



UADY

POSGRADO
INSTITUCIONAL
EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y
MANEJO DE RECURSOS
NATURALES TROPICALES

SELECCIÓN Y CONSUMO DE RECURSOS FORRAJEROS DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA EN UNA PRUEBA DE CAFETERÍA POR CABRAS JUVENILES CON Y SIN EXPERIENCIA EN RAMONEO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR:

**Médico Veterinario Zootecnista
Gabriel Andrés Ortíz Domínguez**



POSGRADO INSTITUCIONAL
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y MANEJO
DE RECURSOS NATURALES TROPICALES

Directores:

**Dr. Juan Felipe de Jesús Torres Acosta
Dr. Carlos Alfredo Sandoval Castro**

Mérida, Yuc., México, 12 de septiembre de 2019



UADY

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

COORDINACIÓN GENERAL
DEL SISTEMA DE POSGRADO,
INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN

POSGRADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y MANEJO DE RECURSOS
NATURALES TROPICALES

**ALUMNO: MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
GABRIEL ANDRÉS ORTÍZ DOMÍNGUEZ**

SÍNODO DEL EXAMEN DE TESIS DE GRADO

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

**DR. PEDRO GONZÁLEZ PECH
CCBA-UADY**

**DR. ARMÍN AYALA BURGOS
CCBA-UADY**

**DR. LUIS SARMIENTO FRANCO
CCBA-UADY**

**DR. JAVIER VENTURA CORDERO
CCBA-UADY**

MÉRIDA, YUCATÁN, SEPTIEMBRE DEL 2019

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

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 Gabriel Andrés Ortíz Domínguez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme brindado vida y salud, para seguir avanzando profesionalmente.

A mis padres el MVZ. *William Andrés* y la Sra. *María Graciela* por brindarme su apoyo y cariño. Por su paciencia, confianza, educación y valores que me enseñaron en casa, lo que me ha permitido concluir esta etapa importante de mi vida. Me siento orgulloso de que sean mis padres y les estaré enormemente agradecido. ¡Los amo!

A mis hermanos *William* y *Graciela*, a mi cuñada *Minelia* por el apoyo moral que siempre me brindaron, y a mis Sobrinos *Jesús* y al pequeño *Josué* que con sus travesuras alegraron mis días y me dieron ánimos para seguir adelante.

A *Claudia del Rocío* por ser una gran novia, amiga, colega, por brindarme su cariño, confianza, paciencia y apoyarme siempre en cada proyecto de mi vida profesional.

En especial a la memoria de mis abuelitos *Alfredo* y *Susana* (Q.E.P.D.), por el tiempo compartido conmigo y todas las alegrías vividas. Siempre los llevaré en mi memoria y corazón.

A mis asesores el Dr. *Juan Felipe de Jesús Torres Acosta* y al Dr. *Carlos A. Sandoval Castro* por brindarme su apoyo, amistad y motivarme siempre a dar lo mejor. Por su tiempo en la revisión de esta tesis y sus valiosos conocimientos y consejos.

Al Dr. *Javier Ventura Cordero* por su amistad, sus consejos, su gran apoyo en la revisión y tutoría de esta tesis y su ayuda en los trabajos de campo y de laboratorio.

Al Dr. *Pedro González Pech* por sus consejos, sus conocimientos y su tiempo dedicado a la revisión de esta tesis.

A mis tutores el M en C. *Ramón Cámara Sarmiento* y el Dr. *Armín Ayala Burgos* por su amistad, correcciones, consejos y el tiempo dedicado para la revisión de la tesis.

A los Doctores que conformaron el sínodo de evaluación.

A mi colega *Cindy Marin Tun*, por brindarme su amistad, su ánimo para las colectas, y aunque siempre eran cansadas, se cumplió el objetivo final. Por su apoyo en la

organización y cuidado de las cabras y su ayuda en los procesos dentro del laboratorio de nutrición animal.

Al Dr. *Rafael Torres Fajardo* por el apoyo incondicional en la realización de esta tesis, motivando siempre a seguir adelante, sus anécdotas, consejos, su ayuda en las colectas del material vegetal y en el cuidado de las cabras, durante la prueba de cafetería y la digestibilidad *in vitro* en el laboratorio de nutrición animal.

Al personal del Laboratorio de Nutrición Animal, en especial a las Químicas *Concepción, Alejandra y Wendy*, por amistad, sus conocimientos y todo su apoyo durante el tiempo de trabajo en el laboratorio de nutrición animal.

A mis amigos colectores y deshojadores *Azucena Ucan, Diana Valladares, Juan "Chicharito" Escobedo, Eduardo Bruno, Liby Canul, Ellen Cortez*, a los muchachos del CBTA *Saúl Chan, Russel Flores, Omar Segura y Daniel Valle, Michell Pech y Abigail Sosa*, gracias además por su apoyo durante el periodo de cafetería.

A los trabajadores del área de nutrición de rumiantes *Eugenio, Benito, Víctor, Ponciano* por su apoyo en días de colecta y cuidado de las cabras.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la maestría en Ciencias Agropecuarias (Becario: 630970).

A la FMVZ - UADY, por prestarme sus instalaciones para continuar con mi aprendizaje y ejecutar satisfactoriamente esta tesis.

Al LARN. Albert Baena por su aprobación de la colecta de las especies arbustivas dentro de la reserva ecológica CUXTAL.

A todas las personas que en algún momento me apoyaron durante la realización de esta tesis.

¡Muchas Gracias!

Resumen

Este estudio evaluó el efecto de la experiencia de ramoneo de cabras juveniles, la calidad nutricional de los recursos forrajeros y su interacción, sobre la selección y consumo de seis recursos forrajeros de la selva baja caducifolia, mediante una prueba de cafetería. Se evaluaron seis follajes secos, considerando su importancia en la selva baja caducifolia (*Cordia alliodora*, *Caesalpinia gaumeri*, *Neomillspaughia emarginata*, *Senegalia gaumeri*, *Piscidia piscipula* y *Gymnopodium floribundum*). Se utilizaron 12 cabras hembras criollas juveniles de 7 – 9 meses de edad (22 ± 3 kg de peso vivo), divididas en dos grupos ($n = 6$): con experiencia (CE) y sin experiencia (SE) en ramoneo. El experimento se dividió en 3 fases: adaptación a corrales, adaptación a los forrajes y periodo de medición. La dieta base de las cabras fue alimento balanceado y pasto *Pennisetum purpureum*. Se realizó una prueba de cafetería para evaluar la selección de los follajes usando el índice α de Chesson, y el consumo de estas. Se determinó la densidad y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO) de las plantas y se realizaron las correlaciones y regresiones entre las variables nutricionales y las de conducta. El follaje de *S. gaumeri* presentó los resultados de proteína (19.1 %) y densidad (0.059 g/cm^3) más altos. La DIVMS (58.5 %) y DIVMO (63.1 %) fue mayor en el forraje de *Cordia alliodora*. Mientras que *N. emarginata* mostró los niveles más bajos de DIVMS (25.6 %), DIVMO (26.7 %) y densidad (0.015 g/cm^3). Las cabras SE seleccionaron el follaje de *N. emarginata*, mientras que las cabras CE seleccionaron más follaje de *P. piscipula*. Ambos grupos seleccionaron follaje de *S. gaumeri* ($P < 0.05$). Las regresiones mostraron que en el grupo CE los taninos, grasas y la digestibilidad influyeron sobre la selección ($R^2 = 63.97$; $P < 0.01$), mientras que fibra detergente ácida y taninos afectaron el consumo ($R^2 = 53.89$; $P < 0.01$). Para el grupo SE no se encontraron asociaciones significativas entre las variables evaluadas. Se concluye que la interacción entre la experiencia animal y el valor nutricional de los forrajes permite seleccionar y consumir las plantas de mejor calidad nutricional cuando se ofrecen *ad libitum* durante una prueba de cafetería.

Palabras clave: Selección, experiencia caprina, follaje nativo, consumo, prueba de cafetería

Summary

This study evaluated the effect of the browsing experience of juvenile goats, the nutritional quality the forage resources and their interaction, on the selection and intake of six forage resources of the tropical deciduous forest by a cafeteria trial. Six dry foliage were evaluated, considering its importance in the tropical deciduous forest (*Cordia alliodora*, *Caesalpinia gaumeri*, *Neomillspaughia emarginata*, *Senegalia gaumeri*, *Piscidia piscipula* and *Gymnopodium floribundum*). 12 juvenile female Creole goats of 7 - 9 months of age (22 ± 3 kg of live weight) were used, divided into two groups (n = 6): with (CE) and without (SE) browsing experience. The experiment was divided into 3 phases: adaptation to pens, adaptation to forages and measurement period. The base diet of the goats was balanced feed and *Pennisetum purpureum* grass. A cafeteria trial was performed to evaluate the selection of foliage using the Chesson α index, and their intake. The density and *in vitro* digestibility of dry matter (IVDMD) and organic matter (IVOMD) of plants were determined and correlations and regressions between nutritional and behavioural variables were made. The foliage of *S. gaumeri* had the highest protein (19.1%) and density (0.059 g / cm³) results. The IVDMD (58.5%) and IVOMD (63.1%) were higher in the forage of *Cordia alliodora*. While *N. emarginata* showed the lowest levels of IVDMD (25.6%), IVOMD (26.7%) and density (0.015 g / cm³). The SE goats selected the foliage of *N. emarginata*, while the CE goats selected more foliage of *P. piscipula*. Both groups selected the foliage of *S. gaumeri* ($P < 0.05$). The regressions showed that in the EC group the tannins, fats and digestibility influenced the selection ($R^2 = 63.97$; $P < 0.01$), while acid detergent fiber and tannins affected the intake ($R^2 = 53.89$; $P < 0.01$). For the SE group, no significant associations were found between the evaluated variables. It is concluded that the interaction between the animal experience and the nutritional value of the forages allows to select and consume the plants of better nutritional quality when they are offered *ad libitum* during a cafeteria trial.

Keywords: Selection, experience goat, native foliage, intake, cafeteria test

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.2. El consumo de cabras en el trópico | 3 |
| 2.3. Factores que afectan el consumo animal | 4 |
| 2.3.1. Edad y experiencia de las cabras | 4 |
| 2.3.2. Composición química de la dieta | 5 |
| 2.3.3. Factores ambientales (temperatura, humedad relativa y disponibilidad) | 7 |
| 2.5.1. Estado fisiológico del animal..... | 11 |
| 2.5.2. Características físicas del animal..... | 11 |
| 2.5.3. Influencias sociales..... | 12 |
| 2.5.4. Características físicas de las plantas..... | 12 |
| 2.5.5. Experiencias previas en los rumiantes de los recursos forrajeros | 13 |
| 2.5.6. Composición química de las plantas..... | 15 |
| 2.5.7. Disponibilidad de los recursos forrajeros | 17 |
| 2.6. Recursos forrajeros de la SBC poco consumidos por cabras | 19 |
| III. OBJETIVOS | 22 |
| 3.1. Objetivo General | 22 |
| 3.2. Objetivos específicos | 22 |
| IV. HIPÓTESIS | 22 |
| VI. REFERENCIAS | 23 |
| VI. ARTÍCULO CIENTÍFICO | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Artículo científico

Figura 1. Posición de los recipientes de los recursos forrajeros a evaluar dentro del corral durante la prueba de cafetería.

38

ÍNDICE DE CUADROS

Marco teórico

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Criterios de selección y composición química de plantas forrajeras reportadas como poco consumidas presentes en la SBC. | 21 |
|---|----|

Artículo científico

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Composición química (%), contenido de compuestos secundarios (%), digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (%), digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (%), energía metabolizable (MJ/kgMS) y la densidad (g/cm ³) de seis recursos forrajeros pre-secados al aire libre presentes en la selva baja caducifolia de Yucatán, alimento balanceado y pasto <i>P. purpureum</i> ofrecidos a cabras juveniles. | 44 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Cuadro 2. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (%), digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (%) y energía metabolizable (MJ/kgMS) totales de los seis recursos forrajeros, alimento balanceado y pasto, evaluados en medios libre (-N) o enriquecido con nitrógeno (+N) o adicionado con polietilenglicol (+PEG y -PEG). | 45 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Cuadro 3. Índices de selección e intervalos de confianza (IC 95 %) de los seis recursos forrajeros evaluados en la prueba de cafetería durante 6 días por 30 minutos y su relación con la experiencia de ramoneo de cabras juveniles. | 46 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Cuadro 4. Consumos de materia seca por kilogramo de peso vivo metabólico (CMS/Kg ^{0.75}) y sus intervalos de confianza (IC 95 %) de los seis recursos forrajeros evaluados en la prueba de cafetería durante 6 días por 30 minutos y su relación con la experiencia de ramoneo de cabras juveniles. | 47 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Cuadro 5. Asociación entre características de los recursos forrajeros e índice de selección y consumo (CMS/Kg ^{0.75}) en cabras juveniles con experiencia (CE) en ramoneo. | 47 |
|--|----|

I. INTRODUCCIÓN

La selección se define como la preferencia modificada por las situaciones ambientales (disponibilidad y accesibilidad de los recursos), que permite que los animales elijan ciertos forrajes en lugar de otros o partes específicas de las plantas (Allen *et al.*, 2011). Estos mismos autores definen el consumo animal como la cantidad de materia seca ingerida en determinado tiempo. La selección y el consumo de una dieta variada permite a los herbívoros cubrir sus necesidades nutricionales (Provenza *et al.*, 2003). Estas conductas pueden verse modificadas por varios factores. En algunas condiciones, los recursos varían de acuerdo con su presencia en el ambiente, mientras más presente se encuentre el recurso en la pradera, será más factible que las cabras los seleccionen y consuman (Egea *et al.*, 2014). Esto concuerda con la teoría del forrajeo óptimo que señala que una mayor presencia del recurso en la pradera, permite un menor gasto de energía en la búsqueda de dichos recursos (Papachristou *et al.*, 2005).

Los estudios de conducta de ingestión de cabras en la vegetación de la selva baja caducifolia (SBC) mostraron que estos animales son capaces de consumir hasta 51 especies de plantas en época de lluvias (Ventura-Cordero *et al.*, 2019). Entre las plantas seleccionadas y consumidas en estas praderas se encuentran especies de plantas que, de acuerdo con Dzib-Castillo *et al.* (2014), pueden clasificarse como de elevado valor de importancia relativa (VIR) en el ecosistema, y otras como recursos de bajo VIR. De estas últimas se desconoce si su nivel de consumo está limitado por el bajo VIR o si el bajo consumo está relacionado con otros aspectos como: composición química y contenido de compuestos polifenólicos (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Hernández-Orduño *et al.*, 2012), presencia de otros compuestos secundarios (Ramos *et al.*, 1998) y la densidad o forma de las hojas (Morand-Fehr, 2003; Papachristou *et al.*, 2005; Egea *et al.*, 2014). Para que estos recursos de bajo VIR puedan ser considerados como recursos forrajeros con potencial para multiplicar en los sistemas de producción, es necesario conocer si son seleccionadas y consumidas por las cabras. Para demostrar si los recursos con bajo VIR son seleccionados es necesario usar la metodología de cafetería, ya que se ofrece la misma cantidad de los diferentes recursos que se estén evaluando y

permite estimar los índices de selección de cada uno de ellos. Esta metodología ayuda a entender por qué los rumiantes eligen determinadas especies con relación a otras o que otros mecanismos influyen en la selección (Ventura-Cordero *et al.*, 2017a; Torres-Fajardo *et al.*, 2018).

Un factor adicional que pudiera influir sobre la selección y consumo de los recursos forrajeros es la experiencia de ramoneo, ya que se ha demostrado que el aprendizaje explicó la utilización de plantas ricas en taninos en los cabritos, en vez de respuestas genéticas (Glasser *et al.*, 2009). Este factor de experiencia ha sido poco estudiado en condiciones controladas, y debe ser considerado en el momento de identificar la conducta de ingestión de los rumiantes. La presente tesis es uno de los primeros estudios en evaluar la interacción entre la experiencia animal y la composición química de las plantas y así posiblemente conocer los cambios alimenticios en la dieta del animal.

Por lo tanto, el objetivo del experimento fue evaluar el efecto de la experiencia de ramoneo de cabras juveniles, la calidad nutricional de los recursos forrajeros y su interacción, sobre la selección y consumo de seis recursos forrajeros de la selva baja caducifolia, en una prueba de cafetería.

