudiera encontrarse en las especies de forrajes consumidas por los animales en época de lluvias en la SBC, la cual por presentar diversas arquitecturas, pudieran ser consideradas como menos favorables para la infectividad por NGI.

Estudios de conducta ingestiva basados en la observación directa demuestran que las cabras ramoneando en la SBC pueden consumir hasta 61 especies de plantas, incluyendo diferentes formas de vida o hábitats como los arbustos (20), herbáceas (12), gramíneas (11), enredaderas (6) y un árbol (Ventura-Cordero, 2016). Esta vegetación está disponible en múltiples estratos incluyendo el rastrero, follaje de altura media y follaje elevado (Miranda, 1958). Esta vegetación heterogénea puede ser investigada con el uso de cabritos centinelas, aunado al método de observación directa, para identificar las plantas o partes de las mismas que son relevantes en la infectividad por NGI en la época de lluvias. Con ello se puede definir si la infectividad de la SBC en época de lluvia se puede atribuir al consumo de plantas de algún estrato en particular, como por ejemplo el estrato bajo como se reporta para las praderas de gramíneas (Soulsby, 1987; Delgado, 1989; Hansen y Perry, 1994). Por lo tanto, el presente estudio determinó el efecto de la conducta ingestiva de cabritos centinelas pastoreando/ramoneando selva baja caducifolia sobre su infectividad por NGI durante la época de lluvias.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Los nematodos gastrointestinales

2.1.1. Etiología

Las parasitosis por nematodos gastrointestinales (NGI) que afectan al ganado caprino son generalmente multi-etiológicas ya que intervienen parásitos de varias

familias, géneros y especies que al interactuar en el tracto digestivo de los animales, dan como consecuencia importantes trastornos fisiológicos y metabólicos que repercuten en la salud y producción de los animales (Cuellar, 1986). En México la distribución/presencia de nematodos gastrointestinales de acuerdo al clima es : en clima tropical húmedo o subhúmedo, *Haemonchus*, *Trichostrongylus* y *Cooperia*; en clima templado (altiplano mexicano), *Haemonchus*, *Trichostrongylus*, *Teladorsagia* y *Nematodirus*; en clima de montaña, *Trichostrongylus*, *Teladorsagia*, *Haemonchus* y *Nematodirus*. Los más comunes y causantes de enfermedades en las cabras son: en abomaso, *Haemonchus spp*, *Teladorsagia spp (Ostertagia)*, *Trichostrongylus spp*; en intestino delgado, *Cooperia curticei*, *Trichostrongylus colubriformis*, *Nematodirus filicollis*, *Nematodirus spathiger*, *Bunostomum trigoncephalum*, *Strongyloides papillosus* y en intestino grueso, *Oesophagostomum columbianum* y *Trichuris ovis* (Hansen y Perry, 1994; Aguilar-Caballero et al., 2011).

En el Estado de Yucatán, con clima tropical sub húmedo, los principales nematodos gastrointestinales reportados son:

Cuadro 1. Nematodos gastrointestinales que afectan a las cabras en el Estado de Yucatán.

Órgano Digestivo	
Abomaso	<i>Haemonchus contortus</i> , <i>Teladorsagia (Ostertagia) circumcincta</i> , <i>Trichostrongylus axei</i>
Intestino delgado	<i>Cooperia curticei</i> , <i>Trichostrongylus colubriformis</i> , <i>Trichostrongylus vitrines</i> , <i>Nematodirus filicollis</i> , <i>Nematodirus spathiger</i> , <i>Bunostomum trigoncephalum</i> , <i>Strongyloides papillosus</i>
Intestino Grueso	<i>Oesophagostomum columbianum</i> , <i>Trichuris globulosa</i> , <i>Trichuris ovis</i>

Tomado de: Aguilar-Caballero et al. (2008)

2.1.2 Epidemiología

La parasitosis es común en las explotaciones de tipo extensivo y semintensivo, en las que hay pastoreo en praderas o pastizales contaminados con larvas infectantes, que encuentran las condiciones favorables de humedad y temperatura. En las regiones con climas tropicales, como Yucatán, la humedad y temperatura son

factores de gran importancia para la supervivencia y desarrollo de los diversos estadios de los nematodos, siendo los primeros estadios los más susceptibles a la desecación y temperaturas extremas y la L₃ la menos susceptible, debido a que conserva la vaina de la segunda muda que la protege de los factores ambientales adversos (Torres y Domínguez, 1989).

La temperatura ambiental puede limitar la sobrevivencia y emergencia de los NGI. Los parámetros de temperatura óptimos de sobrevivencia y emergencia de los NGI ocurren entre los 30 y 35°C por 7 días. La temperatura ideal para el desarrollo larvario de muchas especies de NGI en el microclima del pasto es entre 22 y 26°C. Algunos parásitos continúan su desarrollo a temperaturas tan bajas como los 5°C. El desarrollo larvario a temperaturas superiores a 30°C puede ser posible en algunos nematodos, pero la mortalidad larvaria a estas temperaturas es alta (Liébrano et al., 1998).

La humedad ideal para el desarrollo larvario es del 100%, sin embargo se pueden desarrollar a una humedad del 85% (Hansen y Perry, 1994). La migración de las L₃ de la materia fecal a la vegetación circundante es en forma activa, son capaces de desplazarse en la superficie húmeda de tallos y hojas de los pastos en forma vertical y en el suelo en forma horizontal, presentando varios tropismos que permiten su supervivencia en el medio ambiente (tropismo positivo a la luz tenue y negativo a luz intensa, hidrotropismo y termotropismo positivo). De esta manera la larva asciende y desciende del pasto de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes (Hansen y Perry, 1994). Las larvas migran contaminando las praderas que circundan la materia fecal y durante el tiempo lluvioso el agua estimula su salida (Soulsby, 1987) y pueden diseminarse en el campo. La migración de las L₃ se ve favorecida con las lluvias o con la presencia de rocío sobre las plantas, esto les permite trasladarse hacia las partes superiores del forraje, facilitando el consumo por los animales. Al evaporarse el rocío, las larvas retornan a la base de la planta. (Hansen y Perry, 1994). La capacidad de migración que tienen las larvas es de gran importancia, ya que esta va a ser un factor que influya en el potencial infectante de las plantas y la diseminación larvaria determina el rango de contacto hospedero-parásito (Delgado,

1989). La supervivencia de las larvas en un medio externo puede sobrepasar las 20 semanas (Delgado, 1989). Sin embargo, esta depende de la sombra que aporta la vegetación circundante para mantener una humedad adecuada en el microclima. La falta de humedad en el macro y microclima mata a los huevos y larvas rápidamente. La desecación es el factor más letal de los factores climáticos, seguido de las temperaturas extremas (Khadijah et al., 2013)

La infestación se da mediante la ingestión de larvas infectantes por animales susceptibles. La enfermedad es la consecuencia en algunos casos y puede presentarse de forma aguda, sobreaguda y crónica que dependerá de las especies de parásitos presentes, así como de su número, inmunidad del huésped, su resistencia natural, condiciones de macro y microclima, tipo de suelo, naturaleza de la vegetación, número de rumiantes silvestres y otros huéspedes que pastan en los mismos lugares (Quiroz, 1988).

Las larvas infectantes tienen la capacidad de sobrevivir en el suelo en condiciones adversas, cuando estas tienen la oportunidad de enterrarse de 5 a 7 cm y cuando la temperatura aumenta las larvas migran hacia la superficie (Vázquez y Nájera 1986). En condiciones adecuadas las larvas pueden migrar verticalmente más de 90 cm y en sentido horizontal 20 a 50 cm (Soulsby, 1987), por otro lado Hansen y Perry (1994) reportan una capacidad de migración horizontal de 10 cm. La información que se tiene de la migración larval ha sido obtenida con el uso de praderas de gramíneas como modelo de estudio en la epidemiología de las infecciones por NGI de los rumiantes, sin embargo, en el trópico no existen trabajos que reporten la dinámica de migración de las larvas en praderas diferentes a las gramíneas.

Así, en praderas de gramíneas diversos estudios reportan que el material más infectante para los pequeños rumiantes se encuentra en las partes de menor altura de las gramíneas (Soulsby, 1987; Delgado, 1989; Hansen y Perry, 1994).

En estudios utilizando los nematodos *Cooperia curticei* y *Teladorsagia circumcincta* provenientes de ovinos y en condiciones de invernadero y en campo, ambos en clima templado (Reino Unido) se comparó la capacidad de migración de tales larvas

en una gramínea (*Lolium perenne*) y dos leguminosas (*Lotus corniculatus*, *Chicory intybus*). Los autores concluyen que la estructura morfológica de las leguminosas redujeron el desarrollo, sobrevivencia y migración de los nematodos (Marley et al., 2006).

En un estudio realizado en el centro de Yucatán en el que se estimó la infectividad por NGI durante cuatro años, utilizando cabritos centinelas que pastoreaban vegetación heterogénea, se reportó que las infecciones presentaron una tendencia estacional, siendo bajas en los meses de febrero a junio y mayores en los meses de julio y agosto, sin embargo, es en los meses de septiembre y octubre cuando la infección ya está bien establecida y persiste hasta los meses de enero y febrero cuando la sequía se encuentra ya presente, esto quizá ocurra por la acumulación de larvas presentes en las plantas durante los meses previos de lluvia y haya una reducción debido a que las condiciones ya no son favorables para el desarrollo de las mismas (Torres-Acosta y Aguilar-Caballero, 2006).

2.2 La selva baja caducifolia

La selva baja caducifolia (SBC) se caracteriza por contar con un gran número de especies leguminosas, varias de las cuales son endémicas, como lo mencionan estudios sobre la vegetación de la península de Yucatán realizados por Flores y Espejel (1994). Estos autores reportan una dominancia de las leguminosas en las etapas serales de esta comunidad llegando hasta el 90%. Esta vegetación se desarrolla en suelos poco profundos de color obscuro o rojizo, calcáreo, con gran presencia de rocas en la superficie. Presenta árboles cuya altura oscila entre 6 y 15 metros, con un diámetro a la altura al pecho de entre 10 y 30 cm. Tiene como característica que casi todos los árboles dejan caer sus hojas durante la época más seca del año, por lo que durante los meses de febrero a mayo y en especial durante los meses de abril y mayo, la vegetación tiene un color pardo amarillento o café, que cambia a un follaje verde a partir de junio (Flores y Espejel, 1994).

