



MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN PRODUCCIÓN PECUARIA

**EFFECTO ASOCIATIVO DE *RICINUS COMMUNIS* L SOBRE LA PUNTA DE CAÑA
DE AZÚCAR PARA RUMIANTES**

TESIS

**Presentada como requisito parcial
para obtener el grado de
Maestro en Producción Pecuaria**

Tesista:	César Lara González.
Director de tesis:	DR. José Manuel Palma García.
Co-asesor:	DR. José Manuel Zorrilla Rios.
Comité Tutorial:	DR. José Mejía Haro. DR. Carlos U. Haübi Segura.

Guadalajara, Jalisco, Diciembre de 2015.

DEDICATORIA

A mis PAPAS

Don Humberto y Doña Herme

A mis HERMANOS

Oscar, Ricardo y Humberto

Ellos que siempre están, ejemplos de responsabilidad,

superación, valentía y trabajo .

Aliento cuando lo necesito

Consejos cuando los pido.

La mano cuando tropiezo.

A ellos

Les dedico este trabajo.

A mis SOBRINOS

Humberto, Fátima, Ricardo, Maite y Mateo

Todos ellos "Lara"

los motivos de mi familia, Cariño, alegría y diversión.

Y

por último a ti VIDA que me haz dado mucho y de todo.

AGRADECIMIENTOS

“Tienes que ir a hasta las pirámides de Egipto. Nunca oí hablar de ellas, pero si fue un niño el que te las mostró es por que existen. Allí encontrarás un tesoro que te hará rico”.

Del Lenguaje del mundo de La Vieja Gitana, Paulo Coelho

No se quien es Dios, ni donde habita y nunca lo he visto pasar, pero lo que si estoy seguro que gracias a el estoy aquí.

Por este motivo

Primero que nada “Gracias a Dios”

Me siento bastante agradecido por todas las personas que se han cruzado en mi camino y que gracias a ellos me he inspirado, alentado y crecido con su presencia. De esta manera quisiera expresar mi reconocimiento y gratitud a las siguientes personas por su extraordinario apoyo y sus contribuciones en mi paso por esta vida.

Por sus deseos, sus alientos, su presencia a lo largo de mi formación y que

cuidan mis pasos lose desde niño

Gracias a mi Mama y mi Papa.

Por su apoyo y consejos

Gracias a mis Hermanos; Oscar, Ricardo y Humberto.

De esta misma manera, agradezco al Dr. José Manuel Palma por compartir una forma de diferente de ver la cosas, por el apoyo incondicional y la confianza para terminar este trabajo. Alejandra Del Viento y su familia, me quedo corto con las palabras, estupenda amiga y compañera de trabajo. Dr. Carlos Haubi, agradezco sus atenciones en mi estancia en Aguascalientes y el apoyo para terminar este trabajo. Dr. Raúl Padilla V. otra forma del ser Veterinario, siempre con retos e innovaciones. Marco Medina H. gracias por tu confianza.

Y por ultimo gracias a mis compañeros de maestría, Liz, Carlos, Caro y por que no Fernando, esas pláticas largas, gente muy fina y buenas amistades.

**MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL
EN PRODUCCIÓN PECUARIA**



Votos aprobatorios

Dr. Javier Padilla Ramírez
Coordinador de posgrado
Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria.

Con base en el reglamento de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, le comunico que he revisado el trabajo de tesis que presenta M.V.Z. Cesar Lara González, para obtener el grado de Maestro en Producción Pecuaria, con el título:

**EFFECTO ASOCIATIVO DE *RICINUS COMMUNIS* L SOBRE LA PUNTA
DE CAÑA DE AZÚCAR PARA RUMIANTES**

En mi opinión, dicho trabajo de investigación que presenta el candidato cumple con los requisitos del programa, por lo que otorgo el VOTO APROBATORIO, para que pueda ser sustentado en el examen de grado correspondiente.

Se extiende la presente el día 18 de noviembre de 2015, para los fines administrativos que al interesado convengan.

ATENTAMENTE

Dr. José Manuel Palma García.
Universidad de Colima.

MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL
EN PRODUCCIÓN PECUARIA



DR. JAVIER PADILLA RAMÍREZ
COORDINADOR DE POSGRADO
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL
EN PRODUCCIÓN PECUARIA
PRESENTE:

Con base en el reglamento de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, le comunico que he revisado el trabajo de tesis que presenta **M.V.Z. César Lara González**, para obtener el grado de Maestro en Producción Pecuaria, con el título:

**EFFECTO ASOCIATIVO DE *RICINUS COMMUNIS* L SOBRE LA PUNTA DE
CAÑA DE AZÚCAR PARA RUMIANTES**

En mi opinión, dicho trabajo de investigación que presenta el candidato cumple con los requisitos del programa, por lo que otorgo el VOTO APROBATORIO, para que pueda ser sustentado en el examen de grado correspondiente.

Se extiende la presente el día 18 de Noviembre de 2015, para los fines administrativos que al interesado convengan.