II. MARCO TEÓRICO

2.2. El consumo de cabras en el trópico

Se define consumo voluntario como la cantidad de materia seca (MS) ingerida por los animales durante un periodo de tiempo (Minson, 1990; Allen *et al.*, 2011). McDonald *et al.* (2011), mencionaron que el proceso de alimentación es complejo y presenta etapas de búsqueda, reconocimiento, movilización hacia el alimento, una valoración sensorial y su consumo. Durante el pastoreo de los pequeños rumiantes, este proceso de alimentación está influenciado por varios factores, como los factores físicos y químicos de las plantas, las características físicas y fisiológicas de los animales y los factores ambientales; y la mayoría de estos factores son similares para los rumiantes en estabulación (Minson, 1990; Mejía, 2002; Morand-Fehr, 2003).

Varias son las metodologías para estimar el consumo voluntario en los animales, clasificándose en métodos directos mediante el uso de jaulas individuales en condiciones controladas (Minson, 1990). Por otra parte, entre los métodos indirectos, se encuentran las estimaciones mediante parámetros agronómicos antes y después del pastoreo (Minson, 1990; Mejía, 2002); medidas del comportamiento animal como el número de bocados por unidad de tiempo y el tamaño del bocado (González-Pech *et al.*, 2015); y el uso de marcadores externos e internos, o a través de animales colectores de heces o con una fistula esofágica (Minson, 1990).

Se ha reportado el consumo de cabras adultas en pastoreo en época de seca (González-Pech *et al.*, 2015) y lluvias (Ventura-Cordero *et al.*, 2019), señalando el consumo de más de 30 especies de plantas por época, sin embargo, entre 7 y 9 plantas representan el mayor consumo de MS por los pequeños rumiantes. Esto también se ha reportado en caprinos centinelas (Jaimez-Rodríguez, 2016).

Alonso-Díaz *et al.* (2009), señalan que el consumo de *Lysiloma latisiliquum* y *Piscidia piscipula* en cabras en estabulación, a pesar de ser especies con alta concentración de compuestos secundarios. Otro estudio evaluó el consumo de las mismas especies taniníferas y *Brosimum alicastrum* (especie sin taninos) por parte de cabras con experiencia en ramoneo, reportando que los animales presentan

mecanismos salivales que les permiten aprovechar los recursos disponibles (Pech-Cervantes *et al.*, 2016).

Otros autores estudiaron la interacción entre el consumo de cabras adultas, compuestos secundarios y el uso del polietilenglicol (PEG), utilizando cuatro recursos locales (*Havardia albicans*, *Gymnopodium floribundum*, *Leucaena leucocephala* y *P. piscipula*). Sus resultados muestran que el uso de PEG disminuye el consumo de proteína. El nivel de infección de los animales afecta el consumo por una planta taninífera (*H. albicans*) en comparación con una poco taninífera (*L. leucocephala*), mientras que las cabras no infectadas consumen una especie sin taninos (*P. piscipula*). Concluyendo que una serie compleja de factores interaccionan para explicar el consumo en cabras (Torres-Fajardo *et al.*, 2018).

Los estudios de la conducta ingestiva en cabras juveniles con experiencia en ramoneo reportaron que las plantas más disponibles, fueron las más consumidas (Alonso-Díaz *et al.*, 2009; Hernández-Orduño *et al.*, 2012). Sin embargo, plantas poco consumidas o poco disponibles que contribuyen a la dieta total de cabras han sido poco estudiadas. Por lo tanto, investigar que otros factores pudieran estar limitando estos hallazgos, por ejemplo: la experiencia animal o la poca disponibilidad de estas plantas en las zonas de estudio; permitiría comprender como las cabras juveniles utilizan sus recursos para un mejor aprovechamiento de los nutrientes presentes en las plantas.

2.3. Factores que afectan el consumo animal

2.3.1. Edad y experiencia de las cabras

El consumo aumenta conforme la edad de los pequeños rumiantes se hace mayor, pero se establece y declina al final de la vida del animal (Araujo-Febres, 2005). Pocos son los estudios que han evaluado el efecto de la edad de las cabras sobre el consumo de especies forrajeras en estudios en confinamiento. De Rosa *et al.* (1997), señalaron que las cabras jóvenes mostraron una mayor tasa de consumo y masa del bocado para las gramíneas que para las leguminosas, mientras que en las cabras adultas este patrón no fue similar. Esta tasa de consumo se vio influenciada por las especies de plantas ofrecidas y no por la edad de los animales.

Otros autores mencionan que las cabras juveniles son más sensibles a los cambios de los compuestos secundarios explicando diferencias entre el consumo de gramíneas y leguminosas, demostrando que las cabras prefieren las especies más digestibles (Alonso-Díaz *et al.*, 2008).

Las cabras de 1 a 4 meses de edad criadas con sus madres consumieron 2.5 más veces el arbusto de *Coleogyne ramosissima*, que las cabras de la misma edad solitarias; las cabras que se alimentaron junto a su madre continuaron consumiendo 30% más de *C. ramosissima* que las cabras solitarias cuando se les permite elegir entre la especie poco nutritiva (*C. ramosissima*) y los pellets de alfalfa (Distel y Provenza, 1991). Por lo tanto, este estudio mostró que la edad no es un factor determinante en el consumo de los animales sino es más bien la falta de experiencia que limita su comportamiento alimenticio (Provenza y Malechek, 1986; Provenza *et al.*, 2003).

Bisson *et al.* (2001), evaluaron la experiencia de cabritos recién destetados y el uso del carbón activado sobre el consumo de dos plantas tóxicas (*Juniperus pinchotii* y *Juniperus ashei*), al ser ofrecidas individualmente y en conjunto; sus resultados demuestran un aumento en el consumo con el paso de los días, posiblemente por la adaptación de las cabras a los terpenoides de las plantas debido a la exposición previa a la que fueron sometidas, generando consecuencias postingestivas (Provenza *et al.*, 2003). Bisson *et al.* (2001), también señalaron que la previa experiencia no puede explicar por completo el consumo del *Juniper spp.* existiendo otros factores relacionados con el consumo de los forrajes.

2.3.2. Composición química de la dieta

En relación con la composición química de las plantas, Provenza *et al.* (1990), reportaron que los compuestos secundarios de las especies forrajeras pueden afectar el consumo de cabras, tales forrajes generan consecuencias post-ingestivas perjudiciales, principalmente en cabras jóvenes. Sin embargo, estos animales a pesar de su joven edad con el tiempo se adaptan para poder utilizar estos recursos. Otros estudios demuestran el uso de plantas forrajeras en diferentes niveles (25, 50 y 100 %) en sustitución de la dieta base (alfalfa y/o pasto) presentan resultados

similares en la alimentación de cabras, debido a su contenido similar de proteína cruda y taninos, y a sus bajos niveles de fibra (Okagbare *et al.*, 2004; Mellado *et al.*, 2008).

Riddle *et al.* (1996), evaluaron el consumo de aceites volátiles presentes en hojas de *J. ashei* y *J. pinchotii* en la dieta de cabras Angora y españolas. Reportando que el sexo de la planta no afecta la concentración de los aceites volátiles, mientras que la temporada de cosecha si afecta (primavera y verano > otoño e invierno). Ambas razas consumieron más *J. pinchotii*, y el consumo de las cabras estaba relacionado positivamente con algunos aceites, como el alcanfor, como resultado de niveles relativos en las 2 especies. Una estrategia de rechazo estaría relacionada con los aceites correlacionados negativamente. Las cabras probablemente seleccionaron el *J. ashei* evitando concentraciones elevadas de aceites correlacionados negativamente, como el sabineno+ β -pineno. Conocer estas interacciones pudiera servir para predecir el consumo usando recursos forrajeros diferentes a los estudiados pero que contienen compuestos similares.

Phimphachanhvongsod y Ledin (2002), evaluaron el efecto de diferentes niveles de hojas de *Gliricidia sepium* (0, 20, 30, 40 y 50 %) en una dieta de pasto de Guinea (*Panicum maximum*) sobre el consumo de cabras adultas. Señalaron que el aumento de la cantidad de *G. sepium* dio lugar a una ingesta similar de MS, materia orgánica (MO) y fibras entre tratamientos y el consumo de proteína cruda (PC) aumentó conforme el porcentaje de *G. sepium* incrementaba. Otro estudio utilizó niveles crecientes de *Acacia karroo* (20, 25, 30, 40 y 50 %) y un pasto *Setaria verticillata* para conocer el consumo de cabritos. Reportando que el nivel de fibra en la dieta aumentaba en relación con la inclusión de *A. karroo*, y que la dieta de 50:50 presentó un mejor consumo, y en combinación con niveles adecuados de minerales y bajos niveles de compuestos secundarios permiten una utilización de otros recursos en la dieta convencional de las cabras (Brown *et al.*, 2016). Ambos estudios concluyeron que niveles arriba del 30 % de *G. sepium* o *A. karroo* pueden servir para mantener adecuadas ganancias de peso y tasa de crecimiento en cabras adultas y/o juveniles a pesar de presentar niveles altos de fibra en la dieta.

Rogosic *et al.* (2006), señalaron que el uso de arbustivas mediterráneas, ayudan a mejorar el consumo de las cabras, cuando hay una variedad de especies con distintas concentraciones de compuestos secundarios, es decir, una complementariedad de las plantas, por ejemplo, con taninos y saponinas.

Las fracciones fibrosas afectan la digestibilidad de las dietas, retrasando las tasas de pasaje dentro del rumen, los animales pasan más tiempo digiriendo estos alimentos fibrosos y gastan energía que conlleva a una menor tasa de consumo (McDonald *et al.*, 2011). Todos estos estudios señalan que los niveles de fibra, compuestos secundarios y la digestibilidad de las especies forrajeras, pudieran ser factores que el animal en su interior relaciona con los alimentos para poder escoger una dieta variada que le permita desarrollar una homeostasis interna.

2.3.3. Factores ambientales (temperatura, humedad relativa y disponibilidad)

Un incremento de la temperatura ambiental que provoca un estado de incomodidad en el animal propicia que pasen menos tiempo consumiendo o de manera indirecta la alta luminosidad afecta la velocidad de madurez de las plantas y su contenido en paredes celulares, limitando el consumo de los rumiantes durante el pastoreo (Mejía, 2002; Araujo-Febres, 2005). En estabulación, la temperatura y humedad determina la conducta ingestiva, debido a que las cabras, consumen más sus alimentos a tempranas horas y rumian por la tarde, representado las horas más frescas para realizar estas actividades, cuando se les ofrecen una variedad de alimentos (Domingue *et al.*, 1991; Carvalho *et al.*, 2007).

En la SBC, la disponibilidad del forraje, distancia del agua y las temperaturas calurosas, son las principales limitaciones del consumo (Mejía, 2002). Los lugares de pastoreo comúnmente presentan una amplia variedad de plantas que pueden ser consumidas por el animal; la distribución a lo largo del área, el tamaño y la relación tallo:hoja de estas especies forrajeras modifican los bocados de los animales influyendo en su consumo (Tarazona *et al.*, 2012). La disponibilidad de las especies es un factor que se pudiera controlar con el uso de pruebas en confinamiento para tener estimadores más precisos. Un estudio evaluó plantas forrajeras en diferentes temporadas (secas y lluvias), concluyendo que las especies

disponibles varían de acuerdo con la temporada, y dentro de cada temporada, la variabilidad química y morfológica de las plantas influye en el consumo y aprovechamiento de estas especies por parte de las cabras (Egea *et al.*, 2014).

2.4. Estudios sobre selección de recursos forrajeros por cabras en el trópico

La selección es definida como la preferencia modificada o limitada por las situaciones ambientales, por ejemplo, disponibilidad y accesibilidad de los alimentos, que permite que los animales elijan ciertos forrajes en lugar de otros o partes específicas de las plantas (Parsons *et al.*, 1994; Allen *et al.*, 2011; Meier *et al.*, 2012). En fauna silvestre, los estudios de selección han sido válidos para cuantificar y comparar el grado de selectividad de los animales (Boitani y Fuller, 2000). En especies domésticas, el hecho de que las cabras puedan seleccionar un grupo de plantas o una especie de plantas en particular, sugiere que existen mecanismos inherentes entre las especies presentes y que esta selección es repetible y no al azar (Barroso *et al.*, 1995). El conocer como las cabras seleccionan su dieta, podría ayudar a un mejor manejo de las praderas y un mejor aprovechamiento de los recursos para cubrir sus necesidades nutricionales (Barroso *et al.*, 1995).

Para cuantificar la selección de los recursos se han utilizado los índices de selección, éstos se formulan con base en dos componentes principales: el consumo y la disponibilidad de los recursos (Atienza, 1994; Manly *et al.*, 2002). Se han desarrollado revisiones en donde se señalan los diferentes índices de selección de recursos (Cock, 1978; Fernández-Olalla y San Miguel, 2007). El primero fue el índice de Scott (1920), el cual no hace referencia a la relación de consumo y disponibilidad; en el índice de electividad (Ivlev, 1961) y el “forage ratio” (Savage, 1931), los valores de ambos índices dependen del alcance de la selección y de las abundancias relativas de los tipos de recursos en el ambiente; es decir, no son adecuados cuando se estudia la relación entre la selección y la abundancia relativa (Strauss, 1979). Jacobs (1974), adaptó el índice de Ivlev considerando que la disponibilidad se vuelve independiente de la selección, por lo cual, la pérdida de recurso disponible por el consumo no influye en la selección.

El índice α de Chesson, tiene en cuenta que la disponibilidad varía con el paso del tiempo, debido que, conforme el animal consume el alimento, hay menor recurso forrajero disponible. El recurso forrajero podría considerarse constantes si el alimento se fuera renovando conforme se consume, pudiéndose realizar experimentos en condiciones controladas (Cock, 1978; Chesson, 1983; Fernández-Olalla y San Miguel, 2007). Este índice es uno de los más utilizados en el estudio de las dietas de carnívoros, pero pueden aplicarse en caso de herbívoros (Ventura-Cordero *et al.*, 2018a).

Otros índices son el índice de preferencia relativa y el de Rodgers y Lewis, este último utilizado en pruebas de cafetería, considerando solamente el consumo total de los animales (Cock, 1978; Fernández-Olalla y San Miguel, 2007). Finalmente están los índices de Krueger y de Murdock, el primero no es muy usado en los estudios de selección, y el segundo sólo permite la evaluación de dos especies a la vez (Cock, 1978; Fernández-Olalla y San Miguel, 2007).

Los índices consideran que el consumo del recurso es proporcional a la biomasa disponible en el campo o en confinamiento. Así, la disponibilidad afecta la interpretación de la selección, debido a la diversidad de recursos disponibles para los herbívoros y la utilización de los alimentos en diversas escalas (Norbury y Sanson, 1992). Lechowicz (1982), menciona que las características deseables en cualquier índice de selección son: a) un modelo aleatorio, b) simetría, c) rango, d) linealidad, e) robustez, f) capacidad de prueba y g) estabilidad. Sin embargo, ninguno cumple todos esos rubros. La metodología de cada uno variará de acuerdo con el objetivo establecido del estudio y al grado de precisión solicitados (Lechowicz, 1982; Norbury y Sanson, 1992).

Las pruebas de elección sirven para medir esta selección, y permiten entender los factores que orientan a un animal sobre qué comer y cuanto, bajo condiciones controladas; estas se han realizado desde los años 90's; las pruebas de "cafetería", llamadas así debido a que se ofrecen alternativas diferentes (varios insumos al mismo tiempo) para medir la selección de los animales en confinamiento (Meier *et al.*, 2012; Ventura-Cordero *et al.*, 2017a; 2018a). Durante estas pruebas de selección no solo se puede observar el grado de malestar o enfermedad que

determinado alimento pueda causar a los pequeños rumiantes, además al entender la conducta animal, nos permite ajustar las estrategias de manejo para satisfacer los requerimientos nutricionales de un animal individualmente (Provenza *et al.*, 2003; Meier *et al.*, 2012).