Entre las principales especies presentes en la SBC podemos encontrar las siguientes plantas: *Alvaradoa amorphoides*, *Bauhinia divaricata*, *Bauhinia unguolata*, *Bumelia retusa*, *Bursera simaruba*, *Caesalpinia gaumeri*, *Caesalpinia platyloba*,

Caesalpinia yucatanensis, *Cassia emarginata*, *Cochlospermum vitifolium*, *Diospyros cuneata*, *Gymnopodium floribundum*, *Guazuma ulmifolia*, *Gyrocarpus americanus*, *Jatropha gaumeri*, *Metopium brownei*, *Maclura tinctoria*, *Mimosa bahamensis*, *Neomillspaughia emarginata*, *Pluchea speciosa* y *Randia longiloba*. También existen algunas epífitas que pertenecen a las familias bromeliaceae, cactaceae y orchidaceae (Flores y Espejel, 1994). Esta comunidad limita con el manglar, duna costera, selva mediana subcaducifolia y sabana (Rzedowski, 1986; Flores y Espejel, 1994).

La vegetación nativa de Yucatán ha sido utilizada para la alimentación de rumiantes, incluyendo cabras, por cientos de años, desde que estos animales fueron introducidos a esa región. Sin embargo, es poco lo que se ha estudiado del hábito de consumo de los rumiantes cuando pastorean esta vegetación. Entre los estudios que se han realizado Ríos y Riley (1985) reportan las especies de plantas seleccionadas por las cabras pastoreando SBC con una edad aproximada de 10 años. Estos autores emplearon el tiempo total que emplean las cabras al comer diferentes clases de vegetación y especies de plantas mediante la observación directa del ramoneo durante la estación de seca. También evaluaron el cambio en el valor nutritivo de las plantas seleccionadas. En tal estudio se reportaron 56 especies de plantas en el área de estudio durante los siete meses que realizaron observaciones. Las plantas reportadas se dividen en: 24 arbustos, 22 plantas herbáceas y 10 enredaderas. Recientemente se ha reportado que durante la época de seca las cabras adultas consumen un total 31 especies de plantas, de las cuales, fueron 17 arbustos, 8 herbáceas dicotiledóneas, 3 gramíneas y 3 pastos (González-Pech et al., 2015) y en la época de lluvias consumen un total de 50 especies de plantas de las cuales 20 son arbustos, 12 herbáceas, 11 pastos, 6 enredaderas y un árbol (Ventura-Cordero, 2016).

2.3. Metodología para determinar la infectividad de la pradera

La infectividad por los NGI de una pradera, es un elemento clave del conocimiento epidemiológico para controlar a estos parásitos. La infectividad de una pradera resulta de la cantidad de huevos que son depositados en las heces de los rumiantes

y de la capacidad de estos huevos de transformarse sucesivamente en larvas 1, 2 y 3, siendo estas últimas (L_3) las que salen de las heces y migran hasta llegar a las hojas para infectar a los rumiantes que las consumen junto con el follaje (Aguilar-Caballero et al., 2011). Para que la migración de las larvas pueda efectuarse es necesario que se presenten las condiciones propicias de humedad relativa (80%) y temperatura promedio (28°C). Como ya se mencionó, las larvas L_3 tienen la capacidad de desplazamiento vertical que puede superar los 90 cm y en sentido horizontal los 10 cm (Hansen y Perry, 1994) y este desplazamiento resulta del fototropismo positivo a la luz tenue y negativo a la luz intensa, así como del hidrotropismo positivo. Dicha información ha sido obtenida en praderas de gramíneas de clima templado como modelo de estudio epidemiológico de NGI en rumiantes (Hansen y Perry, 1994). No existen trabajos sobre migración de larvas L_3 en praderas diferentes a las gramíneas. En gramíneas diversos trabajos reportan que el material más infectante para los pequeños rumiantes se encuentra en las partes bajas (Soulsby, 1987; Delgado, 1989; Hansen y Perry, 1994). Los rumiantes se infectan con NGI a través de las larvas infectantes (L_3) ingeridas con los follajes, por lo que la tasa de infección representa el número de larvas infectantes de NGI ingeridas a partir de la vegetación por día de alimentación de un rumiante. Esta variable epidemiológica es de gran importancia y puede determinar la cantidad de NGI que infectan a los rumiantes en pastoreo (Torres-Acosta, 1999). Dos estrategias son utilizadas para conocer la infectividad de las praderas:

(a) La primera consiste en identificar la contaminación del material ingerido por los animales estimándolo directamente de la vegetación. Para ello se toman muestras de los pastos y en ellos se identifica y cuantifican las larvas L_3 presentes. Para estimar la contaminación por NGI de la vegetación, es necesario considerar que la distribución de las larvas en pastos es altamente discontinua. Por lo tanto los métodos de muestreo requieren un elevado número de muestras y ser representativos de la pradera (Rodríguez-Vivas y Cob Galera, 2005). Esta metodología recomendada para los pastos tiene desventajas en la vegetación heterogénea de la SBC, ya que no todas las plantas son consumidas. Además, generalmente se desconoce la cantidad o proporción que cada especie representa

en el consumo total. Adicionalmente, la distribución vertical del consumo y larvas de NGI es altamente variable.

(b) La segunda estrategia consiste en la identificación y cuantificación de los parásitos adultos en animales centinelas que han sido criados libres de NGI (sin premunidad) y por lo tanto, sin sesgo en la cantidad de NGI que pueden captar de la pradera. Debido a que esta metodología es más adecuada para la vegetación heterogénea de la SBC, se procederá a explicar con más detalle su aplicabilidad.

- *Producción de animales centinelas.* De acuerdo a Torres-Acosta (1999) para tener animales centinelas es necesario mantenerlos libres de nematodos desde el nacimiento. Esto implica que los animales permanezcan en corrales con piso de cemento o en jaulas con piso elevado desde el nacimiento. Los cabritos permanecen con su madre los primeros tres días de vida, para que se de un buen consumo de calostro. Posterior a los primeros tres o cuatro días, la madre solo entrará al corral una hora por la mañana y una por la tarde para amamantar a su cría hasta el destete, aproximadamente a los dos meses. Las heces de las madres deben de limpiarse diariamente. A partir de los 15 días de vida, los centinelas se alimentan con un alimento balanceado y follaje de árboles forrajeros como *Brosimum alicastrum* o heno de algún pasto no expuesto a pastoreo. Para mayor seguridad, cada 15 días se les toma muestras fecales para confirmar que los centinelas mantienen su estado libre de parásitos.
- *Pastoreo de animales centinelas.* A partir de los dos meses de edad los animales pueden ser destetados y expuestos a pastoreo en alguna pradera que se quiera evaluar durante un periodo de 28-30 días, con una duración de 5-8 horas diarias. Al final del periodo de exposición, los animales se aíslan en corrales de cemento o jaulas elevadas durante 21 días. En ese tiempo se alimentan con una dieta integral que incluya forraje de plantas que no se hayan expuesto a las heces de rumiantes que eliminen huevos de NGI.
- *Sacrificio de animales centinelas.* Al final de este periodo estos animales son sacrificados humanitariamente con el fin de asegurar que todas las larvas

infectantes ingeridas al pastorear durante el periodo de exposición lleguen a nematodos adultos al momento del sacrificio y colección de los mismos.

- *Obtención post-mortem de parásitos de los centinelas.* Después del sacrificio se obtienen 3 secciones del tracto gastrointestinal (TGI): (i) abomaso, (ii) intestino delgado y (iii) grueso. Estas secciones se retiran del mesenterio y se ligan en sus extremos a fin de evitar el paso de los NGI de una sección a otra. Una vez ligados los órganos, se separan del animal y cada sección se deposita en una bandeja para ser procesado por separado. En el caso del intestino grueso solo se utiliza la primera mitad y la sección posterior se desecha, debido a que los nematodos que habitan en el intestino grueso se concentran en el ciego y la sección anterior del colon. Cada sección del TGI, se abre a lo largo a fin de exponer la mucosa, el contenido se deposita en una charola, y la mucosa se lava bajo corriente de agua frotándose cuidadosamente con los dedos, con el fin de remover cualquier parásito adherido a ella, el contenido de este lavado se colecta con el mismo recipiente del contenido inicial. El contenido total se pasa por un tamiz, que en el caso del contenido del abomaso e intestino delgado, es un tamiz No 400 (0.034mm) y en el caso del intestino grueso, un tamiz No 200 (0.073mm). El contenido del tamiz se lava con agua para eliminar toda partícula que dificulte la lectura. Finalmente, el contenido del tamiz retenido se deposita en un recipiente limpio correctamente identificado. El material se fija en formol al 10% en caso de no ser leído inmediatamente (MAFF, 1986).
- *Conteo de los NGI de los contenidos del TGI.* Cada uno de los contenidos abomasales e intestinales se afora a 2 litros añadiendo agua (Hansen y Perry, 1994). Para evitar la inhalación de vapores de formalina, todo el material se lava en un tamiz antes de diluirlo. El contenido total se agita vigorosamente y se procede a tomar 5 alícuotas de 40 ml haciendo un total del 10% del contenido total (Torres-Acosta et al., 2015). Se toman pequeñas cantidades de esta muestra y se colocan en una caja de Petri previamente marcada con líneas paralelas de 1 cm de separación (superficie externa de la base). Se cuentan los nematodos utilizando un estereoscopio con aumentos del 1.6x y 4x. Debido a que se usa el 10% del total del contenido, el número total de parásitos encontrados en la

muestra se multiplica por 10 con la finalidad de estimar el número total de NGI presentes en cada sección del TGI.

- *Identificación de NGI.* Se identifica el género y la especie de los parásitos, con la ayuda de un microscopio compuesto. Esta identificación se realiza de acuerdo a las características descritas por Barth y Visser (1991).

2.4. Metodología para estimar el consumo voluntario y la composición de la dieta

La observación directa es un método que nos permite conocer cuales alimentos (especies de plantas y porciones de las plantas) son efectivamente consumidos por los animales en situación de libre elección y alta heterogeneidad de las plantas, esta técnica se utiliza para caracterizar la ingestión, estimar cuantitativamente el consumo y conocer el valor alimentario de las cabras en una vegetación heterogénea (González y Agreil, 2012). Se observa el pastoreo de un animal del rebaño identificando las plantas que consume y el tipo de bocado ingerido, esta información es almacenada y representada con íconos de bocado para cada especie de planta.