Alonso-Díaz *et al.* (2008), mediante una prueba de cafetería, evaluaron el follaje de *Acacia pennatula*, *B. alicastrum*, *L. latisiliquum* y *P. piscipula*, concluyendo que las cabras jóvenes pueden discriminar entre sus alimentos seleccionando aquellos que sean más digestibles, teniendo así la oportunidad de optimizar sus tasas de consumo. Estos autores también señalaron que niveles bajos de taninos condensados (TC) no afectan el consumo de las cabras. También los animales pueden reducir la exposición a la depredación (Boitani y Fuller, 2000).

Ventura-Cordero *et al.* (2017a), evaluaron si la selección de recursos de los animales puede modificar su comportamiento alimenticio de acuerdo a su estado de parasitosis (alto, medio y sin parásitos), mediante una prueba de cafetería, utilizaron 12 cabras criollas adultas, en dos etapas (con infección natural y desparasitados), evaluó las especies *Viguera dentata*, *Mimosa bahamensis*, *L. leucocephala* y *G. floribundum*, y concluyeron que la parasitosis en las cabras no cambia la selección de los recursos, demostrando que estos animales escogieron o rechazaron las plantas, indistintamente de su composición química, es decir, un solo factor no puede definir el patrón de la selección de la dieta en estas cabras.

Estos estudios se realizaron con algunas de las especies forrajeras más disponibles de la SBC y utilizadas por las cabras en mayor proporción y no especies que se han reportado poco disponibles o consumidas. Sin embargo, la disponibilidad, como se mencionó con anterioridad, pudiera representar un sesgo en la selección y aprovechamiento en la dieta de los herbívoros (Norbury y Sanson, 1992). Es importante conocer medidas para conservar las praderas y mejoren la biodiversidad, favoreciendo el crecimiento y la supervivencia de las plantas, generando una correcta sucesión del hábitat (Boitani y Fuller, 2000).

2.5. Factores que afectan la selección animal

2.5.1. Estado fisiológico del animal

Un estudio en el noroeste de México reportó que las cabras gestantes seleccionaron una mayor proporción de pastos en comparación con las cabras no gestantes (8.1 vs 0.7 %), para cubrir sus requerimientos nutricionales; mientras que las cabras lactantes consumieron una mayor cantidad de herbáceas que las cabras vacías (38.2 vs 24.7) para obtener la cantidad de nutrientes requeridos durante la lactancia (Mellado *et al.*, 2005). Agrupar a los animales de acuerdo con su estado fisiológico permite disminuir la variación de selección y consumo entre los animales y evitar peleas a consecuencia de las jerarquías sociales (Barroso *et al.*, 2000). Mellado *et al.* (2004), evaluaron la selección entre cabras en crecimiento y adultas (secas y no gestantes), y entre cabras con diferente condición corporal (CC), señalando una mayor utilización de arbustivas por cabras adultas en comparación con las juveniles (70.4 vs 58.6%), y las cabras con pobre y moderada CC mostraron un aprovechamiento similar de especies arbustivas.

2.5.2. Características físicas del animal

Los herbívoros presentan diferencias anatómicas que provocan una mejor selección de las plantas y qué partes de éstas consumir, estas adaptaciones permiten un correcto procesamiento de los insumos (Tarazona *et al.*, 2012). Los pequeños rumiantes consumen las plantas o porciones de éstas, que son rápidamente digestibles (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Ventura-Cordero *et al.*, 2017a). Las diferencias anatómicas de mandíbula y dientes permiten clasificar a los animales en consumidores especialistas, los cuales pasan un mayor tiempo consumiendo una planta que sea nutritiva, y los consumidores generalistas que consumen una amplia gama de plantas, reduciendo su tiempo de búsqueda del recurso (Boitani y Fuller, 2000; Mellado *et al.*, 2007). Así, las cabras son un ejemplo de animales ramoneadores generalistas debido a la gran variedad de especies de plantas que pueden consumir en pastoreo (Hofmann, 1989).

2.5.3. Influencias sociales

Las interacciones sociales producen cambios conductuales, por ejemplo, los animales seleccionarán ambientes familiares sobre los nuevos, y estar con congéneres en lugar de animales extraños o de otra manada (Provenza *et al.*, 1992, 1998, 2003). Las interacciones con la madre, sus pares, aunados a las consecuencias ingestivas de los alimentos, ayudan a los animales jóvenes a presentar un óptimo forrajeo mediante la discriminación de los insumos presentes (Provenza *et al.*, 2003). Un estudio realizado en las Antillas francesas evaluó el rol de las influencias sociales sobre la selección de alimento por cabras criollas, demostró que animales jóvenes muestran elecciones por especies que consumieron sus madres o abuelas cuando se alojaban en el mismo grupo (Biquand y Biquand-Guyot, 1992). No solo los parientes directos son los únicos que afectan en el aprendizaje de las cabras jóvenes. La existencia de grupos de crías también tiene un papel en la adquisición de la selección de alimentos, debido al mutuo contacto de las cabras jóvenes, pudiendo establecer relaciones que conllevan a presentar experiencias similares, propiciando una nueva dieta (Biquand y Biquand-Guyot, 1992). Por lo tanto, la madre y otros animales de la misma edad y sus experiencias sociales a temprana edad se correlacionarán predictivamente con una conducta de alimentación selectiva característica.

2.5.4. Características físicas de las plantas

Las plantas pueden presentar características que modifiquen la selección de los animales, dentro de los que se pueden mencionar están la relación hoja:tallo, la presencia de espinas y otras defensas físicas que presentan estas especies y la presentación de forraje verde y maduro (Scogings *et al.*, 2004; Mkhize *et al.*, 2014). Wilson y Kerley (2003), reportaron que las cabras Boer aumentan la tasa de consumo de plantas con espinas y un mayor tamaño de bocados en comparación de los antílopes, concluyendo que la forma, la presencia de espinas y el tamaño de las hojas influyen en la selección de los animales ramoneadores. Estos autores además mencionan que la densidad de las espinas afecta negativamente la tasa de consumo en las cabras. Resultados similares se reportaron cuando cabras Nguni

fueron observadas en pastoreo, demostrando que las especies de planta, espinas y tamaños de hoja afectaron la selección de estos recursos (Fomun *et al.*, 2015).

La tasa de consumo parece asociarse con la densidad de los follajes. Esto se ha reportado en cabras juveniles con experiencia en ramoneo cuando se ofrecieron 4 forrajes arbustivos en una prueba de cafetería. En donde se reportó que la especie forrajera más densa (*B. alicastrum*) presentó bajas tasas de consumo (5.0 g MS/min) en comparación con *Havardia albicans* o *S. gaumeri* que son especies menos densas y presentaron mayores tasas de consumo 11.3 y 9.8 g MS/min, respectivamente (Hernández-Orduño *et al.*, 2012).

2.5.5. Experiencias previas en los rumiantes de los recursos forrajeros

La experiencia a temprana edad puede causar una serie de cambios (morfológicos, fisiológicos y neurológicos) que propician una mejor adaptación al ambiente y que influirían en el futuro comportamiento del animal (Distel y Provenza, 1991, Provenza *et al.*, 1998). Villalba y Provenza (2009), mencionaron que la socialización mejora el aprendizaje de los animales, ya que estos no descubren a partir de prueba y error, y su alimentación se basa en las consecuencias postingestivas (Provenza, 1995). Los animales sin experiencia, entrenados para elegir un limitado número de alimentos dentro de un ambiente, presentan menos posibilidades de explorar nuevas plantas e intentar complementar sus requerimientos nutricionales. Mientras que los animales entrenados, que han aprendido por medio de las consecuencias, una vez que son integrados a un grupo, pueden aprender sobre alimentos nuevos y elegir combinaciones de alimentos que sean beneficiosos, extendiendo su comportamiento hacia su descendencia (Villalba y Provenza, 2009).

Villalba *et al.* (2010), señalan que algunos animales presentan preferencias innatas al nacimiento. También presentan determinadas aversiones de alimentos en particular al controlar sensaciones de sabor (Provenza, 1995; Duncan y Young, 2002). Los animales, principalmente los pequeños rumiantes, toman porciones pequeñas de determinado alimento, en un tiempo determinado, para conocer el grado de sabor o toxicidad que estas plantas pudieran presentar. Esta

discriminación entre plantas es de vital ayuda para su supervivencia, ya que les permite reducir las afectaciones por metabolitos tóxicos y el aprovechamiento de especies de alto valor nutritivo, mediante sus sentidos poder rechazar o elegir insumos (Provenza *et al.*, 1990; Provenza *et al.*, 2003).

Algunos estudios demuestran que las cabras han desarrollado mecanismos conductuales como la utilización de recursos forrajeros con elevados compuestos secundarios, generando una experiencia de aprendizaje y logrando satisfacer sus requerimientos sin saturar sus vías de desintoxicación (Torres-Acosta *et al.*, 2008). Igualmente deben ser considerados los mecanismos fisiológicos como la presencia de la glándula parótida asociada con la producción de proteínas salivales vinculantes de taninos (PSVT), la identificación de bacterias resistentes a estos compuestos y un mecanismo de retroalimentación del metabolismo del nitrógeno en la producción de las proteínas ricas en prolina (PRPs), que en conjunto con las histatinas son identificadas como PSVT (Alonso-Díaz *et al.*, 2012; Ventura-Cordero *et al.*, 2013). Estos mecanismos logran que los pequeños rumiantes aprovechen el follaje de plantas ricas en taninos, desarrollando así alternativas más eficientes en el uso de los recursos forrajeros disponibles (Ventura-Cordero *et al.*, 2013; 2017b).

Las cabras juveniles que han sido alimentados con forrajes de baja calidad (alto contenido de P y bajo de N) o que contienen compuestos secundarios (fenólicos) durante el desarrollo temprano pueden generar mecanismos morfológicos y / o fisiológicos, debido a la experiencia, que mejoran la selección de determinados recursos (Distel y Provenza, 1991). Distel y Villalba (2018), señalaron que la influencia de la experiencia en el uso de recursos de baja calidad por las cabras proviene de la exposición en una etapa temprana de la vida, cuando los procesos neurológicos, fisiológicos y morfológicos pueden modificarse permitiendo un mejor forrajeo en su hábitat actual. De igual manera una exposición temprana a los compuestos secundarios puede aumentar la capacidad de las cabras para enfrentar este desafío, representando una alternativa novedosa para combatir enfermedades en los rumiantes (Distel y Villalba, 2018, Torres-Fajardo, *et al.*, 2018).

Provenza y Malechek (1986), estudiando la selección en cabras adultas y juveniles, alimentadas con praderas de *C. ramosissima*, investigaron si el efecto de

los requerimientos nutricionales de las cabras juveniles se orientaría hacia especies altamente proteicas y digestibles, y además si estos aspectos inducen al ramoneo por más tiempo. Se encontró que las dietas de cabras adultas y jóvenes fueron similares en cuanto a la proporción hoja:tallo y concentración de PC. Sin embargo, en las zonas poco diversas, es decir, zonas con menor presencia de *C. ramosissima* y *Juniperus osteosperma*, se consumieron dietas que tenían menor digestibilidad *in vitro* de la MO, lo que refleja el mayor uso de ramas viejas, y hierbas secas por los cabritos juveniles. Las cabras juveniles pasaron más tiempo buscando comida en las zonas poco diversas (animales juveniles 65%, adultos 47%) que en zonas con abundancia (animales juveniles 59%, adultos 41%), posiblemente porque había más hierba seca y disponible en la pradera poco diversa. Pudiéndose resumir la conducta ingestiva de estas cabras en tres factores, la disponibilidad, la experiencia y el aprendizaje que observaron de sus contrapartes adultas, logrando aprovechar mejor los recursos en el ambiente (Provenza y Malechek, 1986).

2.5.6. Composición química de las plantas

La PC es un aspecto de la composición química de las plantas que afecta la selección (McDonald *et al.*, 2011). Baraza *et al.* (2009), observaron que las características químicas entre diferentes especies fueron significativamente diferentes, y esta variación permite una amplia diversidad en la dieta para que los rumiantes cubran sus requerimientos. Otro estudio evaluó la eficiencia de alimentación en dos sistemas (tradicional vs elección) y la selección de cabras por seis especies de plantas, los resultados demostraron que cuando se le da una opción de elegir, las cabras son capaces de cubrir sus necesidades durante la variación en el estado fisiológico, es decir, un mayor porcentaje de proteína y menor cantidad de fibra en la dieta, demostrando que la nutrición de las cabras no depende de un solo nutriente (Fedele *et al.*, 2002). Sin embargo, la PC de las plantas es un índice poco confiable para predecir la selección de la dieta en cabras (Erfanzadeh *et al.*, 2014). Por otra parte, las fracciones fibrosas afectan la digestibilidad de las dietas y la selección de los recursos, ya que se ha reportado una correlación inversamente proporcional entre la fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente

ácida (FDA) y lignina y el índice de selección, en Sudáfrica utilizando cabras Nguni (Basha *et al.*, 2009), resultados similares se han encontrado en el trópico (Alonso-Díaz *et al.*, 2008).

Por último, se pueden mencionar a los compuestos secundarios de las plantas que se generan como un mecanismo en contra de la herbivoría, debido a que estos pueden generar un efecto negativo hacia los animales (Granados-Sánchez *et al.*, 2008). Dentro de los principales grupos de compuestos secundarios se puede mencionar a los fenoles (taninos, fitoestrógenos, cumarinas), las toxinas nitrogenadas (alcaloides, glucósidos cianogénicos, glucosinolatos, inhibidores de proteasas), terpenos (saponinas) y los oxalatos (Ramos *et al.*, 1998).

Ginane *et al.* (2005), utilizando cabras jóvenes y cuatro especies forrajeras con alto contenido en terpenos, y mediante estímulos condicionados (positivos y negativos), demostraron que las cabras son más reactivas a los estímulos negativos, disminuyendo o evitando la selección de especies que les provoquen aversiones, a pesar de presentar estímulos positivos (propionato de Na). Sin embargo, estos animales son más aptos para elegir mejor una dieta que le permita equilibrar la utilización de los compuestos secundarios presentes en las plantas y a sabores que pudieran afectar su conducta alimenticia (Provenza *et al.*, 1992; Robertson *et al.*, 2006).

Se ha reportado que las cabras pueden seleccionar plantas ricas en taninos (Basha *et al.*, 2009; Ventura-Cordero *et al.*, 2017a), señalando que una dieta diversa compuesta por recursos con diferente concentración de nutrientes y toxinas podría cumplir con la demanda nutricional y minimiza el riesgo de desbalances metabólicos (Provenza *et al.*, 2003; Distel y Villalba, 2007). Esto se debe de igual manera a los diferentes mecanismos conductuales y fisiológicos (proteínas salivales, como PRPs) de las cabras para contrarrestar los efectos negativos de los compuestos secundarios y aprovechen mejor los recursos forrajeros (Torres-Acosta *et al.*, 2008; Alonso-Díaz *et al.*, 2012; Ventura-Cordero *et al.*, 2013; 2017b).

Todos estos estudios demuestran que la selección de la dieta de las cabras, no se debe a un solo factor, es decir, la composición química y características de

las plantas, permite que estos animales aprovechen mejor los recursos, y es mediante una dieta variada que logran satisfacer sus requerimientos nutricionales.

2.5.7. Disponibilidad de los recursos forrajeros

Los herbívoros buscan los lugares que faciliten la cosecha de alimentos para alcanzar los nutrientes necesarios, también depende del grado de contaminación de las especies presentes por material de desecho de los animales (heces, orinas) (Tarazona *et al.*, 2012). La selección de la dieta varía de acuerdo con la disponibilidad de las especies forrajeras, y esto ha sido reportado por varios autores (Yayneshet *et al.*, 2008; Ventura-Cordero *et al.*, 2018b). Un estudio en Argentina demostró que las cabras seleccionaron su dieta en base a la disponibilidad de las plantas. Posteriormente se cosecharon los recursos forrajeros más seleccionados para utilizarlos en una prueba de cafetería, reportando una variabilidad química de las plantas, lo que sugiere que la selección de las plantas pudiera estar orientada por la composición química cuando los recursos son poco disponibles (Egea *et al.*, 2014).

En Yucatán, la época del año tiene efecto sobre la SBC al disminuir la disponibilidad y por consecuencia la oferta de las plantas. Se puede influir en la capacidad de selección de los pequeños rumiantes mediante el manejo del pastoreo, tanto en condiciones extensivas como en confinamiento. Como, por ejemplo, un tiempo corto durante el pastoreo, introduciendo animales con experiencia en el consumo de recursos poco disponibles o condicionando a los rumiantes a consumir nuevos recursos (Tarazona *et al.*, 2012). En situaciones en que el consumo del recurso es proporcional a la biomasa disponible en el campo, entonces el uso de índices de selección en recursos poco disponibles o que son poco consumidos en pastoreo, pudiera resultar subestimada (Norbury y Sanson, 1992). Consecuentemente, usar índices de selección de especies forrajeras que presentan un bajo valor de importancia relativo (VIR) obtenido en condiciones de campo de la SBC y compararlos con resultados obtenidos en condiciones controladas donde se evite el efecto de la disponibilidad, puede ayudar a reducir el

sesgo en la valoración de estas especies de plantas y así conocer el grado de utilización por los animales.

Pocos son los estudios que han demostrado la evaluación de la disponibilidad de determinadas plantas en el trópico (Rios y Riley, 1985; Ventura-Cordero *et al.*, 2018b). Para poder estimar los índices de selección de estos recursos forrajeros también es necesario conocer el consumo que presentan estos pequeños rumiantes, lo cual ha sido reportado por cabras en confinamiento (Alonso-Díaz *et al.*, 2009; Pech-Cervantes *et al.*, 2016). Dentro de estos estudios en cafetería, se ha dado énfasis en los recursos que aportan el mayor porcentaje de la MS consumida en la dieta de las cabras, y que se corresponde con las especies con mayor disponibilidad en la SBC (Ventura-Cordero *et al.*, 2017a; 2018a).

Sin embargo, la dieta de los animales incluye una variedad de especies consumidas en pastoreo a lo largo del año. En los estudios previos también se reportan especies que son poco consumidas por las cabras (<1% de la MS), relacionados a su disponibilidad. Conocer la utilidad potencial de los insumos que, posiblemente por efecto de baja disponibilidad, son poco consumidos aumentará las alternativas de recursos forrajeros y permitiría mejorar el diseño de sistemas agro-pastoriles al contar con recursos adicionales que contribuyan a optimizar la salud y nutrición animal (Alayon-Gamboa y Álvarez-Flores, 2017).

La presente tesis es uno de los primeros trabajos que evalúan los insumos menos consumidos por parte de las cabras juveniles. Es importante entender los hábitos de selección de dieta de los animales, y conocer que factores están involucrados. Se ha estudiado los efectos aislados de las características químicas y la disponibilidad de las plantas, y de la experiencia de las cabras sobre el consumo de recursos, pero se ha evaluado poco el cómo estas características interactúan para afectar la selección de los animales. El uso de los índices de selección en pruebas de cafetería puede ayudar a reducir el sesgo en el consumo de las especies forrajeras poco disponibles, y conocer los cambios alimenticios debidos a la experiencia, podrían señalar si las cabras pueden aprovechar mejor sus recursos.

2.6. Recursos forrajeros de la SBC poco consumidos por cabras

En Yucatán existen 1.5 millones ha que albergan vegetación secundaria con diferentes estadios de sucesión, y con una gran variedad de especies con un alto valor forrajero (Flores *et al.*, 2006). Por lo cual, es importante el uso de sistemas basados en la vegetación secundaria, que son económicos para su establecimiento, pudiendo usar en conjunto con la ganadería tradicional (Zapata *et al.*, 2009).

Se ha reportado el consumo de árboles y arbustos de la SBC por cabras en condiciones de pastoreo durante las épocas de secas (González-Pech *et al.*, 2015) y de lluvias (Ventura-Cordero *et al.*, 2019). Las plantas de la SBC también tienen un potencial como nutraceúticos (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Hoste *et al.*, 2015). La mayoría de las especies estudiadas son aquellas que se encuentran de manera más abundante en las áreas de pastoreo. Sin embargo, también es importante conocer sobre la conducta de selección y consumo de las cabras de aquellos recursos que en condiciones de pastoreo de la SBC son poco consumidos o de baja disponibilidad. Por medio de estudios controlados en confinamiento sería posible evaluar si los patrones de alimentación de estas especies son similares a lo observado en condiciones de pastoreo.

Las especies utilizadas en este estudio son: *Caesalpinia gaumeri*, *Cordia alliodora*, *Senegalia gaumeri*, *Neomillspaughia emarginata*, *G. floribundum*, *P. piscipula*, los criterios de selección de estos forrajeros se muestran en el Cuadro 1. El consumo de especies forrajeras parece depender de las características físicas de la planta, su palatabilidad y su disponibilidad. Para poder clasificarlas en relación con que impacto tienen dentro de un ecosistema, se utiliza el VIR, que toma en cuenta la dominancia (biomasa disponible), la densidad y frecuencia relativa en el campo (Dzib-Castillo *et al.*, 2014). Por lo tanto, los recursos forrajeros evaluados en este estudio se pueden clasificar en dos grupos: alto impacto en el ecosistema o mayor presencia de los recursos forrajeros ($VIR > 12$) y con poco impacto o menor presencia de ciertos recursos forrajeros dentro del ecosistema ($VIR < 12$), como ha sido reportado en el estudio realizado por Dzib-Castillo *et al.* (2014), para recursos forrajeros de la SBC.

Estas especies presentan una diversidad en su composición química: especies altamente proteicas (*S. gaumeri*), con alta presencia de compuestos secundarios (*N. emerginata*) y con alta digestibilidad (*C. alliodora*). Varían también en su forma física siendo hojas grandes u hojas pequeñas. Observando la poca disponibilidad de cada una pero que han sido reportadas consumidas entre 10 - 15 g MS /animal /día (González-Pech *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Criterios de selección y composición química de plantas forrajeras reportadas como poco consumidas presentes en la SBC.

| Criterios | <i>Caesalpinia gaumeri</i> | <i>Cordia alliodora</i> | <i>Senegalia gaumeri</i> | <i>Neomillspaughia emarginata</i> | <i>Gymnopodium floribundum</i> | <i>Piscidia piscipula</i> |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| CMS/g | 15.1 | 11.1 | 15.0 | 14.9 | 22.0 | 44.7 |
| VIR | 8.37 | 1.03 | 2.62 | 2.52 | 12.19 | 23.6 |
| Biomasa Kg/MS/Ha | 15.3 | - | - | 16.3 | 1132.8 | - |
| Disponibilidad % | 1.0 | - | - | 1.1 | 75.5 | - |
| Formato | Arbustiva bipinada | Arbustiva hoja grande | Arbustiva bipinada | Arbustiva hoja grande | Arbustiva hoja pequeña | Arbustiva hoja grande |
| Composición química (%) | | | | | | |
| Presencia TC | 0 | 0 – 6.9 | 1 – 2.4 | 37.5 | 33.8 | 0.8 – 9.7 |
| DIVMS | 40.38 | 60.6 | 74.1 | 11.6 | 40.8 | 37.1 |
| PC | 16.2 | 7.8 | 17.5 | 11.4 | 9.88 | 13.2 |
| FDN | 45.8 | 53.8 | 41.1 | 45.8 | 47.4 | 43.5 |
| FDA | 29.6 | 47.1 | 19 | 35 | 35.0 | 31.0 |

CMS = Consumo de materia seca, VIR = Valor de importancia relativa (contribución de las plantas en un determinado ecosistema), TC = taninos condensados, DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca, PC = Proteína cruda, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácida (Ayala-Burgos *et al.*, 2006; Dzib-Castillo *et al.*, 2014; González-Pech *et al.*, 2015; Ventura-Cordero *et al.*, 2018a; 2019).

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la experiencia de ramoneo de cabras juveniles, la calidad nutricional de los recursos forrajeros y su interacción, sobre la selección y consumo de seis recursos forrajeros de la selva baja caducifolia, mediante una prueba de cafetería.

3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la composición química, digestibilidad y compuestos secundarios de seis recursos forrajeros utilizados en cabras juveniles con y sin experiencia de ramoneo.
- b) Determinar los índices de selección de seis recursos forrajeros ofrecidos a cabras juveniles con y sin experiencia de ramoneo en una prueba de cafetería.
- c) Cuantificar el consumo de cabras juveniles con y sin experiencia de ramoneo sobre seis recursos forrajeros por medio del ofrecimiento *ad libitum* en una prueba de cafetería.

IV. HIPÓTESIS

La experiencia de las cabras juveniles no afectará la selección y el consumo de los recursos forrajeros estudiados, pero esta selección y consumo si se verán afectadas por la calidad nutricional de los recursos forrajeros, cuando éstos son ofrecidos *ad libitum* en una prueba de cafetería.

VI. REFERENCIAS

Alayon-Gamboa JA y Álvarez-Flores F 2017. Diversidad e importancia de la vegetación secundaria en un sistema silvopastoril en Yucatán, México. *Agroproductividad* 10(2), 60-64.

Allen VG, Batello C, Berretta EJ, Hodgson J, Kothmann M, Li X, Mclvor J, Milne J, Morris C, Peeters A y Sanderson M 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 6,2-28.

Alonso-Díaz MA, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA y Capetillo-Leal CM 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, 69-74.

Alonso-Díaz MA, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Canul-Ku HL y Hoste H 2009. Intake of tropical tanniniferous plants by goats and sheep when offered as a sole fed. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 11, 255-258.

Alonso-Díaz MA, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Hoste H, Aguilar-Caballero AJ y Capetillo-Leal CM 2008. Is goats' preference of forage trees affected by their tannin or fiber content when offered in cafeteria experiments? *Animal Feed Science and Technology* 141(1-2), 36-48.

Araujo-Febres O 2005. Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad de Sulia, Venezuela, pp 2-12.

Atienza JC 1994. La utilización de índices en el estudio de la selección de recursos. *Ardeola* 41(2), 173-175.

Ayala-Burgos A, Cetina-Góngora R, Capetillo-Leal C, Zapata-Campos C y Sandoval-Castro CA 2006. Composición química-nutricional de árboles forrajeros. *Compilación de análisis del laboratorio de nutrición animal. UADY-FMVZ, Yucatán, México.*

Baraza E, Hódar JA y Zamora R 2009. Consequences of plant-chemical diversity for domestic goat food preference in Mediterranean forests. *Acta Oecologica* 35, 117-127.

Barroso FG, Alados CL y Boza J 1995. Food selection by domestic goats in Mediterranean arid shrublands. *Journal of Arid Environments* 31, 205–217.

Barroso FG, Alados CL y Boza J 2000. Social hierarchy in the domestic goat: effect on food habits and production. *Applied Animal Behaviour Science* 69, 35–53.

Basha NAD, Scogings PF y Nsahlai IV 2009. Diet selection by Nguni goats in the Zululand Thornveld. *South African Journal of Animal Science* 39(suppl. 1), 33-36.

Basha NAD, Scogings PF, Dziba LE y Nsahlaim IV 2012. Diet selection of Nguni goats in relation to season, chemistry and physical properties of browse in sub-humid subtropical savanna. *Small Ruminant Research* 102, 163-171.

Biquand S y Biquand-Guyot V 1992. The influence of peers, lineage and environment on food selection of the criollo goat (*Capra hircus*). *Applied Animal Behaviour Science* 34, 231-245.

Bisson MG, Scott CB y Taylor CA 2001. Activated charcoal and experience affect intake of juniper by goats. *Journal of Range Management* 54, 274–278.

Boitani L y Fuller TK 2000. *Research techniques in animal ecology, controversies and consequences*. Columbia University Press. NY, USA.

Brown D, Ng'ambi JW y Norris D 2016. Voluntary intake and palatability indices of Pedi goats fed different levels of *Acacia karroo* leaf meal by cafeteria method. *Indian Journal of Animal Research* 50(1), 41-47.

Carvalho GG, Viera PA, Oliveira SH, Mattos VC y Rodrigues SR 2007. Aspectos metodológicos do comportamento ingestivo de cabras lactantes alimentadas com farelo de cacau e torta de dendê. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36, 103–110.

Chesson J 1983. The estimation and analysis of preference and its relationship to foraging models. *Ecology* 64(5), 1297-1304.

Cock MJW 1978. The assessment of preference. *Journal of Animal Ecology* 47, 805–816.

De Rosa G, Fedele V, Napolitano F, Gubitosi L, Bordi A y Rubino R 1997. Dietary preferences in adult and juvenile goat. *Animal Science* 65, 457–463.

Distel RA y Provenza FD 1991. Experience early in life affects voluntary intake of blackbrush by goats. *Journal of Chemical Ecology* 17(2), 431-450.

Distel RA y Villalba JJ 2007. Diversidad vegetal, selección de dieta y producción animal. *Revista Argentina de Producción Animal* 27, 55-63.

Distel RA y Villalba JJ 2018. Use of unpalatable forages by ruminants: the influence of experience with the biophysical and social environment. *Animals (Basel)* 8(4), pii: E56.

Domingue BF, Dellow DW y Barry TN 1991. The efficiency of chewing during eating and ruminating in goats and sheep. *British Journal of Nutrition* 65, 355–363.

Duncan AJ y Young SA 2002. Can goats learn about foods through conditioned food aversions and preferences when multiple food options are simultaneously available? *Journal of Animal Science* 80, 2091–2098.

Dzib-Castillo B, Chanatásig-Vaca C y González-Valdivia N 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, 167-178.

Egea AV, Allegretti L, Paez-Lama S, Grilli D, Sartor C, Fucili M, Guevara JC y Passera C 2014. Selective behavior of Creole goats in response to the functional heterogeneity of native forage species in the central Monte desert, Argentina. *Small Ruminant Research* 120, 90–99.

Erfanzadeh R, Hosseini-Kahnuj SH y Pétilon J 2014. Crude protein content does not determine the preference value of plant species for the raini goat (*Capra aegagrus hircus* L.) in dry rangelands. *Desert* 19, 35-43.

Fedele V, Claps S, Rubino R, Calandrelli M y Pilla AM 2002. Effect of free-choice and traditional feeding systems on goat feeding behaviour and intake. *Livestock Production Science* 74, 19–31.

Fernández-Olalla M y San Miguel AA 2007. La selección de dieta en los fitófagos: conceptos, métodos e índices. *Pastos* 37, 5–47.

Flores SJ, Vermont-Ricalde RM y Kantún-Balam JM 2006. Leguminosae diversity in the Yucatan Peninsula and its importance for sheep and goat feeding. In: Sandoval-Castro CA, Hovell D, Torres-Acosta JFJ y Ayala-Burgos A (Eds.).

Herbivores: assessment of intake, digestibility and the roles of secondary compounds pp. 291-299.

Fomum SW, Scogings PF, Dziba LE y Nsahlai IV 2015. Seasonal variations in diet selection of Nguni goats: effects of physical and chemical traits of browse. *African Journal of Range and Forage Science* 32(3), 193-201.

Ginane C, Duncan AJ, Young SA, Elston DA y Gordon IJ 2005. Herbivore diet selection in response to simulated variation in nutrient rewards and plant secondary compounds. *Animal Behaviour* 69(3), 541-550.

Glasser TA, Ungar ED, Landau SY, Perevolotsky A, Muklada H y Walker JW 2009. Breed and maternal effects on the intake of tannin-rich browse by juvenile domestic goats (*Capra hircus*). *Applied Animal Behaviour Science* 119 (1–2), 71–77.

González-Pech PG, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA y 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, 128–134.

Granados–Sánchez D, Ruíz–Puga P y Barrera–Escorcia H 2008. Ecología de la herbivoría. *Revista Chapingo* 14(1), 51-63.

Hernández-Orduño G, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Aguilar-Caballero AJ, Capetillo-Leal CM y Alonso-Díaz MA 2012. In cafeteria trials with tannin rich plants, tannins do not modify foliage preference of goats with browsing experience. *Ethology Ecology and Evolution* 24, 332–343.

Hofmann RR 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78(4), 443-457.

Hoste H, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Mueller-Harvey I, Sotiraki, S, Louvandini H, Thamsborg SM y Terrill TH 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology* 212, 5–17.

Ivlev VS 1961. *Experimental Ecology of the Feeding of Fishes*. Yale University Press, New Haven, USA.

Jacobs J 1974. Quantitative measurements of food selection a modification of the forage ration and Ivlev's selective index. *Oecologia* 14, 413-417.