En la observación directa, se espera que los grupos de pastoreo tengan el mismo manejo que se acostumbra en la granja (Agreil y Meuret, 2004). La implementación de esta metodología puede resumirse en los siguientes tres pasos como los describen Agreil y Meuret (2004).

1. Acostumbramiento de los animales a la presencia de(l) observador(es): Para ello, la presencia del observador se aumenta gradualmente, variando el horario de su presencia con el rebaño y su posición con respecto a la del rebaño. Esta fase se considera acabada una vez que el observador es capaz de circular alrededor y al interior del rebaño observando la ingestión sin provocar interrupciones en la actividad de los animales.
2. Identificación de categorías de bocados. Se utiliza la tabla de categorías de bocados de Agreil y Meuret (2004) adaptada a las condiciones de la selva baja subcaducifolia efectuada por González-Pech et al., (2014). Esta reconoce las partes de las plantas y sus dimensiones de tamaño.

3. Observación directa de la ingestión: En esta se codifica en tiempo real la integralidad de bocados observados en las cabras; distinguiendo las especies de plantas y las categorías de bocados (CB). Las CB son simuladas por cosecha manual (De Vries, 1995) para estimar el peso de los bocados y obtener una buena estimación de la ingestión.

2.5. Asociación entre la infectividad observada y la dieta consumida por cabras en SBC

Los trabajos que han evaluado la infectividad por NGI en la vegetación de la SBC del trópico subhúmedo de México, se han basado en las cantidades de parásitos obtenidos al sacrificar animales centinelas en pastoreo de SBC (Torres-Acosta et al., 2004; Torres-Acosta y Aguilar-Caballero 2006; Martínez-Ortíz-de-Montellano et al., 2010). La utilización de animales centinelas es una metodología convencional en la determinación de la infectividad de praderas heterogéneas. Los animales centinelas son criados libres de NGI, por lo que carecen de memoria inmunológica (premunidad) que influya en la cantidad de parásitos que se establecen en el tracto gastrointestinal (Martínez-Ortíz-de-Montellano et al., 2010). Sin embargo, los centinelas *per se* no vinculan la infectividad observada en cada animal con el consumo global de biomasa de las diferentes plantas consumidas. Esto es particularmente difícil considerando que los caprinos con experiencia de pastoreo en la SBC, pueden consumir más de 60 especies de plantas diferentes en época de lluvias. Esta riqueza de especies consumidas ocasiona que se desconozca cuales son las especies de plantas que contribuyen con la infectividad por larvas L₃ de NGI en situación de pastoreo de SBC. Así mismo la sola utilización de animales centinelas tampoco permite conocer si la infectividad esta relacionada con la morfología o forma de crecimiento de las plantas consumidas, es decir, que sean arbustivas, herbáceas, enredaderas o gramíneas. Tampoco permite establecer la posible relación entre el estrato (altura del follaje) consumido y la cantidad de parásitos observada en el hospedero.

El método de observación directa (DOM) recientemente ha sido adaptado a las condiciones de la SBC de Yucatán, México. Esta adaptación también puede

utilizarse para identificar con detalle las plantas y partes de plantas que consumen los centinelas al pastorear en la SBC. Los estudios recientes presentan un avance con respecto a lo efectuado en los últimos 30 años pues presentan la contribución cuantitativa (gramos de materia seca) que aportan gramíneas, enredaderas, arbustivas y herbáceas en la ingestión de pequeños rumiantes (González Pech et al., 2015; Ventura-Cordero, 2016). El método de observación directa pudiera permitir conocer la contribución de los diferentes tipos de plantas en la materia vegetal ingerida, lo que a su vez guardaría relación con la infectividad por NGI. Esta metodología, aplicada a los animales centinelas pudiera servir para relacionar la carga *post-mortem* de NGI resultante del pastoreo de la vegetación de la SBC. En consecuencia el presente trabajo presenta un novedoso enfoque al estudio de la relación entre el comportamiento de ingestión y la infectividad de la pradera heterogénea. Todos estos elementos pudieran ayudar a determinar cuales son los recursos forrajeros que pueden ser infectantes para los caprinos ramoneando en la SBC. Hasta el momento de elaborar el presente estudio, no existía información que vincule el consumo de cabras en pastoreo de vegetación heterogénea con la infectividad por NGI de esa misma vegetación. Los pocos estudios efectuados solo involucran estos temas de investigación de manera separada. Si se conjunta ésta información, se pudiera contribuir a entender el efecto de la diversidad de especies vegetales, formas de vida de las plantas y estratos de altura de los follajes consumidos sobre la epidemiología de los NGI en el ecosistema de SBC. Toda esta información puede servir como base para establecer estrategias de control de NGI basadas en la infectividad de la pradera.

III. HIPÓTESIS

La conducta ingestiva asociada a un mayor consumo de especies de plantas del estrato bajo, repercute en una mayor infectividad por nematodos gastrointestinales en cabritos centinelas pastoreando selva baja caducifolia durante la época de lluvias.

IV. OBJETIVO

Determinar el efecto de la conducta ingestiva de cabritos centinelas pastoreando selva baja caducifolia sobre su infectividad por nematodos gastrointestinales durante la época de lluvias.

V. REFERENCIAS

Agreil, C., 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 Res.* 54, 99-113.

Aguilar-Caballero, A.J., Torres-Acosta, J.F.J., Cámara Sarmiento, R., Hoste, H., Sandoval-Castro, C.A., 2008. Inmunidad contra los nematodos gastrointestinales: la historia caprina. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 9, 73-82.

Aguilar-Caballero, A. J., Cámara-Sarmiento, R., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. 2011. El control de los nematodos gastrointestinales en caprinos: ¿dónde estamos? *Bioagroc*, 4, 10-16.

Barth, D., Visser, M. 1991. Magen-Darm-dematoden des Rindes. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Germany, pp. 104.

Bresier, R.B., Dunsmor, J. D. 1993. The ecology of *Haemonchus contortus* in a winter rainfall region in Australia: the development of eggs to infective larvae. *Vet Parasitol.* 45, 275-292.

Cuellar, A. 1986. Parasitosis del aparato digestivo, en: Pijoan, P. y Tortora, J. Principales enfermedades de los ovinos y caprinos. UNAM. México, D.F. Pp. 103-118.

Delgado, A. 1989. Comportamiento de las larvas de estrongilatos del bovino en el ambiente externo y su importancia en el control de estas helmintosis. *Rev. Cub. Cienc. Vet.* 20: 127-142.

De Vries W.M.F. 1995. Estimating Forage intake and quality in grazing cattle: A reconsideration of the hand-plucking method. *Jour. Range Manag.* 48, 370-375.

Flores, J.S., Espejel, I. 1994. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. *Etnoflora Yucatanense Fasc. 3.* México. Editorial UADY.

González-Pech, P., Agreil, C. 2012. Characterization of intake by direct observation in ewes flocks of southeastern France. *Archivos de Zootecnia*, 61, 343-354.

González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., 2014. Adapting a bite coding grid for small ruminants browsing a deciduous tropical forest. *Subtrop. Agroecosyst.* 17, 63-70. *Trop.*

González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., 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 Res.* 133, 128-134.

Hansen, J., Perry, B. 1994. The epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of ruminants. 2. International Laboratory for Research on Animal Disease. Nairobi, Kenya. 171 pp.

Khadijah, S., Kahn, L.P., Walkden-Brown, S.W., Bailey, J.N., Bowers, S.F. 2013. Soil moisture influences the development of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* to third stage larvae. *Vet. Parasitol.* 196, 161-171.

Liebano H.E., Vasquez P.V., Fernandez R.M. 1998. Sobrevivencia de larvas de *Haemonchus contortus* en clima subhúmedo en México. 29: 245-249.

MAFF, 1986. Helminthology. In: Manual of Veterinary Parasitological Laboratory Techniques. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Her Majesty's Stationary Office. London, UK. pp 1-65.

Marley, C. I., Cook, R., Barrett, J., Keatinge, R., Lampkin, N.H. 2006. The effects of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) and chicory (*Cichorium intybus*) when compared with perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on ovine gastrointestinal parasite development, survival and migration. *Vet. Parasitol.* 138, 280-290.

Martínez-Ortiz-de-Montellano, C., Vargas-Magaña, J.J., Canul-Ku, H.L., Miranda-Soberanis, R., Capetillo-Leal, C., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Torres-Acosta,

J.F.J. 2010. Effect of a tropical tannin-rich plant *Lysiloma latisiliquum* on adult populations of *Haemonchus contortus* in sheep. *Vet. Parasitol.* 172, 283-290.

Miranda, F. 1958. Estudios acerca de la vegetación. *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, 2, 215-171.

Quiroz, R.H. 1988. Parasitología y enfermedades parasitarias de animales domésticos. Editorial LIMUSA. México, D.F.

Rios, G., Riley, J.A. 1985. Estudios preliminares sobre la producción caprina con dietas a base de ramoneo en monte bajo en la zona henequenera de Yucatán. I. Selección y valor nutritivo de las plantas nativas. *Trop. Anim. Prod.* 10, 1-11

Rodríguez-Vivas, I., Cob-Galera, L.A., 2005. Técnicas diagnósticas en parasitología veterinaria. Segunda edición. Universidad Autónoma de Yucatán. P. 49.

Rossanigo, C.E., Gruner, L. 1995. Moisture and temperature requirements in faeces for the development of free-living stages of gastrointestinal nematodes of sheep, cattle and deer. *J. Helminthol.* 69, 357-362.

Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Primera edición. Tercera reimpresión. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, D.F.

Silva, B.F., Amarante, M.R.V., Kadri, S.M., Carrijo-Mauad, J.R. Amarante, A.F.T. 2008. Vertical migration of *Haemonchus contortus* third stage larvae on *Brachiaria decumbens* grass. *Vet. Parasitol.* 158, 85-92

Soulsby, E.J. 1987. Parasitología y enfermedades parasitarias en los animales domésticos. 7ª Ed. Interamericana. México, D.F. pp. 169-239.

Torres-Acosta, J.F.J., Domínguez J.L. 1989. Estudio epizootológico de la parasitosis gastrointestinal de caprinos sometidos a un método de control estratégico en la FMVZ-UADY. Memorias del VI Congreso Nacional de la Asociación de Técnicos Especialistas en Caprinos, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México; 46-52.

Torres-Acosta, J.F.J. 1999. Supplementary feeding and the control of gastrointestinal nematodes of goats in Yucatán, México. Tesis de doctorado. The Royal Veterinary College. University of London.