Jaimez-Rodríguez PR 2016. Conducta ingestiva de cabritos centinelas en la selva baja caducifolia y su relación con la infección con nematodos gastrointestinales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

Jansen DA, van Langevelde F, de Boer WF y Kirkman KP 2007. Optimisation or satiation, testing diet selection rules in goats. *Small Ruminant Research* 73, 160-168.

Lechowicz MJ 1982. The sampling characteristics of electivity indices. *Oecologia* 52, 22-30.

Manly FB, McDonald LL, Thomas DL, McDonald TL y Erickson W 2002. Resource selection by animals statistical: design and analysis for field studies, 2ª. Edición. Edit. Western EcoSystems Technology Inc., Cheyenne, Wyoming, USA.

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA y Wilkinson. RA 2011. Animal nutrition. 7th ed. Prentice Hall., UK.

Meier JS, Kreuzer M y Marquardt S 2012. Design and methodology of choice feeding experiments with ruminant livestock. *Applied Animal Behaviour Science* 140, 105-120.

Mejía HJ 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria* 12(3), 56-63.

Mellado M, Olivares L, Pittroff W, Díaz H, López R y Villareal JA 2007. Oral morphology and dietary choices of goats on rangeland. *Small Ruminant Research* 71, 194-199.

Mellado M, Rodríguez A, Olvera A, Villarreal JA y López R 2004. Age and body condition score and diets of grazing goats. *Journal of Range Management* 57(5), 517-523.

Mellado M, Rodríguez A, Villarreal JA y Olvera A 2005. The effect of pregnancy and lactation on diet composition and dietary preference of goats in a desert rangeland. *Small Ruminant Research* 58, 79-85.

Mellado M, Salas G y Pittroff W 2008. *Sphaeralcea angustifolia* as a substitute for alfalfa for growing goats. *Rangeland Ecology and Management*, 61(4), 405-411.

Minson DJ 1990. *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press. San Diego, California, USA.

Mkhize NR, Scogings PF, Nsahlai IV y Dziba LE 2014. Diet selection of goats depends on season: roles of plant physical and chemical traits. *African Journal of Range and Forage Science* 31(3), 209-214.

Morand-Fehr P 2003. Dietary choices of goats at the trough. *Small Ruminant Research* 49, 231–239.

Norbury GL y Sanson GD 1992. Problems measuring diet selection of terrestrial mammalian herbivores. *Australian Journal of Ecology* 17, 1–7.

Okagbare GO, Akpodiete OJ, Esiekpe O, Onagbesan OM 2004. Evaluation of *Gmelina arborea* leaves supplemented with grasses (*Panicum maximum* and *Pennisetum purpureum*) as feed for West African Dwarf goats. *Tropical Animal Health and Production* 36(6), 593-598.

Papachristou TG, Dziba LE y Provenza FD 2005. Foraging ecology of goats and sheep on wooded rangelands. *Small Ruminant Research* 59, 141-156.

Parsons AJ, Newman JA, Penning PD, Harvey A y Orr RJ 1994. Diet preference of sheep: effects of recent diet, physiological state and species abundance. *Journal of Animal Ecology* 63, 465-478.

Pech-Cervantes AA, Ventura-Cordero J, Capetillo-Leal CM, Torres-Acosta JFJ y Sandoval-Castro CA 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, 101–108.

Phimphachanhvongsod V y Ledin I 2002. Performance of growing goats fed *Panicum maximum* and leaves of *Gliricidia sepium*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 15(11), 1585-1590.

Provenza FD 1995. Post ingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Journal of Range Management* 48, 2–17.

Provenza FD y Malechek JC 1986. A comparison of food selection and foraging behavior in juvenile and adult goats. *Applied Animal Behaviour Science* 16, 49-61.

Provenza FD, Burritt EA, Clausen TP, Bryant JP, Reichardt PB y Distel RA 1990. Conditioned flavor aversion: a mechanism for goats to avoid condensed tannins in blackbrush. *The American Naturalist* 136(6), 810-828.

Provenza FD, Pfister JA y Cheney CD 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *Journal of Range Management* 45, 36-45.

Provenza FD, Villalba JJ, Cheney CD y Werner SJ 1998. Self-organization of foraging behaviour: From simplicity to complexity without goals. *Nutrition Research Reviews* 11, 199-222.

Provenza FD, Villalba JJ, Dziba LE, Atwood SB y Banner RE 2003. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Research* 49, 257–274.

Ramos G, Frutos P, Giráldez FJ y Mantecón AR 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Archivos de zootecnia* 47, 597-620.

Riddle RR, Taylor CA, Kothmann MM y Huston JE 1996. Volatile oil contents of ashe and redberry juniper and its relationship to preference by Angora and Spanish goats. *Journal of Range Management* 49, 35-41.

Rios G y Riley JA 1985. Preliminary studies on the utilization of the natural vegetation in the henequén zone of Yucatán for the production of goats I. Selective and nutritive value of native plants. *Tropical Animal Production* 10, 1-10.

Robertson E, Gordon IJ y Pérez-Barbería FJ 2006. Preferences of sheep and goats for straw pellets treated with different food-flavouring agents. *Small Ruminant Research* 63, 50–57.

Rogosic J, Estell RE, Skobic D, Martinovic A y Maric S 2006. Role of species diversity and secondary compound complementarity on diet selection of mediterranean shrubs by goats. *Journal of Chemical Ecology* 32, 1279–1287.

Savage RE 1931. The relation between the feeding of the herring off the east coast of England and the plankton of the surrounding waters. Fishery Investigation. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries. Series, 2, 12, 1-88, London.

Scogings PF, Dziba LE y Gordon IJ 2004. Leaf chemistry of woody plants in relation to season, canopy retention and goat browsing in a semiarid subtropical savanna. *Austral Ecology* 29, 278–286.

Scott A 1920. Food of Port Erin Mackerel in 1919. Report of the Lancashire Sea-Fisheries Laboratories, 28.

Strauss RE 1979. Reliability estimates for Ivlev's electivity index, the forage ratio, and a proposed linear index of food selection. *Transactions of the America Fisheries Society* 108, 44-352.

Tarazona AM, Ceballos MC, Naranjo JF y Cuartas CA 2012. Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 25(3), 1-10.

Torres-Acosta JFJ, Alonso-Díaz MA, Hoste H, Sandoval-Castro CA y Aguilar-Caballero AJ 2008. Positive and negative effects in goat production arising from the intake of tannin rich forage. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 9, 83–90.

Torres-Fajardo RA, González-Pech PG, Ventura-Cordero J, Ortiz-Ocampo GI, Sandoval-Castro CA y Torres-Acosta JFJ 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, 49–55.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Jaimez-Rodríguez P, Ortiz-Ocampo GI, Sandoval-Castro CA y Torres-Acosta JFJ 2017a. Gastrointestinal nematode infection does not affect selection of tropical foliage by goats in a cafeteria trial. *Tropical Animal Health and Production* 49(1), 97–104.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Jaimez-Rodríguez PR, Ortiz-Ocampo GI, Sandoval-Castro CA y Torres-Acosta JFJ 2018a. Feed resource selection of Criollo goats artificially infected with *Haemonchus contortus*: nutritional wisdom and prophylactic self-medication. *Animal* 12(6), 1269-1276.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Sandoval-Castro CA, Torres-Acosta JFJ y Tun-Garrido J 2018b. Feed resource selection by Criollo goats browsing a tropical deciduous forest. *Animal Production Science* 58(12), 2314–2320.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA y 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), 66–72.

Ventura-Cordero J, Pech-Cervantes A, Sandoval-Castro C, Torres-Acosta JFJ, González-Pech PG y Sarmiento-Franco L 2013. Relación herbívoro-tanino: adaptación de ovinos y caprinos a la vegetación rica en taninos de la Península de Yucatán. *Bioagrocencias* 6(1), 19-25.

Ventura-Cordero J, Sandoval-Castro CA, Torres-Acosta JFJ y Capetillo-Leal CM 2017b. Do goats have a salivary constitutive response to tannins? *Journal of Applied Animal Research* 45, 29–34.

Villalba JJ y Provenza FD 2009. Learning and dietary choice in herbivore. *Rangeland Ecology & Management* 62(5), 399-406.

Villalba JJ, Provenza FD y Manteca X 2010. Links between ruminants' food preference and their welfare. *Animal* 4(7), 1240-1247.

Wilson SL y Kerley GI 2003. The effect of plant spinescence on the foraging efficiency of bushbuck and boer goats: browsers of similar body size. *Journal of Arid Environments* 55, 150-158.

Yayneshet T, Eik LO y Moe SR 2008. Influences of fallow age and season on the foraging behavior and diet selection pattern of goats (*Capra hircus* L.). *Small Ruminant Research* 77, 25-37.

Zapata BG, Bautista ZF y Astier CM 2009. Caracterización forrajera de un sistema silvopastoril de vegetación secundaria con base en la aptitud de suelo. *Técnica Pecuaria en México* 47(3), 257-270.

VI. ARTÍCULO CIENTÍFICO

SELECCIÓN DE RECURSOS FORRAJEROS DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA
EN UNA PRUEBA DE CAFETERÍA POR CABRAS JUVENILES: EXPERIENCIA
versus COMPOSICIÓN QUÍMICA.

G.A. Ortiz-Domínguez¹, J.F.J. Torres-Acosta y C.A. Sandoval-Castro

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán,
Km 15.5 Carretera Mérida- Xmatkuil 97315 Mérida, Yucatán, México.*

¹Autor por correspondencia: Gabriel Ortiz-Domínguez. E-mail:
gabo293azul@gmail.com

Título corto: Selección de forrajes por cabras juveniles

Este artículo fue elaborado conforme a la guía para autores de la revista Animal

Resumen

Este estudio evaluó el efecto de la experiencia de ramoneo de cabras juveniles, la calidad nutricional de los recursos forrajeros y su interacción, sobre la selección y consumo de seis recursos forrajeros de la selva baja caducifolia, mediante una prueba de cafetería. Se evaluaron seis follajes secos, considerando su importancia en la selva baja caducifolia (*Cordia alliodora*, *Caesalpinia gaumeri*, *Neomillspaughia emarginata*, *Senegalia gaumeri*, *Piscidia piscipula* y *Gymnopodium floribundum*). Se utilizaron 12 cabras hembras criollas juveniles de 7 – 9 meses de edad (22 ± 3 kg de peso vivo), divididas en dos grupos ($n = 6$): con experiencia (CE) y sin experiencia (SE) en ramoneo. El experimento se dividió en 3 fases: adaptación a corrales, adaptación a los forrajes y periodo de medición. La dieta base de las cabras fue alimento balanceado y pasto *Pennisetum purpureum*. Se realizó una prueba de cafetería para evaluar la selección de los follajes usando el índice α de Chesson, y el consumo de estas. Se determinó la densidad y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO) de las plantas y se realizaron las correlaciones y regresiones entre las variables nutricionales y las de conducta. El follaje de *S. gaumeri* presentó los resultados de proteína (19.1 %) y densidad (0.059 g/cm^3) más altos. La DIVMS (58.5 %) y DIVMO (63.1 %) fue mayor en el forraje de *Cordia alliodora*. Mientras que *N. emarginata* mostró los niveles más bajos de DIVMS (25.6 %), DIVMO (26.7 %) y densidad (0.015 g/cm^3). Las cabras SE seleccionaron el follaje de *N. emarginata*, mientras que las cabras CE seleccionaron más follaje de *P. piscipula*. Ambos grupos seleccionaron follaje de *S. gaumeri* ($P < 0.05$). Las regresiones mostraron que en el grupo CE los taninos, grasas y la digestibilidad influyeron sobre la selección ($R^2 = 63.97$; $P < 0.01$), mientras que fibra detergente ácida y taninos afectaron el consumo ($R^2 = 53.89$; $P < 0.01$). Para el grupo SE no se encontraron asociaciones significativas entre las variables evaluadas. Se concluye que la interacción entre la experiencia animal y el valor nutricional de los forrajes permite seleccionar y consumir las plantas de mejor calidad nutricional cuando se ofrecen *ad libitum* durante una prueba de cafetería.

Palabras clave: Selección, experiencia caprina, follaje nativo, consumo, prueba de cafetería

Implicaciones

En el presente estudio se demuestra que la experiencia de ramoneo orienta la selección y el consumo hacia aquellos recursos forrajeros de mejor calidad nutricional cuando no hay restricción en su oferta (estudio de cafetería). Los animales con experiencia de ramoneo mostraron capacidad para evitar compuestos secundarios y optimizar la selección y el consumo de plantas de mejor digestibilidad. Este protocolo de cafetería permitió identificar la selección y el patrón de consumo de plantas poco disponibles en la vegetación. Esta metodología pudiera ayudar a identificar aquellos recursos forrajeros que puedan ser útiles para la alimentación de pequeños rumiantes y también sirve para descartar los recursos que no consumen a pesar de tener una buena composición química *in vitro* o estar presentes en abundancia.

Introducción

La selección se define como la preferencia modificada por las situaciones ambientales (disponibilidad y accesibilidad de los recursos), que permite que los animales elijan ciertos forrajes en lugar de otros o partes específicas de las plantas (Allen *et al.*, 2011). Estos mismos autores definen el consumo animal como la cantidad de materia seca ingerida en determinado tiempo. La selección y el consumo de una dieta variada permite a los herbívoros cubrir sus necesidades nutricionales (Provenza *et al.*, 2003). Estas conductas pueden verse modificadas por varios factores. En algunas condiciones, los recursos varían de acuerdo con su presencia en el ambiente, mientras más presente se encuentre el recurso en la pradera, será más factible que las cabras los seleccionen y consuman (Egea *et al.*, 2014). Esto concuerda con la teoría del forrajeo óptimo que señala que una mayor presencia del recurso en la pradera, permite un menor gasto de energía en la búsqueda de dichos recursos (Papachristou *et al.*, 2005).

Los estudios de conducta de ingestión de cabras en la vegetación de la selva baja caducifolia (SBC) mostraron que estos animales son capaces de consumir hasta 51 especies de plantas en época de lluvias (Ventura-Cordero *et al.*, 2019). Entre las plantas seleccionadas y consumidas en estas praderas se encuentran especies de

plantas que, de acuerdo con Dzib-Castillo *et al.* (2014), pueden clasificarse como de elevado valor de importancia relativa (VIR) en el ecosistema, y otras como recursos de bajo VIR. De estas últimas se desconoce si su nivel de consumo está limitado por el bajo VIR o si el bajo consumo está relacionado con otros aspectos como: composición química y contenido de compuestos polifenólicos (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Hernández-Orduño *et al.*, 2012), presencia de otros compuestos secundarios (Ramos *et al.*, 1998) y la densidad o forma de las hojas (Morand-Fehr, 2003; Papachristou *et al.*, 2005; Egea *et al.*, 2014). Para que estos recursos de bajo VIR puedan ser considerados como recursos forrajeros con potencial para multiplicar en los sistemas de producción, es necesario conocer si son seleccionadas y consumidas por las cabras. Para demostrar si los recursos con bajo VIR son seleccionados es necesario usar la metodología de cafetería, ya que se ofrece la misma cantidad de los diferentes recursos que se estén evaluando y permite estimar los índices de selección de cada uno de ellos. Esta metodología ayuda a entender por qué los rumiantes eligen determinadas especies con relación a otras o que otros mecanismos influyen en la selección (Ventura-Cordero *et al.*, 2017; Torres-Fajardo *et al.*, 2018).

Un factor adicional que pudiera influir sobre la selección y consumo de los recursos forrajeros es la experiencia de ramoneo, ya que se ha demostrado que el aprendizaje explicó la utilización de plantas ricas en taninos en los cabritos, en vez de respuestas genéticas (Glasser *et al.*, 2009). Este factor de experiencia ha sido poco estudiado en condiciones controladas, y debe ser considerado en el momento de identificar la conducta de ingestión de los rumiantes.

Por lo tanto, el objetivo del experimento fue evaluar el efecto de la experiencia de ramoneo de cabras juveniles, la calidad nutricional de los recursos forrajeros y su interacción, sobre la selección y consumo de seis recursos forrajeros de la selva baja caducifolia, en una prueba de cafetería.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ-UADY) (20° 52' 7.14" N y 89° 37' 24.04" O). La colecta de las especies de plantas

se realizó en los alrededores de esta facultad y en la reserva ecológica CUXTAL, dentro de la zona de amortiguamiento, sub-zona de aprovechamiento sustentable y reconversión productiva (20° 47' 55" N, 89° 33' 40" O). El clima predominante en estas zonas es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (AW₀), temperatura media anual mayor de 26 °C, con una oscilación térmica de 5 a 7 °C (García, 1973).

Especies de plantas

Seis especies arbustivas fueron elegidas con base en reportes previos de su consumo por pequeños rumiantes en época de secas y de lluvias (González-Pech *et al.*, 2015; Ventura-Cordero *et al.*, 2019). También se consideró el VIR de dichas plantas, usándolo como medida de clasificación, es decir que el VIR aporta información para discriminar el impacto de las plantas dentro de un ecosistema, estimado a través de su dominancia, densidad y frecuencia relativa en el campo. Según Dzib-Castillo *et al.* (2014), las especies forrajeras con VIR > 12 son las que cuentan con mayor impacto, mientras que los recursos forrajeros con un VIR < 12 son los de menor impacto dentro del ecosistema. Así, las plantas seleccionadas se clasificaron en:

- VIR < 12 y con un consumo por pequeños rumiantes < al 1% de MS al día y sin reporte previo de selección en estudios de cafetería: *Cordia alliodora*, *Caesalpinia gaumeri*, *Neomillspaughia emarginata*, *Senegalia gaumeri*.
- VIR > 12 y con un consumo por pequeños rumiantes > al 1% de MS al día y es seleccionada en estudios de cafetería (Ventura-Cordero *et al.*, 2018): *Piscidia piscipula* (control positivo).
- VIR > 12 y un consumo por pequeños rumiantes > al 1% de MS al día y es evitada en estudios de cafetería (Ventura-Cordero *et al.*, 2017; 2018): *Gymnopodium floribundum* (control negativo).

Las especies forrajeras *P. piscipula* y *G. floribundum* fueron empleadas a manera de control para diferenciar que otros aspectos (disponibilidad en la SBC y/o composición química) influyen sobre la selección y consumo de los recursos forrajeros evaluados. Las seis especies forrajeras evaluadas se colectaron dos veces por semana de 8:00 – 11:00 am. Posteriormente se pre-secaron en un sitio

con circulación de aire, pero resguardado del sol. Se emplearon los peciolos con hojas o tallos, eliminando las ramas gruesas y las flores de las especies, simulando el material comestible reportado mediante la observación directa del pastoreo de los pequeños rumiantes (González-Pech *et al.*, 2015; Ventura-Cordero *et al.*, 2019). Se continuó el secado en estufas a 40 °C hasta alcanzar el peso constante. El material seco fue almacenado en contenedores plásticos hasta el día del experimento.

Animales experimentales y manejo general

Se utilizaron 12 cabras juveniles hembras criollas de 7 – 9 meses de edad (22 ± 3 kg de peso vivo [PV]) provenientes de dos granjas comerciales, conformando dos grupos ($n = 6$): cabras juveniles con experiencia (CE) y sin experiencia (SE) en ramoneo. Las cabras juveniles del grupo CE contaban con una experiencia mayor a 5 meses en el ramoneo de especies forrajeras. Mientras que en el grupo SE las cabras juveniles se mantuvieron en estabulación. Por lo tanto, no tuvieron contacto previo y no consumieron especies forrajeras en pastoreo. Para evitar la influencia de la interacción social en el consumo, se limitó el contacto de las cabras del grupo CE con las del grupo SE antes, durante o después de la prueba, manteniéndolas en corrales individuales de concreto de 3 x 3 m. Durante el período de conformación de grupos, las cabras se desparasitaron con levamisol (12 mg / kg PV, vía subcutánea) y ricobendazol (10 mg / kg PV, vía subcutánea) con la finalidad de mantenerlos libres de nematodos gastrointestinales que pudieran influir en el consumo. Los animales fueron alimentados con alimento balanceado y pasto *Pennisetum purpureum*, considerando un consumo del 3.5 % PV en MS. El ofrecimiento del agua se mantuvo *ad libitum*.

Periodo experimental

La prueba de cafetería constó de tres períodos: adaptación a los corrales, adaptación a los forrajes y período de mediciones. Los animales fueron pesados por las mañanas, al inicio y al final de cada periodo y con estos datos se obtuvieron las ganancias de peso promedio para cada grupo experimental.

Periodo de adaptación a los corrales. Tuvo una duración de diez días en los cuales los animales recibieron únicamente alimento balanceado para cubrir el 1.0 % de su PV en MS (250 g en MS) y pasto *P. purpureum*, para cubrir el 2.5 % de su PV en MS (625 g en MS), los alimentos fueron ofrecidos en recipientes plásticos individuales para cada alimento, además se les ofreció agua *ad libitum*.

Periodo de adaptación a las especies forrajeras. Este periodo tuvo una duración de cinco días, en el cual se ofreció alimento balanceado para cubrir el 1.0 % de su PV en MS (250 g en MS) a las 10:00 am. Durante este periodo de adaptación se ofrecieron 100 g MS sin ninguna oferta adicional de cada follaje experimental, tal cantidad es mayor al nivel de consumo reportado en otros estudios en condiciones de cafetería (Ventura-Cordero *et al.*, 2018). Los forrajes se ofrecieron simultáneamente dispuestos de manera individual en comederos plásticos fijados con alambres que fueron colocados a los costados del corral (tres recipientes de cada lado), con la finalidad de evitar pérdidas del material vegetal (Figura 1). Posteriormente a las 4:30 pm se ofreció pasto *P. purpureum* para cubrir el 2.5 % de su PV en MS (675 g en MS). Los datos de los rechazos de los forrajes experimentales se pesaron y anotaron.



Figura 2. Posición de los recipientes de los recursos forrajeros a evaluar dentro del corral durante la prueba de cafetería.

Periodo de mediciones. Este periodo tuvo una duración de seis días, al inicio de la prueba se ofrecieron en los comederos 200 g MS de cada especie de planta (*C.*

alliodora, *C. gaumeri*, *N. emarginata*, *S. gaumeri*, *G. floribundum* y *P. piscipula*). El periodo de medición de selección y consumo se llevó a cabo durante 30 minutos, la duración de esta medición se decidió en base a estudios previos donde el patrón de consumo reportado durante la primera hora se mantuvo similar al patrón observado considerando 4 horas de observación (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Hernández-Orduño *et al.*, 2012). Con el fin de evitar el aprendizaje condicionado (asociación) de las posiciones del recipiente con las plantas, estas se cambiaron cada día y se tomaron los datos correspondientes. Durante este periodo de medición, con la ayuda de observadores entrenados, se vigiló el consumo de las especies forrajeras para mantener la disponibilidad de los follajes *ad libitum*. Por ello en el momento que los comederos mostraron aproximadamente un 10% de la cantidad inicial se ofreció 50 g en MS adicional por recurso forrajero / animal / día.

Al finalizar el tiempo de observación, las cabras fueron sujetadas a un costado del corral para evitar su consumo y facilitar la colecta del material vegetal remanente, el cual fue pesado inmediatamente terminada la colecta de todos los recipientes. Para cubrir las necesidades de los animales se ofreció alimento balanceado y pasto en las cantidades y horarios antes mencionados en el periodo de adaptación a forrajes. En cuanto al pasto, los rechazos fueron pesados al día siguiente.

Consumo voluntario e índice de selección

El consumo voluntario fue medido como consumo de kg de MS por kg de PV metabólico (CMS/kg^{0.75}) del alimento balanceado, el follaje seco de los seis recursos forrajeros y el pasto *P. purpureum* se estimó como la diferencia entre las cantidades ofrecidas y rechazadas entre el PV metabólico. Se calculó el índice α de Chesson, el cual toma en cuenta que la disponibilidad varía con el paso del tiempo. Los recursos podrían considerarse constantes si el alimento se fuera renovando conforme se consume, lo cual se puede realizar mediante el relleno de las especies forrajeras en experimentos en condiciones controladas (Chesson, 1983).

La fórmula utilizada para estimar el índice α de Chesson fue: $\alpha_i = (o_i / \pi_i) / \sum (o_i / \pi_i)$

Donde, α es el índice de selección de Chesson para cada especie de planta i ; π la proporción de muestra de unidades utilizadas en la dieta (consumidas) para cada especie de planta i ; π la proporción de muestra de unidades disponibles en cada especie de planta i .

Este índice toma valores comprendidos entre 0 y 1, midiendo la fuerza de la selección de follaje por cabra, siendo la suma de todos los α para todas las especies consideradas igual a la unidad. Si $\alpha_i < (1 / \text{número de recursos})$, la especie i es rechazada; análogamente si $\alpha_i > (1 / \text{número de recursos})$, es seleccionada, si $\alpha_i = (1 / \text{número de recursos})$ indicaría una no selectividad (Chesson, 1983). Para este estudio el punto de no selectividad fue $\alpha_i = 0.16$, índices mayores a este número indican selección e índices menores indican rechazo de los recursos forrajeros.

Composición química y digestibilidades

La composición química de cada especie forrajera se determinó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la FMVZ-UADY. Los análisis realizados fueron: materia seca (MS), cenizas (CEN) y proteína (PC) (AOAC, 2002). Fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina (Lig) (Van Soest *et al.*, 1991). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO) se estimó siguiendo la metodología descrita por Barros-Rodríguez *et al.* (2012) modificación de Theodorou *et al.* (1994), usando la relación de medio y líquido ruminal de 70:30, respectivamente. Se utilizaron dos especies animales (caprino y bovino) como donadores de líquido ruminal. Se utilizó un medio enriquecido con N (+N) y uno sin N (-N) para conocer el aporte de este elemento por cada planta. Se utilizó el polietilenglicol (PEG), adicionado (+PEG) o no (-PEG) para bloquear los taninos presentes en cada especie de planta. La DIVMS se calculó por diferencia entre el peso antes y después de la incubación, corregida por el peso de las botellas sin sustrato. La DIVMO se calculó de manera similar que la DIVMS, pero utilizando el contenido de materia orgánica (MO) de las plantas. La energía metabolizable se calculó mediante la ecuación: $EM \text{ (MJ / kg MS)} = 0.016 \times \text{Materia orgánica digerible (\%)}$ (AFRC, 1993).

Determinación de los compuestos secundarios

El análisis cuantitativo de los compuestos secundarios incluyó: el contenido total de fenoles (FT) (Price y Butler, 1977), taninos totales (TT) (método de FolinCiocalteu + PVPP, Makkar *et al.*, 1993) y taninos condensados (TC) (método de Vainillina, Price *et al.*, 1978).

Densidad de los follajes experimentales.

Para determinar si la estructura de la planta puede orientar a la selección y/o consumo, se estimó la densidad de cada uno de los follajes secos enteros. Se midió el volumen (V) de un recipiente de plástico (13.5 L) y se pesó la cantidad que ocupa cada follaje (P), abarcando hasta el borde y sin presionarlo dentro del recipiente. La densidad (P/V) se midió 5 veces para cada follaje evaluado (Hernández-Orduño *et al.*, 2015).

Análisis estadístico

Se determinó la normalidad de los datos de los índices y de los consumos de materia seca (CMS/Kg^{0.75}) mediante las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk así como sus respectivas pruebas de homogeneidad de varianza (Levene). Las variables de respuesta fueron la selección y el consumo de cada planta por animal.

Los datos de selección se analizaron con un diseño de múltiples cuadrados latinos de 6 x 6, en donde la columna representó el día del experimento, la fila representó la posición de cada especie de follaje dentro del corral, los tratamientos fueron los 6 recursos forrajeros, el animal (cuadrado) se consideró como un factor aleatorio. La experiencia de pastoreo (con y sin) se incluyó en el modelo como factor de bloqueo. Para los datos de consumo (CMS/kg^{0.75}) se utilizó un arreglo factorial 6 x 2 (recursos forrajeros x experiencia de pastoreo) utilizando a cada cabra como unidad experimental.

El índice de selección y el CMS/Kg^{0.75} no presentaron una distribución normal ($P < 0.001$). El CMS/Kg^{0.75} fue transformado a logaritmo natural (n + 1), y posteriormente

fueron re-transformados a valores no logarítmicos para la interpretación de los resultados. Para el índice de selección y el CMS/Kg^{0.75} se utilizaron los PROC GLIMMIX del programa SAS (2011), y se evaluaron las interacciones entre experiencia x follaje. En los modelos, se especificó la distribución de la variable de respuesta apropiada (distribución beta) y la función de enlace (logit), y se usó una aproximación de contención para los grados de libertad del denominador.

Para comparar la DIVMS, DIVMO y la EM de los seis recursos forrajeros, el alimento balanceado y el pasto ofrecidos, se utilizó un diseño factorial 2 x 2 x 2. Los factores fueron: especie animal (líquido ruminal de cabra o vaca), adición de N en el medio (+N o -N) y adición de PEG (+PEG o -PEG), y los tratamientos fueron cada una de las 6 especies forrajeras ofrecidas a las cabras. En el modelo se incluyeron las interacciones Follaje x N, Follaje x PEG y Follaje x N x PEG. El factor especie no fue usado en las interacciones debido a que no tuvo efecto significativo sobre las variables de respuesta. La densidad (g/cm³) entre las diferentes especies forrajeras se comparó con un diseño completamente al azar. Para las comparaciones de digestibilidades de insumos y de las densidades de follajes se utilizó el PROC GLM del programa STATGRAPHICS (Statpoint Technologies Inc, 2009). En todos los casos, el valor de $P < 0.05$ se consideró estadísticamente significativo y para realizar la comparación entre medias se utilizó la prueba de Tukey.

Para el índice de selección y CMS/Kg^{0.75}, se determinó el grado de asociación entre cada variable de respuesta y contenido de nutrientes (PC, EE, CEN, FDN, FDA, Lig, EM), compuestos secundarios (TT, TC, FT), DIVMS, DIVMO y densidad de cada recurso forrajero para cada grupo de animales mediante correlaciones de Spearman con el programa STATGRAPHICS (Statpoint Technologies Inc, 2009). Se utilizó el proc STEPWISE (Minitab, 2007) para evaluar el mejor predictor o subconjunto de predictores. Los factores que mostraron asociación significativa ($P < 0.05$) fueron incluidas en un análisis de regresión utilizando el programa STATGRAPHICS (Statpoint Technologies Inc, 2009).

Resultados

Composición química

La composición química de los seis recursos forrajeros, del alimento balanceado y del pasto se presentan en la Cuadro 1. Los niveles de PC de las especies forrajeras variaron entre 10.8 – 19.1 %. Los porcentajes de EE de los follajes variaron entre 0.6 – 4.9. Los resultados de lignina fluctuaron entre 7.4 – 19.7 %. Rangos entre 2.4 – 7.4, 0.6 – 6.0 y 2.8 – 37.6 %, se obtuvieron al evaluar los FT, TT y TC, respectivamente. Mientras tanto los follajes de *C. gaumeri* y *C. alliodora* no mostraron niveles detectables de TC (Cuadro 1).

La DIVMS y la DIVMO se presentan en la Cuadro 1. Se identificaron diferencias entre especies forrajeras ($P < 0.001$). En general, el follaje de *C. alliodora* presentó la mayor DIVMS (58.5 %) y DIVMO (63.1 %). Por otro lado, el follaje de *N. emarginata* tuvo las menores DIVMS (25.6 %) y DIVMO (26.7 %). Los valores de densidad de todos los follajes fueron diferentes ($P < 0.05$, Cuadro 1). La mayor densidad fue la del follaje de *S. gaumeri* (0.059), por el contrario, el follaje de *N. emarginata* fue el menos denso (0.015, Cuadro 1).

En el Cuadro 2, se observa que la DIVMS de los follajes fueron mayores en aquellas incubaciones con el medio libre de N ($P < 0.02$) o en las muestras adicionadas con PEG ($P < 0.05$). Los resultados de la DIVMO y la EM mostraron un patrón similar a lo reportado para DIVMS (Cuadro 2). La interacción entre factores (Follaje × N, Follaje × PEG y Follaje × N × PEG) no resultó significativa ($P > 0.05$) en ninguno de los casos.