Torres-Acosta, J.F.J. 2000. Utilizando la suplementación como una estrategia para el control de la nemátodiasis gastrointestinal en caprinos y ovinos. En: 1er Curso Internacional: Nuevas perspectivas en el diagnóstico y control de nematodos gastrointestinales en pequeños rumiantes. Del 16 al 18 de noviembre del 2000. Universidad Autónoma de Yucatán. pp 57-65.

Torres-Acosta, J.F.J., Jacobs, D.E., Aguilar-Caballero, A., Sandoval-Castro, C., May-Martínez, M., Cob-Galera, L.A., 2004. The effect of supplementary feeding on the resilience and resistance of browsing Criollo kids against natural gastrointestinal nematode infections during the rainy season in tropical Mexico. *Vet. Parasitol.* 124, 217–238.

Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J. 2006. Infectividad larvaria en la vegetación nativa de Yucatán, México. En: 4° Curso Internacional: Epidemiología y Control Integral de Nematodos Gastrointestinales de Importancia Económica en Pequeños Rumiantes. Del 18 al 21 de abril de 2006. Fundación produce Yucatán A.C. pp 17.23.

Torres-Acosta, J.F.J., Vargas-Magaña, J.J., Chan-Pérez, J.I., Aguilar-Caballero, A.J., Alonso-Díaz, M.A., Ojeda-Robertos, N.F. 2015. Recuperación de Helmintos a la Necropsia. En: Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. (Ed. R. I. Rodríguez-Vivas). Pp. 158-199. AMPAVE-CONASA. Mexico.

Urquhart, G.M., Armour, J., Duncan, J.L., Dunn, A.M., Jennings, F.W. 1996. *Vet. Parasitol.* 2nd ed. Oxford, U.K.:Blackwell Science Ltd.

Vázquez, B.M., Najera, R. 1986. Variación mensual de nematodos gastroentéricos en ovinos de clima tropical húmedo. *Téc. Pec. Méx.* 51: 18-27.

Ventura-Cordero, J. 2016. Conducta ingestiva de pequeños rumiantes en la selva baja caducifolia y su relación con la infección de nematodos gastrointestinales. Tesis de doctorado. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.

VI. ARTICULO CIENTÍFICO

Conducta ingestiva de cabritos centinelas y su relación con la infectividad por nematodos gastrointestinales en la selva baja caducifolia durante la época de lluvias

Paúl Rogelio Jaimez-Rodríguez¹, Pedro Geraldo González-Pech^{1,2}, Javier Ventura-Cordero^{*1,2}, Carlos Alfredo Sandoval-Castro¹, Juan Felipe de Jesús Torres-Acosta¹

1Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, CCBA. Universidad Autónoma de Yucatán, km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil, Mérida, Yucatán, México.

2Centro de Multidisciplinario de Educación Ciencia y Cultura SCP, Calle 35c No 43, 97215 Fraccionamiento Colonial Buenavista, Mérida, Yucatán, México,

Este manuscrito fue elaborado de acuerdo a las instrucciones para autores de la revista Veterinary Parasitology

RESUMEN

Se estudió la relación entre la conducta ingestiva de cabritos centinelas y la infección con nematodos gastrointestinales (NGI) en la selva baja caducifolia (SBC) en época de lluvias. Se utilizaron seis pares de cabritos centinelas (19.5 ± 2.5 kg) criados libres de NGI. Cada 15 días un par fue expuesto al pastoreo de la SBC durante 4 h y además de 200 g de alimento balanceado (16% proteína cruda). La observación directa sirvió para estimar el consumo de materia seca (CMS) de plantas con diferentes formas de vida (gramíneas, enredaderas, arbustos y herbáceas) y la altura del estrato consumido: bajo (<25 cm), medio (26-50 cm) y alto (>50 cm). Se recuperaron los parásitos del tracto gastrointestinal, postmortem. Se compararon las variables de las semanas 1-7 (P1) vs. semanas 8-14 (P2). La temperatura ambiental y precipitación pluvial fueron menores en el P2 ($P < 0.05$). El total de NGI por centinela fue menor en P1 (mediana = 16; rango = 40-620) vs. P2 (mediana = 1310; rango = 540-1890) ($P < 0.05$). El 51% de los NGI fueron *Haemonchus contortus*, 41.2% *Trichostrongylus colubriformis*, 3.2% *Cooperia curticei*, 4.4% *Oesophagostomum columbianum* y 0.08% *Trichuris* spp. El CMS fue de 467.1 ± 133 g/día y fue similar entre P1 y P2 ($P > 0.05$). El CMS se distribuyó en herbáceas (<1%), enredaderas (1.4%), arbustos (34.5%) y gramíneas (62.6%). El 13.8%, 19.3% y 66.8% del CMS se obtuvo de los estratos alto, medio y bajo, respectivamente. El consumo de arbustivas del estrato alto fue 80.6 g vs. 45.5 g MS, P1 vs. P2 respectivamente ($P < 0.05$). Aun cuando las condiciones medioambientales fueron favorables para las larvas de vida libre, se observó mayor infección por NGI durante P2, lo que pudo deberse a la acumulación gradual de L₃. El comportamiento de ingestión de arbustivas de estrato alto se relacionó con menor infectividad.

Palabras clave: selva baja caducifolia, cabras, consumo, centinelas, nematodos gastrointestinales

1. INTRODUCCIÓN

Los nematodos gastrointestinales (NGI) representan un problema importante en la producción y salud de los pequeños rumiantes en pastoreo. Para su control se requiere generar datos epidemiológicos que permitan identificar las épocas de mayor infectividad de la pradera y las fuentes de forraje que pudieran ser las que la ocasionan. A pesar de ser una pieza clave para el control adecuado de las poblaciones de NGI, son pocos los trabajos que han explorado la infectividad por NGI en la selva baja caducifolia (SBC) pastoreada por rebaños de pequeños rumiantes (Torres-Acosta et al., 2004; Torres-Acosta y Aguilar-Caballero 2006; Martínez-Ortíz-de-Montellano et al., 2010). Estos trabajos identificaron la riqueza y abundancia de especies de NGI en cabritos y corderos consumiendo follaje de la SBC (Torres-Acosta et al., 2000; Torres-Acosta y Aguilar-Caballero, 2006).

Los estudios, realizados en las zonas centro y sur de Yucatán, México, utilizaron cabritos o corderos centinelas demostrando que los principales NGI son: *Haemonchus contortus* en abomaso, *Trichostrongylus colubriformis*, *Cooperia* spp. y *Strongyloides papillosus* en intestino delgado y *Oesophagostomum columbianum* junto con *Trichuris* spp. en intestino grueso. También se demostró que los cabritos centinelas se infectan con mayor cantidad de NGI durante la época de lluvia que durante la de seca ($P < 0.05$). Lo anterior confirma que los mayores niveles de infectividad coinciden con los momentos en los que la temperatura y humedad ambiental favorecen al desarrollo de los parásitos en las zonas tropicales (Besier y Dunsmore, 1993). Una humedad relativa superior al 80%, la temperatura promedio de 28 °C y la precipitación pluvial constante, favorecen la eclosión de los huevos de NGI y el desarrollo de las larvas en los distintos estadios (L₁, L₂, y L₃) (Rossanigo y Gruner, 1995). Las mismas condiciones permiten que las L₃ migren de la materia fecal a las hojas de las plantas (Silva et al., 2008). La capacidad de migración de larvas es de gran importancia ya que determinan el potencial infectante de las plantas y esto determina el contacto hospedero-parásito (Delgado, 1989). Sin embargo, los datos reportados por Torres-Acosta y Aguilar-Caballero (2006) muestran que existen animales centinelas, criados libres de NGI, que no se infectan por NGI en la SBC, durante la época de lluvias una vez que esta se ha establecido

(entre junio y agosto). Lo anterior sugiere que a pesar de existir óptimas condiciones ambientales para el desarrollo de los NGI, éstos no están presentes durante toda la época de lluvias por lo que es posible encontrar animales no infectados. Esto pudiera sugerir que la infectividad parece aumentar gradualmente conforme avanza la época de lluvia. Tal efecto de acumulación de larvas infectantes ha sido reportado para NGI en praderas pastoreadas por rumiantes en clima templado (Urquhart et al., 1996). Sin embargo, otra posible explicación pudiera encontrarse en las especies de forrajes consumidas por los animales en época de lluvias en la SBC, la cual por presentar diversas arquitecturas, pudieran ser consideradas como menos favorables para la infectividad por NGI.

Estudios de conducta ingestiva basados en la observación directa demuestran que las cabras ramoneando en la SBC pueden consumir hasta 61 especies de plantas, incluyendo diferentes formas de vida o hábitats como los arbustos (20), herbáceas (12), gramíneas (11), enredaderas (6) y un árbol (Ventura-Cordero, 2016). Esta vegetación está disponible en múltiples estratos incluyendo el rastrero, follaje de altura media y follaje elevado (Miranda, 1958). Esta vegetación heterogénea puede ser investigada con el uso de cabritos centinelas, aunado al método de observación directa, para identificar las plantas o partes de las mismas que son relevantes en la infectividad por NGI en la época de lluvias. Con ello se puede definir si la infectividad de la SBC en época de lluvia se puede atribuir al consumo de plantas de algún estrato en particular, como por ejemplo el estrato bajo como se reporta para las praderas de gramíneas (Soulsby, 1987; Delgado, 1989; Hansen y Perry, 1994). Por lo tanto, el presente estudio determinó el efecto de la conducta ingestiva de cabritos centinelas pastoreando/ramoneando selva baja caducifolia sobre su infectividad por NGI durante la época de lluvias.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (CCBA-UADY) en Mérida,

Yucatán, México. El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano AW. El estudio duró 14 semanas (Agosto 11 a Noviembre 6 de 2015).

2.2. Datos medioambientales

Los datos medioambientales temperatura, humedad y precipitación pluvial en el periodo de estudio fueron obtenidos de la base de datos de CONAGUA (2015). El número de horas de sol desde el amanecer hasta la salida de los animales a pastorear fueron calculadas utilizando los datos de salida del sol (amanecer) obtenidos en la página web (<http://www.timeanddate.com>) y la hora de salida a pastoreo.

Adicionalmente, se obtuvo la información del microclima (temperatura máxima, mínima y humedad máxima y mínima) a nivel de los animales utilizando tres equipos de medición en tiempo real (data-loggers Lascar© Modelo EI_USB_2), colocados en respectivos animales durante las 4 horas que pastoreaban en el mismo rebaño siguiendo el mismo circuito de pastoreo de los centinelas. Estos equipos fueron programados para registrar la temperatura y humedad cada 5 minutos.