Cuadro 1. Composición química (%), contenido de compuestos secundarios (%), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%), energía metabolizable (MJ/kgMS) y la densidad (g/cm³) de seis recursos forrajeros pre-secados al aire libre presentes en la selva baja caducifolia de Yucatán, alimento balanceado y pasto *P. purpureum* ofrecidos a cabras juveniles.

| Insumo | MS | PC | EE | Cen | FDN | FDA | Lig | FT | TT | TC | DIVMS | DIVMO | EM ¹ | D |
|--|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 94.39 | 10.81 | 4.15 | 3.60 | 34.93 | 26.09 | 11.98 | 4.15 | 2.33 | ND | 47.92 ^b | 48.23 ^b | 7.43 ^b | 0.054 ^b |
| <i>Cordia alliodora</i> | 92.93 | 14.32 | 4.99 | 9.07 | 34.32 | 22.01 | 7.48 | 2.95 | 1.62 | ND | 58.59 ^a | 63.10 ^a | 9.18 ^a | 0.045 ^c |
| <i>Neomillspaughia emarginata</i> | 94.49 | 15.35 | 1.23 | 7.23 | 54.48 | 33.60 | 18.23 | 6.19 | 4.28 | 34.7 | 25.66 ^d | 26.76 ^d | 3.97 ^d | 0.015 ^f |
| <i>Senegalia gaumeri</i> | 95.65 | 19.11 | 3.83 | 6.97 | 41.58 | 29.48 | 14.45 | 2.73 | 0.85 | 2.89 | 38.60 ^c | 39.75 ^c | 5.91 ^c | 0.059 ^a |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 93.10 | 13.31 | 0.61 | 6.56 | 45.50 | 37.95 | 19.74 | 7.45 | 6.06 | 37.6 | 34.72 ^c | 35.59 ^c | 5.32 ^c | 0.030 ^d |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 92.57 | 14.48 | 3.27 | 9.51 | 39.94 | 26.84 | 13.86 | 2.46 | 0.69 | 15.1 | 35.19 ^c | 38.28 ^c | 5.54 ^c | 0.027 ^e |
| <i>Pennisetum purpureum</i> ² | 24.8 | 7.41 | 0.71 | 7.51 | 67.12 | 44.42 | 10.80 | 0.21 | 0.14 | ND | 47.56 | 47.90 | 7.08 | - |
| Alimento balanceado ² | 91.32 | 16.52 | 3.56 | 6.19 | 27.51 | 5.92 | 1.75 | 0.07 | ND | - | 83.75 | 84.77 | 12.72 | - |
| EEM | | | | | | | | | | | 1.799 | 1.562 | 0.233 | 0.0014 ³ |

EE = Extracto etéreo, FDN = Fibra Detergente Neutro, FDA = Fibra Detergente Acida, Lig = Lignina, FT = fenoles totales, TT = Taninos totales, TC = Taninos condensados, DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO = digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, D = densidad, ND = No detectado, - = no determinado, EEM = Error estándar de la media. *MS en base fresca
^{a,b,c,d,e,f,g} Medias con diferente literal dentro de la misma columna difieren significativamente ($P < 0.05$).

¹ = EM (MJ/kgMS) = 0.016 * Materia Orgánica Digestible.

² = MS en base fresca

³ = error estándar del estadístico

Cuadro 2. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%) y energía metabolizable (MJ/kgMS) totales de los seis recursos forrajeros, alimento balanceado y pasto, evaluados en medios libre (-N) o enriquecido con nitrógeno (+N) o adicionado con polietilenglicol (+PEG y -PEG).

| | N | | PEG | | EEM |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | + | - | + | - | |
| DIVMS | 37.94 ^b | 42.29 ^a | 41.79 ^a | 38.43 ^b | 1.039 |
| DIVMO | 39.99 ^b | 43.91 ^a | 43.71 ^a | 40.19 ^b | 0.902 |
| EM ¹ | 5.93 ^b | 6.51 ^a | 6.49 ^a | 5.96 ^b | 0.134 |

DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO = digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, EM = energía metabolizable, EEM = Error estándar de la media.

^{a,b} Medias dentro de cada grupo con diferente literal en la misma fila difieren significativamente ($P < 0.05$).

¹ = EM(MJ/kgMS) = 0.016 * Materia Orgánica Digestible.

Índice de selección y consumo en cabras juveniles

Al evaluar la selección entre grupos de cabras juveniles, se mostró una interacción experiencia*follaje ($P < 0.0001$), donde el follaje de *P. piscipula* fue seleccionado por el grupo CE y el follaje de *N. emarginata* fue seleccionado por el grupo SE ($P < 0.05$). Por otro lado, el follaje de *S. gaumeri* fue seleccionado con la misma intensidad por ambos grupos ($P > 0.05$). Ambos grupos de cabras juveniles rechazaron el follaje de *C. alliodora*, *G. floribundum* y *C. gaumeri* (Cuadro 3).

Los resultados de selección dentro de cada grupo señalan que las cabras SE no mostraron diferencias significativas en la selección de las diferentes especies forrajeras evaluadas ($P > 0.05$). Mientras tanto, dentro del grupo CE mostró mayor selección del follaje de *P. piscipula* y *S. gaumeri* ($P < 0.05$, Cuadro 3).

El consumo de la dieta total (pasto + concentrado + follajes) de los grupos de animales fue similar, las cabras CE consumieron 72.7 g MS / Kg^{0.75} al día, mientras que las cabras SE consumieron 70.5 g MS / Kg^{0.75} al día. El consumo de esta dieta total propició en promedio ganancias de peso (gdp) similares entre ambos grupos, siendo 100 y 99 g / d para el grupo CE y SE, respectivamente. Se presentó una interacción de experiencia*follaje ($P < 0.0003$), dentro del grupo SE, el CMS/Kg^{0.75}

de los recursos forrajeros fue semejante ($P > 0.05$). Dentro del grupo CE, el follaje de *S. gaumeri* y *P. piscipula* fueron más consumidas respecto a los otros cuatro recursos forrajeros ($P < 0.05$, Cuadro 4). Los resultados muestran que el grupo CE consumieron más follaje de *P. piscipula*, mientras que el follaje de *C. gaumeri* fue más consumido por el grupo SE ($P < 0.05$, Cuadro 4).

Las correlaciones mostraron una relación significativa y positiva entre el índice de selección y el contenido de PC ($r = 0.52$; $P < 0.001$) y la ceniza ($r = 0.56$; $P < 0.001$) en el grupo CE. Dentro de este mismo grupo de cabras juveniles se encontró una asociación directa y negativa entre el índice de selección y su contenido de FT ($r = -0.66$; $P < 0.001$) y TT ($r = -0.66$; $P < 0.001$). De manera semejante, el grupo CE mostró una relación directa y positiva entre el CMS/Kg^{0.75} y el contenido de PC ($r = 0.52$; $P < 0.001$) y la ceniza ($r = 0.53$; $P < 0.001$) y una asociación directa y negativa con el contenido de FT ($r = -0.61$; $P < 0.001$) y TT ($r = -0.61$; $P < 0.001$). El grupo SE no mostró relación entre el índice de selección o el CMS/Kg^{0.75} con las características de la dieta (composición química, valor nutricional y densidad) ($P > 0.05$). En las cabras con experiencia previa en el consumo de dichos follajes se encontró una relación entre el índice de selección y el contenido de TT, EE y DIVMS y entre el CMS/Kg^{0.75} y TT, FDA y CEN (Cuadro 5).

Cuadro 3. Índices de selección e intervalos de confianza (IC 95 %) de los seis recursos forrajeros evaluados en la prueba de cafetería durante 6 días por 30 minutos y su relación con la experiencia de ramoneo de cabras juveniles.

| Follaje | SE | | CE | | EEM |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|--------|
| | Media | IC 95 % | Media | IC 95 % | |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 0.139 ^{A a} | 0.067 – 0.266 | 0.030 ^{B b} | 0.009 – 0.092 | 0.0225 |
| <i>Cordia alliodora</i> | 0.090 ^{A a} | 0.041 – 0.188 | 0.071 ^{A b} | 0.031 – 0.156 | 0.0228 |
| <i>Neomillspaughia emarginata</i> | 0.215 ^{A a} | 0.108 – 0.382 | 0.049 ^{B b} | 0.020 – 0.115 | 0.0297 |
| <i>Senegalia gaumeri</i> | 0.182 ^{A a} | 0.089 – 0.336 | 0.339 ^{A a} | 0.186 – 0.534 | 0.0551 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 0.139 ^{A a} | 0.066 – 0.270 | 0.064 ^{A b} | 0.027 – 0.144 | 0.0267 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 0.083 ^{B a} | 0.036 – 0.176 | 0.454 ^{A a} | 0.274 – 0.647 | 0.0501 |

SE = grupo sin experiencia, CE = grupo con experiencia, IC = Intervalo de confianza, EEM = Error estándar de la media.

^{A,B} Medias con diferente literal entre grupos (filas) difieren significativamente ($P < 0.05$).

^{a,b} Medias con diferente literal dentro de cada grupo (columnas) difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 4. Consumos de materia seca por kilogramo de peso vivo metabólico (CMS/Kg^{0.75}) y sus intervalos de confianza (IC 95 %) de los seis recursos forrajeros evaluados en la prueba de cafetería durante 6 días por 30 minutos y su relación con la experiencia de ramoneo de cabras juveniles.

| Follaje | SE | | CE | | EEM |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|-------|
| | Media | IC 95% | Media | IC 95% | |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 3.35 ^{A a} | 2.19 – 5.04 | 1.45 ^{B b} | 1.16 – 2.21 | 0.068 |
| <i>Cordia alliodora</i> | 2.30 ^{A a} | 1.61 – 3.56 | 2.07 ^{A b} | 1.49 – 3.20 | 0.063 |
| <i>Neomillspaughia emarginata</i> | 2.89 ^{A a} | 1.86 – 4.64 | 1.75 ^{A b} | 1.33 – 2.64 | 0.067 |
| <i>Senegalia gaumeri</i> | 3.25 ^{A a} | 2.08 – 5.04 | 5.39 ^{A a} | 3.51 – 7.26 | 0.068 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 3.20 ^{A a} | 2.08 – 4.91 | 1.83 ^{A b} | 1.37 – 2.79 | 0.067 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 2.26 ^{B a} | 1.58 – 3.52 | 5.85 ^{A a} | 3.77 – 7.74 | 0.073 |
| EEM | 0.6597 | | | | |

SE = grupo sin experiencia, CE = grupo con experiencia, IC = Intervalo de confianza, EEM = Error estándar de la media.

^{A,B} Medias con diferente literal entre grupos (filas) difieren significativamente ($P < 0.05$).

^{a,b} Medias con diferente literal dentro de los grupos (columnas) difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 5. Asociación entre características de los recursos forrajeros e índice de selección y consumo (CMS/Kg^{0.75}) en cabras juveniles con experiencia (CE) en ramoneo.

| | | P | R ² | R ² _{Ajustada} |
|------------------------|---|-------|----------------|------------------------------------|
| Índice de selección | 1.03081(0.139) - 0.249135(0.047)*TT - 0.344102(0.091)*EE + 0.0206926(0.008)*DIVMS | 0.001 | 63.97 | 60.59 |
| CMS/Kg ^{0.75} | -8.15441(3.285) - 2.22475(0.367)*TT + 0.570188(0.136)*FDA | 0.001 | 53.89 | 51.10 |

TT = taninos totales, EE = extracto etéreo, DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca, FDA = fibra detergente ácida, R² = R-cuadrada.

Discusión

El objetivo del presente estudio fue evaluar la experiencia de ramoneo animal y la calidad nutricional de las plantas y la interacción entre estos factores, sobre la selección y consumo de seis recursos forrajeros ofertados a cabras juveniles. Los recursos forrajeros evaluados se eligieron con base en su impacto en el ecosistema, siendo uno de los primeros estudios en utilizar recursos forrajeros con menor impacto y/o abundancia en el ambiente. La baja disponibilidad en campo de estos recursos forrajeros posiblemente conducía al bajo consumo en las cabras, pero esto no se podía afirmar debido a que, en condiciones naturales de pastoreo, múltiples factores ambientales se ven involucrados en la modificación de la selección de las cabras. Por lo cual, el índice de selección generado a partir de una prueba de cafetería, a corto plazo, y similar disponibilidad de los recursos forrajeros permitió evaluar la selección de las cabras sin interferencias postingestivas o efectos de la abundancia (Morand-Fehr, 2003).

Valor nutricional de los forrajes

Los niveles de PC, fracciones fibrosas, compuestos secundarios y digestibilidades *in vitro* de los 6 recursos forrajeros evaluados son similares a lo reportado en el trópico (González-Pech *et al.*, 2015; Ventura-Cordero *et al.*, 2018; 2019). El porcentaje de PC (10 – 19 %) de las especies evaluadas sobrepasa el 8 % de PC necesario para mantener una función adecuada de los microorganismos del rumen (Van Soest, 1994). En pequeños rumiantes se ha demostrado que una menor densidad genera un mayor tiempo de manipulación de los recursos, es decir, una menor eficiencia en su consumo (Hernández-Orduño *et al.*, 2012; 2015). Estos autores reportaron que el follaje de *Brosimum alicastrum* genera una menor tasa de consumo posiblemente por su baja densidad (0.19), estos resultados son similares para el follaje de *N. emarginata* (0.15, Cuadro 1), lo cual propicia la elevación en los costos de la colecta por parte del animal.

El follaje de *S. gaumeri* se utilizó en ambos estudios, pero su densidad fue mayor a lo reportado por esos autores (0.59 vs 0.35, respectivamente), estas diferencias pudieran estar relacionadas con la parte de la hoja cosechada para la prueba, el secado del material y/o el estado de crecimiento de los follajes (Egea *et al.*, 2014). Sin embargo, *S. gaumeri* genera un menor gasto energético en su cosecha por su baja densidad, por lo cual es consumido por ambos grupos de cabras.

El uso del PEG mejoró la digestibilidad de los recursos forrajeros, al ser un bloqueador de taninos permite un mejor aprovechamiento de los recursos. Aunque el uso del PEG no siempre muestra respuestas positivas en el consumo (Pech-Cervantes *et al.*, 2016; Torres-Fajardo *et al.*, 2018), debido a que la conducta ingestiva en cabras es influenciada por otros factores (Alonso-Díaz *et al.*, 2008). La utilización de N en el medio no mejoró la digestibilidad, esto posiblemente por dos razones: a) la degradabilidad inherente del sustrato como de su contenido de N; b) una carencia de energía disponible por parte de los forrajes para iniciar el trabajo celulolítico. Se menciona que para una eficiencia de fermentación de los forrajes es importante satisfacer las necesidades de los microorganismos ruminales, por lo cual en dietas que contienen mucha proteína y pocos carbohidratos fermentables, la proteólisis ruminal excede a la síntesis microbiana (Mould *et al.*, 2005).

Por lo tanto, el valor nutricional de los recursos forrajeros evaluados, es decir, los cambios en la estructura (mayor densidad, mejor cantidad consumida del recurso), digestibilidad (recursos más digestibles se aprovechan rápidamente) y la composición química (cantidad de PC necesaria para cubrir las necesidades de la flora ruminal) generarían una selección y consumo de los recursos más proteicos y menos fibrosos, más digestibles y densos para obtener rápidamente la cantidad de alimento que el animal necesita para cubrir sus necesidades nutricionales.

La selección y consumo de las cabras juveniles: efecto de la experiencia.

Las cabras CE seleccionaron *P. piscipula*, mientras que el grupo SE no presentaron este mismo patrón seleccionando *N. emarginata* (Cuadro 3). Los rumiantes pueden utilizar dos tipos de mecanismos para valorar los forrajes: a) mediante mecanismos pre-ingestivos (Favreau-Peigné *et al.*, 2013), y b) mediante mecanismos post-

ingestivos (Provenza, 1995). La vista, olfato y gusto permiten una valoración sensorial de los recursos. Al incluir el factor aprendizaje, ya sea por medio de sus congéneres, o su madre (Provenza *et al.*, 2003), los animales adquieren experiencia y logran mejorar la utilización de sus recursos, presentando una dieta equilibrada entre nutrientes y los compuestos secundarios, para evitar excesos o deficiencias (Ventura-Cordero *et al.*, 2017; 2018), obteniendo una optimización de nutrientes en su dieta (Jansen *et al.*, 2007).