Se dividió el estudio en dos periodos que permitieran realizar comparaciones en términos de infectividad. El Periodo 1 del estudio comprendió las semanas 1 a 7 (10-Agosto-2015 al 25-septiembre-2015) y el Periodo 2 del estudio incluyó las semanas 8 a 14 (21-septiembre-2015 al 6-noviembre-2015).

2.3. Animales centinelas.

Se utilizaron 6 pares de cabritos criollos de aproximadamente 2 meses de edad (19.5 ± 2.5 kg), criados libres de NGI desde el nacimiento. Para esto, se colocaron en corrales con piso de cemento desde el nacimiento para evitar posibles infecciones accidentales, y se alimentaron con leche de sus madres en un sistema de nodrizaje individual. Además de leche materna se les proporcionó alimento balanceado y follaje de *Penisetum purpureum* (pasto Taiwán) de praderas sin pastoreo. Además recibieron agua potable *ad libitum*. Al cumplir el mes de edad, cada semana se tomaron muestras de heces a los animales para verificar que

estuvieran libres de NGI. Estos animales se mantuvieron en estas condiciones hasta su uso como centinelas.

2.4. Método de observación directa.

2.4.1 Familiarización con centinelas y animales del grupo de pastoreo

Los observadores de la conducta ingestiva acostumbraron a los animales del rebaño de estudio a su presencia constante. Para esto los observadores entraron al corral con los animales diariamente para que los animales se familiaricen a ser observados y perdieran el temor y el interés por los movimientos y vocalizaciones de los observadores (Agreil y Meuret, 2004). Una vez que la presencia de los observadores no alteró las actividades de los animales (aproximadamente 1 metro entre el animal y el observador), se consideró que los animales estaban familiarizados. También, los observadores estuvieron con los animales centinelas una hora diariamente. Durante esa semana de familiarización las horas de visita fueron variando para evitar que los animales relacionen la hora con la presencia de los observadores. El objetivo era que se familiaricen a ser observados y pierdan el temor y el interés por los movimientos y vocalizaciones de los observadores. Este proceso terminó al momento en el que el observador fue capaz de hablar y moverse alrededor de cada centinela acompañándolo desde una distancia aproximada de un metro sin afectar su conducta.

2.4.2. Capacitación en la identificación de especies de plantas y tipos de bocados

Los observadores recibieron capacitación durante un mes para aprender a identificar las diferentes especies de plantas presentes en la SBC, para ello se contó con el apoyo del personal del herbario de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UADY. Al mismo tiempo de este entrenamiento, los observadores también se capacitaron en la identificación de categorías de bocados que efectúan las cabras durante el pastoreo de este tipo de vegetación. Para ello se utilizó la tabla de bocados adaptada a las condiciones de SBC de González-Pech et al. (2014).

2.5. Exposición de centinelas a la vegetación de la pradera

Cada 15 días se liberaron dos animales centinelas. Los animales fueron observados durante el pastoreo (el pastoreo incluye el consumo de gramíneas y herbáceas y ramoneo de arbustivas) mediante el método de observación directa para identificar las plantas que consumieron y los tipos de bocados consumidos (González-Pech et al., 2014). Los centinelas permanecieron tres semanas en las praderas que ramoneaban las cabras del rebaño de la FMVZ-UADY que habían sido previamente familiarizadas. El rebaño constaba de 24 cabras adultas. Los centinelas fueron claramente identificados para que puedan ser observados sin interrupción desde una distancia máxima de un metro. Se procedió a registrar las especies de plantas consumidas y los tipos de bocados que realizaron. Además se registró la altura del estrato de follaje consumido de cada especie de planta en tres categorías: Estrato bajo (0-25 cm), Estrato medio (26-50 cm) y Estrato alto (> 50 cm). La altura de los estratos fue seleccionada por conveniencia, ajustando a 25 cm para incluir el follaje de la mayoría de los pastos nativos de la SBC de Yucatán que son de baja altura, las herbáceas que tienen alturas de aproximadamente hasta 50 cm y las arbustivas que generalmente tienen follaje a alturas > 50 cm. Se observaron los tipos de bocados efectuados por los animales y se registró en una grabadora de audio. Esta información se almacenó para su posterior captura y análisis.

2.6. Obtención de parásitos adultos *post-mortem*

Finalizadas las tres semanas de pastoreo de cada par de centinelas, estos se colocaron en un corral con piso de cemento durante 25 días, tiempo necesario para permitir el desarrollo y maduración de los NGI consumidos durante el período de pastoreo (3 semanas). Posteriormente, los animales se sacrificaron de forma humanitaria según la Norma Oficial Mexicana (NOM-ZOO-033) recuperando el abomaso, intestino delgado e intestino grueso de cada centinela. Estas secciones fueron procesadas por separado para obtener los parásitos adultos presentes en las diferentes porciones del tracto gastrointestinales mediante la técnica descrita por MAFF (1986) y modificada de acuerdo a Torres-Acosta et al. (2015). Cada sección fue tratada por separado, lavando exhaustivamente la mucosa bajo corriente de

agua. Los contenidos y el lavado fueron tamizados (tamiz #200 0.075 mm) y se colocaron en un frasco de plástico. Posteriormente se fijaron con formol al 10% para su posterior conteo e identificación.

2.7. Conteo e identificación de nematodos gastrointestinales

Cada uno de los contenidos, fue lavado con agua corriente para eliminar el formol y evitar su inhalación por las personas contando los parásitos. Cada contenido se aforó a un mismo volumen total de agua (2 L), homogenizando el contenido diluido antes tomaron cada una de las 5 alícuotas de 40 ml. Estas alícuotas resultan en un total del 10% del contenido total que fue revisado en pequeñas porciones con la ayuda de un estereoscopio para la obtención de los nematodos gastrointestinales, los cuales fueron contados y sexados (Torres-Acosta et al., 2015). También se identificó el género y la especie, esto fue únicamente con los nematodos machos obtenidos de las alícuotas de cada uno de los contenidos. Para esto se identificaron 30 parásitos machos por contenido. En el caso de que la cantidad de parásitos machos recuperados en algún centinela fuera menor a 30, se identificó el total obtenido.

2.8. Estimación de la cantidad de larvas L₃ por kg de Materia Seca consumida

La cantidad de larvas L₃ por kg de MS consumida se estimó dividiendo la cantidad total de parásitos contabilizados post-mortem en cada cabrito entre la cantidad de MS consumida en promedio por el respectivo animal. Dicha estimación no consideró la proporción de larvas L₃ que fueron consumidas pero no se establecieron en los animales centinelas.

2.9. Análisis estadísticos

Las variables de factores ambientales (temperatura, precipitación pluvial y humedad), cantidad de NGI obtenidos del tracto gastrointestinal y el consumo de materia seca (estratos y habilidad de las plantas) fueron analizadas usando las pruebas estadísticas Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad en la distribución de los datos. También se analizó el supuesto de homogeneidad de

varianza por la prueba de Levene. Todas las variables resultaron con una distribución normal. Se realizaron comparaciones mediante la prueba de T entre las variables registradas en las semanas 1-7 (Periodo 1 del estudio) y las registradas entre la semana 8-14 (Periodo 2 del estudio). Se compararon los valores de precipitación pluvial acumulada (mm), temperaturas mínimas y máximas (°C), humedad (%) obtenidos del meteorológico de Mérida, así como la cantidad de minutos desde el amanecer hasta el inicio de pastoreo (min). También se compararon los valores de temperatura y humedad registrados con los Data-loggers obtenidos en tiempo real en el momento de pastoreo de los animales. Adicionalmente se compararon los datos obtenidos en las dos partes del estudio en relación al consumo de MS total, consumo de MS del follaje de diferentes tipos de vida (gramíneas, herbáceas y arbustivas) y de diferentes estratos de altura (bajo, medio y alto). Por último, la prueba no-paramétrica de Mann-Whitney sirvió para comparar la cantidad de parásitos en los centinelas en los dos periodos del estudio. La cantidad de días con lluvia en ambos periodos fue comparada mediante chi cuadrada utilizando una tabla de contingencia 2 x 2 del programa Win-Episcope. Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico R (R core team, 2013).

3. RESULTADOS

3.1 Datos climáticos en el sitio de estudio

La precipitación pluvial acumulada durante todo el periodo de estudio fue de 244.8 mm. En total hubo 36 días de lluvia en todo el periodo de estudio, es decir llovió en el 41% de los días del estudio. Sin embargo, durante el Periodo 1 del estudio, esto es de la semana 1-7, la precipitación acumulada fue mayor que durante el Periodo 2 del estudio (semana 8 a 14) (173.1 mm vs. 71.7 mm respectivamente; $P < 0.05$). En el Periodo 1 del estudio llovió 22 días (47.8%) y en el Periodo 2 fueron 14 días (33.3%; $P > 0.05$). La cantidad de días de lluvia se comparó en una tabla de contingencia. Asimismo, la temperatura promedio fue mayor durante el Periodo 1 del estudio (28.6 °C; rango= 24.1 a 40.2°C) que durante el Periodo 2 (27.2°C; rango: 24.1 a 29.9°C) ($P < 0.05$). Esa diferencia no se vio reflejada en la humedad promedio que fue

de 87.3% (rango: 75.9 a 95.9%) durante todo el estudio y fue similar entre el Periodo 1 y 2 del estudio.

Las variables microambientales registradas por los data-loggers se incluyen en el Cuadro 1. Se observa que en el Periodo 1 del estudio la temperatura alcanzó valores máximos significativamente superiores a los de el Periodo 2 del estudio ($P < 0.05$) particularmente de las segunda a la cuarta horas de pastoreo. Además, se observó que, aun cuando el pastor dio inicio al pastoreo en promedio a las 7:25 am diariamente durante todo el estudio, la cantidad de minutos transcurrido desde el amanecer hasta la salida a pastorear fue significativamente superior en el Periodo 1 del estudio que en el Periodo 2 ($P < 0.05$). A pesar de las diferencias mencionadas, la humedad se mantuvo semejante entre ambos periodos del estudio.

Cuadro 1. Promedio de temperatura y humedad y la respectiva desviación estándar del microclima registrados con los data-loggers colocados al nivel de los animales y promedio en minutos desde el amanecer hasta la salida a pastoreo de los centinelas en el Periodo 1 y Periodo 2 del estudio.

	Periodo 1 (semanas 1 a 7)	Periodo 2 (semanas 8 a 14)	Valor de P
Temperatura (°C)	Promedio ± DE	Promedio ± DE	
Hora 1	26.2 ± 1.5	25.8 ± 1.4	0.72
Hora 2	30.1 ± 1.7	28.1 ± 1.8	0.031
Hora 3	34.9 ± 1.6	32.3 ± 2.9	0.046
Hora 4	38.7 ± 1.0	35.0 ± 3.9	0.014
Humedad (%)			
Hora 1	85.1 ± 2.6	86.6 ± 3.3	0.253
Hora 2	86.0 ± 5.1	88.3 ± 6.4	0.348
Hora 3	73.8 ± 7.4	79.2 ± 12.0	0.237
Hora 4	60.4 ± 5.6	70.4 ± 16.3	0.083
Minutos transcurridos entre amanecer e inicio de pastoreo	56.4 ± 36.75	24.8 ± 6.19	0.016

DE: Desviación Estándar

3.2 Infectividad por NGI en centinelas

Los parásitos que se recuperaron en los órganos de los centinelas fueron: *Haemonchus contortus* en abomasos, *Trichostrongylus colubriformis* y *Cooperia curticei* en intestinos delgados y *Oesophagostomum columbianum* y *Trichuris* spp en intestino grueso (Cuadro 2). Durante todo el periodo experimental el 51% de los NGI que fueron recuperados en los diferentes centinelas fueron obtenidos del abomaso (*H. contortus*), el 44% del intestino delgado (41.2% *T. colubriformis* y 3.18% *C. curticei*) y 4.4% del intestino grueso (4.4% *O. columbianum* y 0.08% *Trichuris* spp.). Se puede observar que el 100% de los animales fueron infectados por *T. colubriformis* y al menos el 91.6% de los centinelas se infectaron con *H. contortus* y *O. columbianum*.

Cuadro 2. Especies de nematodos gastrointestinales recuperados de diferentes órganos del tracto gastrointestinal de cabritos centinelas pastoreando la selva baja caducifolia en época de lluvias. Por cada especie de nematodo se incluye la frecuencia de animales infectados (%), mediana, cuartil 3, número mínimo y máximo y media

Órgano	Especies	Animales infectados (%) n=12	Mediana	Cuartil 3	Número mínimo y máximo	Media
Abomaso	<i>Haemonchus Contortus</i>	91.6	245.0	610.0	0-1040	367.5
Intestino delgado	<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	100	185.0	494.5	20-755	297
	<i>Cooperia curticei</i>	41.6	0.0	31.0	0-100	22.9
Intestino grueso	<i>Oesophagostomum columbianum</i>	91.6	25.0	40.0	0-100	32.5
	<i>Trichuris</i> spp.	8.4	0.0	0.0	0-7	0.58
Totales		100	580.0	1255.0	40-1890	720

En la Figura 1 se observa el número de parásitos recuperados del abomaso, intestino delgado y grueso de los centinelas usados en el estudio. La cantidad de

parásitos registrada en los centinelas del Periodo 1 del estudio (mediana de 165 y rango de 40-620) fue menor a la registrada en los centinelas del Periodo 2 del estudio (mediana de 1310 y rango de 540-1890) ($P < 0.05$). Esta diferencia en la infectividad de la pradera dentro de la misma época de lluvias fue evidente a pesar de existir condiciones medio ambientales que parecían favorecer la infectividad de la pradera. Incluso se registró mayor precipitación pluvial y mayor temperatura promedio en el Periodo 1 del estudio (semanas 1 a 7) que en el Periodo 2 (semanas 8 a 14).

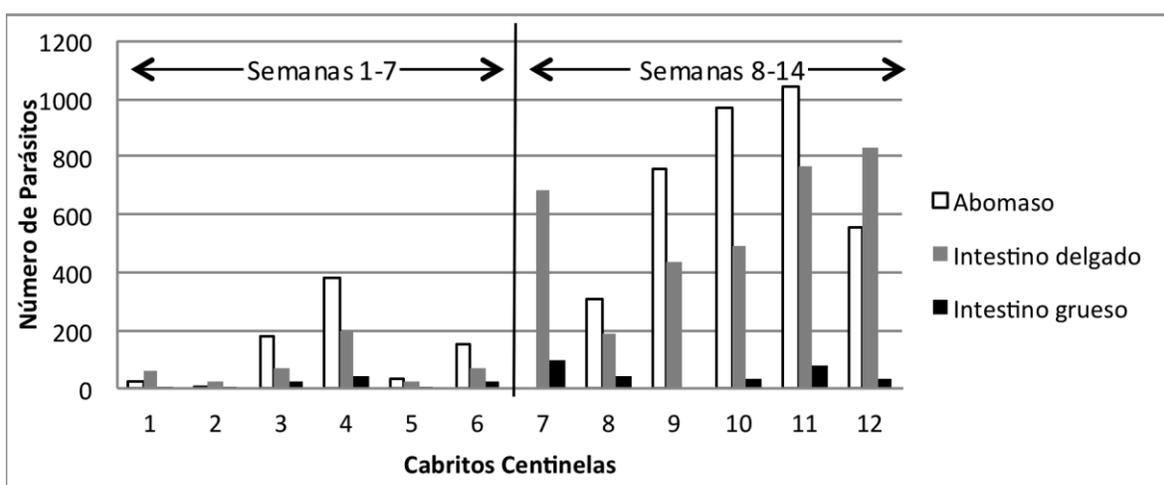


Figura 1. Número de nematodos gastrointestinales en los diferentes compartimentos del tracto gastrointestinal de cabritos centinelas pastoreando la selva baja caducifolia en la época de lluvias.

3.3 Comportamiento de ingestión de los centinelas

3.3.1 Consumo de materia seca de los centinelas

Los cabritos centinelas realizaron un promedio de 2675 ± 351 bocados al día en 4 horas de pastoreo (mínima = 2223 y máxima = 3224). Al asociar los bocados realizados de cada una de las plantas consumidas (cantidad y categoría de bocado) con los valores de MS de cada una de esas plantas, se determinó que el consumo promedio de MS de los centinelas fue de 467.1 ± 133.0 g. El consumo promedio de MS durante el Periodo 1 del estudio y durante el Periodo 2 del estudio fueron

estadísticamente semejantes (462.8 ± 172.8 g vs. 471.3 ± 94.6 g respectivamente; $P > 0.05$).

De la información de consumo individual de MS y la cantidad de parásitos contabilizados de cada cabrito centinela en todo el periodo de estudio, se estimó la cantidad de parásitos (L_3) consumidos por Kg de MS que llegaron a la fase adulta en cada animal centinela (Figura 2). Los valores sugieren un mínimo de 6 L_3 /kg MS (antes de la semana 7 del estudio) y un máximo de 278 L_3 /kg MS (Periodo 2 del estudio).

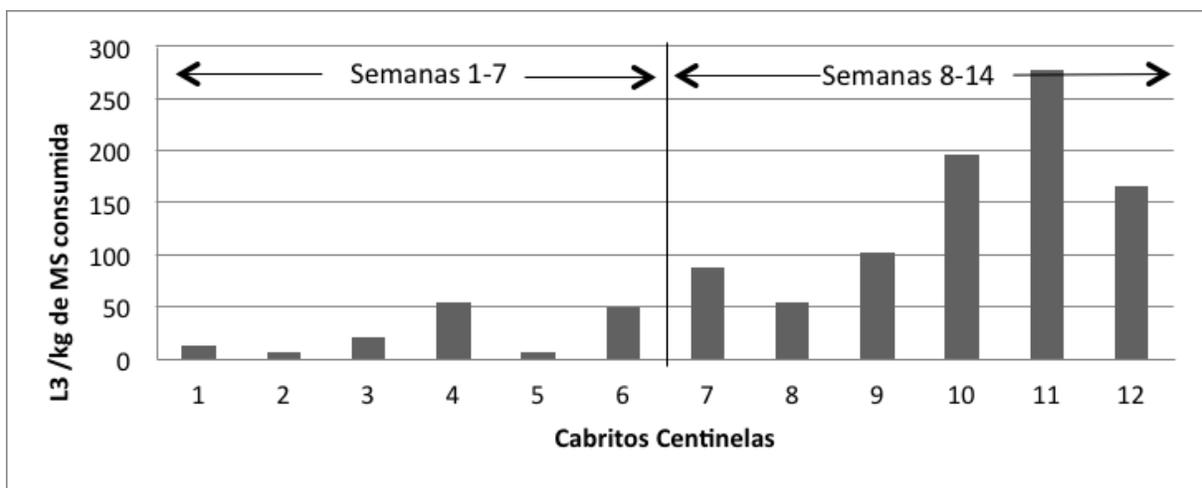


Figura 2. Cantidad estimada de larvas L_3 por kg de materia seca (L_3 /kg MS) que llegaron a parásitos adultos en los diferentes cabritos centinelas pastoreando la selva baja caducifolia en la época de lluvias.

3.3.2 Consumo por forma de vida de las plantas por los centinelas

Las observaciones de los centinelas muestran que el 99% del consumo total de MS provino de 14 especies de plantas (Cuadro 3). La contribución de las gramíneas al consumo de la MS fue semejante entre el Periodo 1 y el Periodo 2 del estudio y representó 58.8% y 65.2% ($P > 0.05$). Los arbustos contribuyeron al 36.8% y 33.8% del consumo de MS respectivamente en el Periodo 1 y 2 del estudio ($P > 0.05$). El consumo de enredaderas fue de 4.1% y 0.8% durante el Periodo 1 y 2 del estudio ($P < 0.05$). Finalmente, el consumo de herbáceas representó el 0.21% y 0.25% del consumo de MS respectivamente para el Periodo 1 y 2 del estudio ($P > 0.05$).

Cuadro 3. Especies y forma de vida de las plantas de la selva baja caducifolia que aportaron más del 1% de la materia seca consumida por cabritos centinelas en 4 horas de pastoreo en época de lluvia.