En este estudio las cabras CE seleccionan *P. piscipula*, recurso disponible con adecuado valor nutricional como se ha reportado en estudios previos (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Ventura-Cordero *et al.*, 2018). Ambos grupos seleccionaron *S. gaumeri*, especie poco disponible, pero con características nutricionales similares a *P. piscipula*. La selección de *S. gaumeri* pudiera servir como un mecanismo de utilización cosecha de nutrientes rápida que permite obtener la mayor cantidad de este recurso en un tiempo limitado para ambos grupos. Por lo tanto, el follaje de *S. gaumeri* puede considerarse como una opción más para alimentar a cabras juveniles y así diversificar su dieta diaria. Sin embargo, se ha reportado que en pastoreo la dieta de las cabras existe un desbalance de nutrientes, debido a que los animales consumen un gran número de especies forrajeras con elevado contenido de PC (Ventura-Cordero *et al.*, 2019). El consumo elevado de proteína implica un costo energético para disponer del exceso de N, por lo que los animales parecen también incluir en su dieta recursos “poco nutritivos”, es decir, con altas cantidades de compuestos secundarios, principalmente taninos o contenidos elevados de fibra, pero cuyo contenido de PC es menor. En este estudio la utilización del follaje de *N. emarginata* (34 % TC), pudiera servir como mecanismo de compensación del exceso de proteína que las cabras SE obtienen. Estos mecanismos de compensación con especies con elevados contenidos de compuestos secundarios, principalmente TT y TC, se ha reportado en pruebas de cafetería (Hernández-Orduño *et al.*, 2012; Ventura-Cordero *et al.*, 2017). Sin embargo, se señala la presencia de otros compuestos secundarios en los recursos forrajeros que pueden regular su utilización en las cabras (Ramos *et al.*, 1998).

Al evaluar la selección de cabras con lo reportado en condiciones de pastoreo, algunos autores mencionan que la disponibilidad de los recursos conduce a la selección de los recursos forrajeros presentes en el ambiente (Egea *et al.*, 2014). Sin embargo, en estabulación, la selección de cabras juveniles CE fue similar a lo reportado en condiciones naturales, debido que estos animales se guían hacia *P. piscipula* una especie de adecuado valor nutricional. Por su parte el grupo de cabras SE seleccionaron el forraje de *N. emarginata*, como se mencionó con anterioridad pudiera servir como mecanismo de compensación entre los nutrientes y taninos de la dieta o para propiciar un ambiente de llenado en el estómago cubriendo la cantidad de MS necesaria para el funcionamiento ruminal. Ambos grupos seleccionaron el forraje de *S. guameri*, esto pudiera estar relacionado a una mayor cantidad de alimento ingerido en menor tiempo, debido a la alta densidad de esta planta, a pesar de que se encuentra poco abundante en el campo. Esto sugiere que la disponibilidad de los forrajes genera discrepancias en la selección cuando se evalúan los resultados de cada recurso individualmente en comparación a lo reportado en pastoreo. Pero controlar la disponibilidad, en pruebas de cafetería demuestra la influencia de la experiencia animal y la composición de las plantas que permiten entender mejor la manera en cómo los animales balancean sus dietas en relación con su costo-beneficio (Jansen *et al.*, 2007). Reiterando que el aprendizaje de las cabras influye más que el conocimiento “innato” producto de la genética animal sobre la selección de los recursos (Glasser *et al.*, 2009). Esto se demuestra al comparar ambos grupos de animales, debido que el aprendizaje previo durante el pastoreo conduce las cabras del grupo CE seleccionar a *P. piscipula*, mientras sus contrapartes seleccionaron *N. emarginata*, a pesar tener ambos recursos forrajeros en igualdad de oferta.

Los resultados de consumo mostraron un patrón similar a la selección de las especies forrajeras en el grupo CE, demostrando que la integración de mecanismos pre y postingestivos y la adquisición de la experiencia aseguran la utilización de dietas con mejor calidad (Provenza *et al.*, 2003). A pesar de consumir más *C. guameri* que sus congéneres, el grupo SE consumió las 6 especies en cantidades similares (Cuadro 4), esto difiere a su selección debido a que estos animales

exploran entre los recursos ofrecidos, sin un patrón claro hacia los recursos más nutritivos. El consumo de especies poco nutritivas como *N. emarginata* y *G. floribundum* por estos animales pudiera deberse a mecanismos conductuales y fisiológicos, como las proteínas salivales ricas en prolina (PRPs) reducen los efectos negativos de los compuestos secundarios (Alonso-Díaz *et al.*, 2012).

La dieta integral (forrajes, alimento balanceado y pasto) se calculó para cubrir el 3.5 % de su PV (78.8 g/KgPV^{0.75}). El consumo de los forrajes evaluados por los grupos CE y SE fue de 18.34 y 17.25 g/KgPV^{0.75}, respectivamente. Este consumo representó un 21.9 % y 23.3 % del aporte de MS para los animales SE y CE respectivamente. A pesar de este bajo consumo de los recursos forrajeros, las cabras de ambos grupos no tuvieron una pérdida de peso a lo largo del estudio ganando en promedio 90 g/d. Esto representa una utilización diferente dentro de cada grupo con los follajes debido a que las cabras CE cubren este aporte de MS con los follajes de *P. piscipula* y *S. gaumeri* (5.8 y 5.3 g/KgPV^{0.75}, respectivamente), mientras que las cabras SE consumen cantidades similares de todos los follajes (3.3 – 2.3 g/KgPV^{0.75}, Cuadro 4). Los resultados de consumo por recurso forrajero fueron menores a lo reportado por Pech-Cervantes *et al.* (2016), pero similares a lo reportado por Gaudin *et al.* (2018). Este bajo consumo igual pudiera relacionarse con la poca cantidad de energía ofrecida por cada follaje, ya que se ha reportado una relación positiva entre la energía bruta y el consumo en cabras juveniles (Pritz *et al.*, 1997).

Selección y consumo en cabras juveniles: Interacción entre el valor nutricional y la experiencia animal

Los análisis de regresión de la selección de las cabras juveniles señalan la utilización de las especies forrajeras con bajas cantidades de TT y de EE, y que presenten una DIVMS moderada (mayor al 38 %), como es el caso del follaje de *P. piscipula* y *S. gaumeri*. Por su parte, el follaje de *C. alliodora*, a pesar de ser la especie más digestible y bajos niveles de TT, no fue seleccionada por ningún grupo de cabras. Esto debido posiblemente a su alto contenido de EE, que, a pesar de representar una fuente de energía, los rumiantes no toleran niveles de grasas en

los alimentos por arriba del 6 %, ya que se pudieran generar problemas para los animales debido a que las actividades de los microbios del rumen se reducen, la fermentación de la fibra se retrasa y disminuye la ingesta de alimentos (McDonald *et al.*, 2011). Otra posible explicación pudiera ser una sensación desagradable de esta especie debida a la presencia de otros compuestos secundarios que modifiquen el sabor de los recursos forrajeros reduciendo su utilización (Ramos *et al.*, 1998; Morand-Fehr, 2003); o como se ha reportado en cabritos cuando se ofertó *Chromonaela odorata* que, a pesar de ser altamente proteica y digestible no fue utilizada por su olor desagradable (Hai *et al.*, 2012), pero se necesitan más estudios sobre este aspecto sensorial de las plantas.

Se asume que el consumo de las especies forrajeras por el grupo CE, es limitado por un elevado contenido de TT, y favorecido por el contenido de FDA. Esto explica la utilización de especies como *P. piscipula* y *S. gaumeri* y el rechazo de las 4 especies forrajeras restantes. El contenido de lignina es un aspecto físico importante que limita el consumo de los forrajes (Alonso-Díaz *et al.*, 2008; Hernández-Orduño *et al.*, 2012). Pero el contenido de FDA moderado permite en las cabras juveniles un adecuado funcionamiento ruminal.

Se ha reportado el consumo de diversas especies forrajeras por parte de las cabras, incluidas especies con bajas concentraciones de PC, poco digestibles y con altas cantidades de TC, pero que en conjunto cubren las necesidades de los rumiantes (Ventura-Cordero *et al.*, 2017; 2018), esto pudo explicar la diferencia del consumo de las especies dentro del grupo con experiencia, debido a una mejor integración de los efectos pre y post-ingestivos de los recursos forrajeros, les permiten elegir especies que sean más digestibles y menos fibrosas, como sucedió con los follajes de *P. piscipula* y *S. gaumeri* para el grupo con experiencia.

Conclusión

En condiciones controladas, al ofrecer los forrajes en cantidades iguales, se demuestra que la experiencia animal y el valor nutricional de los forrajes influyeron en la selección y consumo de las cabras juveniles. Las cabras con experiencia seleccionaron y consumieron el follaje de las plantas con mayor PC y cenizas (S.

gaumeri y *P. piscipula*), evitando plantas con elevada cantidad de TT y TC. Mientras tanto, las cabras sin experiencia a pesar de seleccionar la planta con menor DIVMS y DIVMO y mayor contenido de TC (*N. emarginata*) consumieron los 6 follajes en cantidades semejantes. Ambos grupos de animales mantuvieron un crecimiento similar, pero al interactuar la experiencia animal y el valor nutricional de los forrajes, conduce a una optimización de los recursos en la dieta de las cabras juveniles con experiencia.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el CONACYT, México. El primer autor (G. A. Ortiz-Domínguez) agradece la beca de maestría del CONACYT (becario: 630970) y a la valiosa contribución durante la prueba de cafetería, cuidado de cabras y colecta de follajes del equipo de trabajo del Campus. Agradece también el apoyo de Concepción Capetillo y al equipo del laboratorio de Nutrición Animal de la FMVZ-UADY.

Declaración de interés

Los autores mencionan que no hay ningún conflicto de intereses asociado con este manuscrito.

Declaración ética

El manuscrito fue examinado, validado y aprobado por el Comité de Bioética de la FMVZ-UADY, bajo el núm. CB-CCBA-M-2019-003.

Fuentes de repositorio de datos y Software

Ninguno de los datos fue depositado en un repositorio oficial.

Referencias

Agriculture and Food Research Council (AFRC) 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients. CAB International. Wallingford, UK.

Allen VG, Batello C, Berretta EJ, Hodgson J, Kothmann M, Li X, Mclvor J, Milne J, Morris C, Peeters A y Sanderson M 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 6,2-28.

Alonso-Díaz MA, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA y Capetillo-Leal CM 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, 69-74.

Alonso-Díaz MA, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Hoste H, Aguilar-Caballero AJ y Capetillo-Leal CM 2008. Is goats' preference of forage trees affected by their tannin or fiber content when offered in cafeteria experiments? *Animal Feed Science and Technology* 141(1-2), 36-48.

Association of Official Analytical Chemist (AOAC) 2002. Official methods of analysis, 17th edition, AOAC, Washington, DC. USA.

Barros-Rodríguez M, Solorio-Sánchez J, Ku-Vera JC, Ayala-Burgos A, Sandoval-Castro CA y 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, 1873-1878.

Chesson J 1983. The Estimation and Analysis of Preference and Its Relationship to Foraging Models. *Ecology* 64(5), 1297-1304.

Dzib-Castillo B, Chantásig-Vaca C y González-Valdivia N 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, 167-178.

Egea AV, Allegretti L, Paez-Lama S, Grilli D, Sartor C, Fucili M, Guevara JC y Passera C 2014. Selective behavior of Creole goats in response to the functional heterogeneity of native forage species in the central Monte desert, Argentina. *Small Ruminant Research* 120, 90-99.

Favreau-Peigné A, Baumont R and Ginane C 2013. Food sensory characteristics: their unconsidered roles in the feeding behaviour of domestic ruminants. *Animal* 7(5), 806-813.

García E 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2da edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gaudin E., Costes-Thiré M, Villalba JJ, Hoste H, Gerfault V y Ginane C 2018. Relative abilities of young sheep and goats to self-medicate with tannin-rich sainfoin when infected with gastrointestinal nematode. *Animal* <https://doi.org/10.1017/S175173111800304X>, Published on line by Cambridge University Press 13 November 2018.

Glasser TA, Ungar ED, Landau SY, Perevolotsky A, Muklada H y Walker JW 2009. Breed and maternal effects on the intake of tannin-rich browse by juvenile domestic goats (*Capra hircus*). *Applied Animal Behaviour Science* 119 (1–2), 71–77.

González-Pech PG, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA y 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, 128–134.

Hai PV, Everts H, Van Tien D, Schonewille JT y Hendriks WH 2012. Feeding *Chromolaena odorata* during pregnancy to goat dams affects acceptance of this feedstuff by their offspring. *Applied Animal Behaviour Science* 137, 30–35.

Hernández-Orduño G, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Aguilar-Caballero AJ, Capetillo-Leal CM y Alonso-Díaz MA 2012. In cafeteria trials with tannin rich plants, tannins do not modify foliage preference of goats with browsing experience. *Ethology Ecology and Evolution* 24, 332–343.

Hernández-Orduño G, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Capetillo-Leal CM, Aguilar-Caballero AJ y Alonso-Díaz MA 2015. A tannin-blocking agent does not modify the preference of sheep towards tannin-containing plants. *Physiology & Behavior* 145, 106–111.

Jansen DA, van Langevelde F, de Boer WF y Kirkman KP 2007. Optimisation or satiation, testing diet selection rules in goats. *Small Ruminant Research* 73, 160–168.

Makkar HPS, Blummel M, Borowy NK y Becker K 1993. Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61, 161–165.

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA y Wilkinson. RA 2011. Animal nutrition. 7th ed. Prentice Hall., UK.

Minitab. Minitab release 15. 2007 Minitab reference manual. Philadelphia, USA. Minitab, State college, PA.

Morand-Fehr P 2003. Dietary choices of goats at the trough. Small Ruminant Research 49, 231–239.

Mould FL, Morgan R, Kliem KE y Krystallidou E 2005. A review and simplification of the *in vitro* incubation medium. Animal Feed Science and Technology 123–124, 155–172.

Papachristou TG, Dziba LE y Provenza FD 2005. Foraging ecology of goats and sheep on wooded rangelands. Small Ruminant Research 59, 141-156.

Pech-Cervantes AA, Ventura-Cordero J, Capetillo-Leal CM, Torres-Acosta JFJ y Sandoval-Castro CA 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, 101–108.

Price LM y Butler GL 1977. Rapid visual estimation and spectrophotometric of tannin contents of sorghum grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 25, 1268–1273.

Price ML, Van Scoyoc S y Butter LG 1978. A critical evaluation of the vanillin reactions as an assay for tannins in sorghum grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 26(5), 1214– 1218.

Pritz RK, Launchbaugh KL y Taylor Jr CA 1997. Effects of breed and dietary experience on juniper consumption by goats. Journal of Range Management 50, 600–606.

Provenza FD 1995. Post ingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. Journal of Range Management 48, 2–17.

Provenza FD, Villalba JJ, Dziba LE, Atwood SB y Banner RE 2003. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. Small Ruminant Research 49, 257–274.

Ramos G, Frutos P, Giráldez FJ y Mantecón AR 1998. Plants secondary compounds in herbivores nutrition. Archivos de zootecnia 47, 597-620.

SAS, versión 9.3 del sistema SAS para Windows. Copyright © 2011 SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Statpoint Technologies Inc. 2009. Statgraphics centurión XVI. Warranton, Virginia, USA.

Theodorou M, Williams B, Dhanoa M, Mcallan A y France J 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Animal Feed Science and Technology* 48, 185–197.

Torres-Fajardo RA, González-Pech PG, Ventura-Cordero J, Ortíz-Ocampo GI, Sandoval-Castro CA y Torres-Acosta JFJ 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, 49–55.

Van Soest PJ 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaca, USA.

Van Soest PJ, Robertson JB y Lewis BA 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharide in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10), 3583–3597.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Jaimez-Rodríguez P, Ortiz-Ocampo GI, Sandoval-Castro CA y Torres-Acosta JFJ 2017. Gastrointestinal nematode infection does not affect selection of tropical foliage by goats in a cafeteria trial. *Tropical Animal Health and Production* 49(1), 97–104.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Jaimez-Rodríguez PR, Ortiz-Ocampo GI, Sandoval-Castro CA y Torres-Acosta JFJ 2018. Feed resource selection of Criollo goats artificially infected with *Haemonchus contortus*: nutritional wisdom and prophylactic self-medication. *Animal* 12(6), 1269-1276.

Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA y 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), 66–72.