Plantas	Forma de vida	Contribución de %MS	Promedio MS consumida (g)	DE
<i>Eragrostis ciliaris</i>	Gramínea	62.6	289.8	134.6
<i>Gymnopodium floribundum</i>	Arbustiva	13.5	62.6	25.3
<i>Minmonsa bahamensis</i>	Arbustiva	5.7	26.2	13.7
<i>Acacia pennatula</i>	Arbustiva	3.2	14.8	7.9
<i>Diospiros anisandra</i>	Arbustiva	2.9	13.4	7.7
<i>Randia spp.</i>	Arbustiva	2.6	12.1	8.0
<i>Piscidia piscipula</i>	Arbustiva	1.6	7.6	6.6
<i>Havardia albicans</i>	Arbustiva	1.6	7.2	3.8
<i>Ipomea crinycalix</i>	Enredadera	1.4	6.6	5.6
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	Arbustiva	1.0	4.7	6.6
<i>Leucaena leucocephala</i>	Arbustiva	1	4.2	4.4
<i>Neomilspagia emarginata</i>	Arbustiva	1	3.0	3.8
<i>Acacia gaumeri</i>	Arbustiva	1	2.7	3.0
<i>Parmentiera millspaughiana</i>	Arbustiva	1	2.3	3.7

MS: Materia seca

DE: Desviación Estándar

3.3.3 Consumo de materia seca por diferentes estratos de altura

El consumo de MS proveniente de los diferentes estratos de altura estudiados se presenta en el Cuadro 4. Al utilizar todos los datos se observa que el estrato más consumido fue el bajo (66.8%), seguido del estrato medio (19.3%) y el consumo más bajo se encontró en el estrato alto (13.8%) ($P < 0.05$). Sin embargo, los cabritos centinelas mostraron un mayor consumo de plantas del estrato alto en el Periodo 1 que en el Periodo 2 ($P < 0.05$). Por lo anterior, los centinelas del Periodo 1 no muestran diferencia en su consumo de estrato medio y alto (Cuadro 4). De manera particular, la contribución al consumo de MS exclusivamente en el estrato alto estuvo conformada principalmente por arbustivas (93.6%) y se mantuvo semejante la contribución porcentual del estrato alto con respecto a las arbustivas en el Periodo 1 (semanas 1 a 7) y Periodo 2 del estudio (semanas 8 a 14) (93.8 vs. 94.0%).

Cuadro 4. Consumo promedio de materia seca (MS) realizado por los cabritos centinelas de los distintos estratos de altura estudiados incluyendo el porcentaje de aporte en total y en el Periodo 1 (semanas 1 a 7) y Periodo 2 (semanas 8 a 14).

Estrato	Todo el estudio		Periodo 1 (Semana 1 a 7)		Periodo 2 (Semana 8 a 14)	
	Consumo g MS	%	Consumo (g MS)	%	Consumo (g MS)	%
Alto (>50 cm)	64.7 ± 27.6a	13.8	81.4 ±26.6a*	17.5	48.1 ±17.3a*	10.2
Medio (26 - 50 cm)	90.1 ±20.6b	19.3	83.4 ±13.5a	18.0	96.7 ± 25.4b	20.5
Bajo (< 26 cm)	312.2 ±138.9c	66.8	298.0 ±174.4b	64.3	326.5 ±107.4c	69.2

a,b,c = Diferentes literales en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05); * Indican que son estadísticamente diferentes entre periodos (P<0.05).

4. DISCUSIÓN

Como se puede observar en los resultados, las variables de cantidad de precipitación pluvial y la temperatura ambiental promedio fueron significativamente mayores en el Periodo 1 del estudio (semanas 1 a 7) que en el Periodo 2 (semanas 8 a 14). Incluso se encontró una tendencia a un mayor número de días de lluvia en el Periodo 1 del estudio. Todos estos elementos pudieran sugerir que las condiciones ambientales fueron idóneas para la sobrevivencia de las fases de vida libre de los NGI en las heces (huevos, L₁, L₂) así como de las L₃ en el follaje al menos en términos de precipitación pluvial. Además de la precipitación pluvial, se registró una humedad promedio superior al 80% en la mayor parte del estudio. Sin embargo, aún con la mayor precipitación pluvial en ese Periodo 1 se registraron 3 días con una humedad promedio por debajo del 80% y esto sólo ocurrió un día en la segunda mitad del estudio. Por otro lado, las temperaturas mínima y máxima del estudio se mantuvieron dentro de las condiciones óptimas descritas por O'Connor et al. (2006) con un mínimo superior a 25 °C en casi todo el periodo y una temperatura máxima por debajo de los 37 °C considerado como el máximo óptimo.

Aunque los animales experimentales y los observadores comenzaron el pastoreo aproximadamente a las 7:25 am en promedio durante todo el estudio, sin diferencias significativas entre el Periodo 1 y el Periodo 2, debido al ciclo de traslación terrestre, es un hecho que el sol salió más temprano en el Periodo 1 que en Periodo 2 (<http://www.timeanddate.com>). Este amanecer cada vez más tardío implicó que tanto las plantas como su follaje estuvieran expuestos a la radiación solar por un mayor número de minutos antes del pastoreo durante el Periodo 1 en comparación del Periodo 2 ($P < 0.05$) (Cuadro 1). Esta mayor cantidad de exposición solar se reflejó en la temperatura del microclima circundante a la altura de los animales en pastoreo. En el Cuadro 1 se observa que los Data-loggers mostraron una mayor temperatura en las horas 2, 3 y 4 de pastoreo durante el Periodo 1 en comparación con el Periodo 2 ($P < 0.05$). Aunque esta diferencia de temperatura no se vio reflejada en diferencias en la humedad a nivel de los animales, es un hecho que la vegetación tuvo una mayor exposición a rayos solares que pudo resultar en una menor cantidad de rocío sobre los forrajes en el Periodo 1 que el Periodo 2. Una mayor radiación y menor cantidad de rocío pudieron ocasionar que las larvas L_3 estuvieran menos disponibles para los centinelas en el Periodo 1 comparado con el Periodo 2 como ocurrió en el presente estudio. Esto a su vez parece ayudar a explicar la menor infectividad de la pradera en el Periodo 1 que en el Periodo 2 como se explica a continuación.

Las especies de parásitos que fueron recuperados en los órganos de los centinelas confirman los resultados reportados para la SBC durante la época de lluvia por Torres-Acosta et al. (2004) y Martínez-Ortíz-de-Montellano et al. (2010) quienes encontraron *Haemonchus contortus* en abomaso, *Trichostrongylus colubriformis* y *Cooperia curticei* en intestino delgado y *Oesophagostomum columbianum* y *Trichuris* spp. en intestino grueso. En el presente estudio, con excepción de la infección por *H. contortus* en el mes de octubre que puede considerarse como moderada (de 0 a 1040 parásitos) de acuerdo a Hansen y Perry (1994), las demás especies de nematodos presentaron infecciones consideradas leves con un máximo de adultos recuperados en los contenidos gastrointestinales de 755 *T. columbriformis*, 100 *O. columbianum* y *C. curticei* y 7 *Trichuris* spp. De manera general, las infecciones observadas en el presente estudio fueron menores a las reportadas para este tipo de

vegetación por Torres-Acosta et al. (2004) y Torres-Acosta y Aguilar-Caballero (2006). Cabe mencionar que al igual que en el presente estudio, las condiciones ambientales (temperatura, humedad y precipitación pluvial) fueron igualmente favorables para el desarrollo y migración de las larvas de NGI. Además, los trabajos realizados en años anteriores mantuvieron a los cabritos centinelas por 4 semanas consecutivas (Torres-Acosta y Aguilar 2006) en comparación a las tres de exposición del presente estudio. Lo anterior pudiera explicar parte de la menor infección lograda en los centinelas durante el pastoreo.

Independientemente de que las condiciones ambientales fueron semejantes en el presente estudio y estudios previos, y que además se presentaron condiciones medio ambientales favorables para las fases de vida libre de los NGI, se pudo encontrar una menor infectividad de la pradera en el Periodo 1 en comparación con el Periodo 2 ($P < 0.05$). Esto sugiere que, a pesar de las aparentes condiciones propicias del macroclima, los animales centinelas enfrentaron diferente riesgo (infectividad de la pradera) en el Periodo 1 y el 2. Como se mencionó anteriormente, es posible que la mayor cantidad de radiación solar del Periodo 1 y las consecuentes mayores temperaturas ambientales hayan influido en la infectividad de la pradera. Sin embargo, se desconoce si esa infectividad está asociada a la conducta ingestiva de los animales centinelas. Ese aspecto se estudió con el método de observación directa empleado en el presente estudio y se discute a continuación.

La metodología de observación directa permitió estimar los valores de infectividad de la SBC y contrastarla con diferentes indicadores de una manera que no se había realizado en estudios previos:

- Número de bocados y consumo de MS: Los animales de todo el estudio realizaron cantidades semejantes de bocados en los Periodos 1 y 2, lo que a su vez implicó cantidades semejantes de consumo de MS. Estos datos demuestran que la diferencia de infectividad no se debió a la cantidad de alimento consumido en la pradera.
- Cantidad de larvas L_3 / Kg MS consumida que llegaron a adultos. Al contar con los datos de consumo de MS total de cada centinela y la cantidad total de

parásitos adultos de esos mismos centinelas, se pudo calcular la cantidad de larvas L_3 /Kg MS que llegan a ser parásitos adultos. En el presente estudio se pudo observar que la cantidad de L_3 /kg MS fue menor en el Periodo 1 (6 a 52 L_3 /kg MS) que en el Periodo 2 (52 a 275 L_3 /kg MS). Lo anterior indica que el material consumido fue incrementando gradualmente su infectividad conforme avanzó la época de lluvia. Con excepción de 2 datos del Periodo 1, los demás centinelas aparentemente consumieron cantidades de L_3 /kg MS en general semejantes a lo que se ha reportado para praderas de gramíneas por Amarante y Barbosa (1998) con 60 a 350 L_3 /Kg MS para cabras en época de lluvia. Con la información generada mediante la metodología de observación directa se puede estimar la cantidad de L_3 consumidas asumiendo diferentes niveles de establecimiento considerando que no todas las L_3 consumidas llegan a ser adultos. Por ejemplo, si el promedio de todos los centinelas fue de 65 L_3 /kg MS consumidas, asumiendo una tasa de establecimiento de 80%, se obtiene una infectividad de 82 L_3 /Kg MS, si se considera 50% de establecimiento la infectividad es 131 L_3 /Kg MS y con 10% de establecimiento la infectividad resulta de 654 L_3 /Kg MS. Esta estimación debe comprobarse con trabajos que obtengan las L_3 de NGI directamente de la vegetación para así determinar el riesgo verdadero de la SBC.

- Tipo de vida de la vegetación consumida y altura del estrato consumido. Esta información se discute a continuación.

Los centinelas consumieron la mayor parte del material vegetal (99%) a partir de sólo 14 especies de plantas. Este número de especies es mayor a las 7 especies de plantas de las cuales obtienen la mayor parte de su MS las cabras adultas en época de lluvias reportado por Ventura-Cordero (2016). Lo anterior indica que los cabritos sin experiencia de pastoreo también tienen la capacidad de usar diferentes recursos vegetales, sea por desconocimiento o por aprendizaje. Es evidente que el tipo de vida más consumido durante todo el estudio fue el de las gramíneas (aproximadamente el 60% del consumo de MS). El tipo de vida más consumido después de las gramíneas fueron los arbustos con más del 30% de la MS. Lo anterior se explica por la gran capacidad de los caprinos de ramonear aun cuando

carecen de experiencia. Estudios recientes demuestran que los cabritos cuentan desde muy temprana edad con saliva bloqueadora de polifenoles, aún antes de que hayan tenido experiencia de consumir follajes arbustivos ricos en polifenoles (Ventura-Cordero et al., 2015). En muy pequeña cantidad consumieron herbáceas y enredaderas. Es importante mencionar que consumieron más enredaderas en el Periodo 1 que en el Periodo 2 ($P < 0.05$), pero la cantidad consumida (18.8 g vs. 3.7 g) difícilmente ayuda a explicar la menor cantidad de parásitos en el Periodo 1.

Uno de los datos más importantes del presente estudio es el que indica que los animales consumieron más del 60% de la MS del estrato bajo (Cuadro 4). Este consumo de estrato bajo se mantuvo semejante todo el estudio. Lo anterior demuestra que el consumo de follaje de estrato bajo no implicó necesariamente más infectividad, contrario a lo propuesto en la hipótesis del presente estudio. Es evidente que los centinelas del Periodo 1 y del 2 tuvieron mayoritariamente consumo de plantas de estrato bajo y mostraron diferencias notables en la infectividad de lo consumido como se ve en las Figuras 1 y 2. Es posible que los aspectos medio ambientales como los minutos de sol antes de salir al pastoreo ó las mayores temperaturas durante el tiempo de pastoreo en el Periodo 1 comparado con el Periodo 2 pudieran ayudar a explicar por qué se tenía baja infectividad en el Periodo 1 y esta infectividad incrementó gradualmente conforme se redujo la cantidad de minutos de sol antes del pastoreo y disminuyó la temperatura en el sitio de pastoreo a nivel micro-clima medido por los Data-loggers.

Por otro lado, es importante resaltar que en el Periodo 1 los centinelas consumieron significativamente más MS de follaje de arbustivas altas, comparado con el Periodo 2. Este consumo pudo implicar la ingestión de más compuestos secundarios con efecto antihelmíntico, lo que es congruente con un posible efecto de automedicación aunque esta conducta no puede ser comprobada con el diseño utilizado en el presente estudio.

Así, las evidencias del presente trabajo sugieren que el empleo de centinelas, la conducta y clasificación del estrato de pastoreo, la medición de la infectividad por colecta de material, así como el registro de variables macro y micro climáticas no

serían suficientes para entender la infectividad de la pradera en la SBC si son empleadas de manera aislada. Se requiere integración de todos los elementos que ayuden a explicar un proceso que es por naturaleza dinámico.

Adicionalmente resulta interesante que los cabritos centinelas hayan registrado un alto consumo de gramíneas y otras especies del estrato bajo pues, podría suponerse que al ser animales ramoneadores (Hoffman, 1989; Van Soest, 1994) el consumo sería mayoritariamente compuesto por arbustivas. Las cabras de estudios previos en época de lluvia demuestran menor consumo de gramíneas (48.3%) que los centinelas del presente estudio (Ventura-Cordero, 2016). De hecho, los resultados de los centinelas muestran que su dieta es similar al consumo de borregas con experiencia de pastoreo en la SBC. De igual forma el comportamiento de los animales centinelas contrasta con el reportado para cabras adultas en SBC durante la época de lluvias las cuales integran a su dieta plantas herbáceas en un 7.2% y enredaderas en un 5% en tanto que los centinelas de nuestro estudio prácticamente no consumieron las herbáceas y las enredaderas representaron solo el 1.4% del consumo (Ventura-Cordero, 2016). Desde esta perspectiva, es evidente que emplear la información del consumo de centinelas puede resultar en una sobrestimación de la infectividad de la SBC comparado con lo que consumen las cabras adultas y pudieran ser más adecuados para estudiar la infectividad de la SBC para ovejas, pues se parecen más a su conducta de pastoreo. Otro aspecto importante del presente estudio es que parece existir un proceso de aprendizaje de la conducta de ramoneo y esto implicaría un cambio gradual hacia más ramoneo cuando exista más experiencia en la SBC.

5. CONCLUSIÓN

La observación de la conducta ingestiva demostró que la diferencia en la infección no se debió al consumo de follaje de estrato bajo o a la cantidad total de MS consumida por los animales centinelas. Sin embargo si se sugiere la posibilidad de que un mayor consumo de follaje de arbustivas de estrato alto se asocie a menor infectividad en la época de lluvia.

REFERENCIAS

Agreil, C., Meuret, M., 2004. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. *Small Rumin. Res.* 54, 99-113.

Amarante, A.F.T., Barbosa, M.A., 1998. Comparison between pasture sampling and tracer lambs to evaluate contamination of sheep pastures by nematode infective larvae. *Rev. Brasil. Vet. Parasitol.* 7, 95-100.

Bresier, R.B., Dunsmor, J.D. 1993. The ecology of *Haemonchus contortus* in a winter rainfall region in Australia: the development of eggs to infective larvae. *Vet. Parasitol.* 45, 275-292.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Registro de datos, Mérida Yucatán. <http://www.conagua.gob.mx/>

Delgado, A., 1989. Comportamiento de las larvas de estrogilatos del bovino en el ambiente externo y su importancia en el control de estas helmintosis. *Rev. Cub. Cie. Vet.* 20, 127-142.

González-Pech, P.G., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., 2014. Adapting a bite coding grid for small ruminants browsing a deciduous tropical forest. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 17, 63-70.

Hansen, J., Perry, B., 1994. The epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of ruminants. 2. International Laboratory for Research on Animal Disease. Nairobi, Kenya. 171 pp.

Hoffman, R.R., 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecology.* 78, 443-457.

<http://www.timeanddate.com/astronomy/mexico/merida>. Verificado el 11 de mayo del 2016.

MAFF, 1986. Helminthology. In: Manual of Veterinary Parasitological Laboratory Techniques. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Her Majesty's Stationary Office. London, UK. pp 1-65.

Martínez-Ortiz-de-Montellano, C., Vargas-Magaña, J.J., Canul-Ku, H.L., Miranda-Soberanis, R., Capetillo-Leal, C., Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Torres-Acosta, J.F.J., 2010. Effect of a tropical tannin-rich plant *Lysiloma latisiliquum* on adult populations of *Haemonchus contortus* in sheep. Vet. Parasitol. 172, 283-290.

Miranda, F. 1958. Estudios acerca de la vegetación. *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*, 2, 215-171.

O'Connor, L.J., Walkden-Brown, S.W., Kahn, L.P. 2006. Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. Vet. Parasitol. 142. 1-15

R development core team 2013 R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URLHTTP://WWW.R-project.org/

Rossanigo, C.E., Gruner, L. 1995. Moisture and temperature requirements in faeces for the development of free-living stages of gastrointestinal nematodes of sheep, cattle and deer. J. Helminthol. 69, 357-362.

Silva, B.F., Amarante, M.R.V., Kadri, S.M., Carrijo-Mauad, J.R. Amarante, A.F.T. 2008. Vertical migration of *Haemonchus contortus* third stage larvae on *Brachiaria decumbens* grass. Vet. Parasitol. 158, 85-92.

Soulsby, E.J., 1987. Parasitología y enfermedades parasitarias en los animales domésticos. 7ª Ed. Interamericana. México, D.F. pp. 169-239.

Torres-Acosta, J.F.J. 2000. Utilizando la suplementación como una estrategia para el control de la nematodiasis gastrointestinal en caprinos y ovinos. En: 1er Curso Internacional: Nuevas perspectivas en el diagnóstico y control de nematodos gastrointestinales en pequeños rumiantes. Del 16 al 18 de noviembre del 2000. Universidad Autónoma de Yucatán. pp 57-65.

Torres-Acosta, J.F.J., Jacobs, D.E., Aguilar-Caballero, A., Sandoval-Castro, C., May-Martínez, M., Cob-Galera, L.A., 2004. The effect of supplementary feeding on the resilience and resistance of browsing Criollo kids against natural gastrointestinal nematode infections during the rainy season in tropical Mexico. *Vet. Parasitol.* 124, 217–238.

Torres-Acosta, J.F.J., Aguilar-Caballero, A.J. 2006. Infectividad larvaria en la vegetación nativa de Yucatán, México. En: 4° Curso Internacional: Epidemiología y Control Integral de Nematodos Gastrointestinales de Importancia Económica en Pequeños Rumiantes. Del 18 al 21 de abril de 2006. Fundación produce Yucatán A.C. pp 17-23.

Torres-Acosta, J.F.J., Vargas-Magaña. J.J., Chan-Pérez. J. I., Aguilar-Caballero. A. J., Alonso-Díaz. M. A., Ojeda-Robertos. N. F. 2015. Recuperación de Helmintos a la Necropsia. En: Rodríguez-Vivas, R. I. (Ed.). Técnicas ara el diagnostico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. AMPAVE-CONASA. México. pp. 158-199.

Urquhart, G.M., Armour, J., Duncan, J.L. Dunn, A.M., Jennings, F.W. 1996. *Veterinary Parasitology*. 2nd ed. Oxford, U.K.:Blackwell Science Ltd. pp. 307.

Van Soest, P.J., 1994 *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Cornell University press, USA. pp. 22-29.

Ventura-Cordero, J., Sandoval-Castro, C. A., Torres-Acosta, J.F.J., Capetillo-Leal, C.M. 2015. Do goats have a salivary constitutive response to tannins? *J. App. Anim. Res.* 1, 1-6.

Ventura-Cordero, J. 2016. Conducta ingestiva de pequeños rumiantes en la selva baja caducifolia y su relación con la infección de nematodos gastrointestinales. Tesis de doctorado. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.