ATENTAMENTE

DR. CARLOS URBAN HÄUBI SEGURA
PTC. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES
Ccp. ARCHIVO

MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL
EN PRODUCCIÓN PECUARIA



Votos aprobatorios

Dr. Javier Padilla Ramírez
Coordinador de posgrado
Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria.

Con base en el reglamento de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, le comunico que he revisado el trabajo de tesis que presenta M.V.Z. Cesar Lara González, para obtener el grado de Maestro en Producción Pecuaria, con el título:

**EFFECTO ASOCIATIVO DE *RICINUS COMMUNIS* L SOBRE LA PUNTA
DE CAÑA DE AZÚCAR PARA RUMIANTES**

En mi opinión, dicho trabajo de investigación que presenta el candidato cumple con los requisitos del programa, por lo que otorgo el VOTO APROBATORIO, para que pueda ser sustentado en el examen de grado correspondiente.

Se extiende la presente el día 30 de Octubre de 2015, para los fines administrativos que al interesado convengan.

ATENTAMENTE

Dr. José Mejía Haro.

Universidad de Guanajuato.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	4
2.1. Calidad de forrajes.....	4
2.1.1. Factores que afectan la digestibilidad de los forrajes.	5
2.1.1.1. Estado de madurez.....	5
2.1.1.2. Nivel de alimentación.....	5
2.1.1.3. Temperatura ambiental.....	5
2.1.1.4. Otros factores.	6
2.2. Consumo voluntario de forraje.....	6
2.2.1. Teorías del consumo voluntario.....	7
2.2.1.1. Teoría glucostática.....	8
2.2.1.2. Teoría termostática.....	8
2.2.1.3. Teoría lipostática.....	9
2.2.1.4. Señales metabólicas, neurotransmisores y hormonales.....	9
2.2.2. Factores individuales propios de los animales en el consumo.	9
2.2.2.1. Capacidad del retículo-rumen.....	10
2.2.2.2. Tipo y nivel de producción.	10
2.2.2.3. Otros factores.	10
2.2.3. Factores del hábitat que afectan la ingestión de alimentos por los rumiantes.	10
2.2.4. Factores relacionados a la alimentación que afectan el consumo voluntario.	11
2.2.5. Factores sociales que afectan el consumo voluntario.....	11
2.3. Asociación de forrajes, calidad y nuevas alternativas.....	13
2.3.1. Efectos de asociación en la digestibilidad de los alimentos.....	15
2.4. Alimentación con árboles y arbustos forrajeros.....	16
2.4.1. Metabolismo de las plantas y los factores antinutricionales.....	17
2.4.1.1. Fenoles.....	20
2.4.1.2. Alcaloides.	20
2.4.1.3. Glucósidos.....	22
2.4.1.4. Terpenos.....	22
2.5. Higuera (<i>Ricinus communis</i> L).....	24
2.5.1. Características generales.	24
2.5.2. Composición química, toxicidad, usos y aplicaciones.....	25
2.5.3. Utilización de <i>R. communis</i> en la alimentación animal.	27
2.5.4. Semillas	28
2.6. Uso de la caña de azúcar como forraje para la alimentación de ganado bovino.....	30

2.6.1. Residuos de la industria azucarera.....	31
2.6.1.1. Cachaza.....	31
2.6.1.2. Bagazo y bagacillo.....	31
2.6.1.3. Melaza.....	32
2.6.1.4. Punta o cogollo de caña de azúcar.....	33
2.6.1.4.1. Composición, valor nutritivo y digestibilidad de punta de caña de azúcar (PCA).....	33
2.7. Microorganismos del rumen.....	35
2.8. Digestibilidad de los nutrientes.....	37
2.9. Degradabilidad ruminal de las proteínas de la dieta.....	38
2.10. Síntesis de proteína microbiana.....	39
3. Hipótesis.....	41
4. Objetivo general.....	42
4.1. Objetivos particulares.....	42
5. Ensayos.....	43
5.1. Ensayo 1. Preferencia y consumo de diferentes partes morfológicas de harina de <i>Ricinus communis</i> L. por ovinos.....	43
5.1.1. Materiales y métodos.....	43
5.1.2. Resultados.....	45
5.2. Ensayo 2. Efecto de la melaza sobre la preferencia y consumo de las diferentes partes morfológicas de <i>Ricinus communis</i> L. por ovinos.....	49
5.2.1. Materiales y métodos.....	49
5.2.2. Resultados.....	52
5.3. Ensayo 3. Efecto de diferentes niveles de inclusión de la melaza sobre la preferencia y consumo de planta completa de <i>Ricinus communis</i> L. por ovinos.....	55
5.3.1. Materiales y métodos.....	55
5.3.2. Resultados.....	57
5.4. Ensayo 4. Determinación del efecto de diferentes niveles de inclusión de <i>R. communis</i> sobre la digestibilidad <i>in situ</i> de punta de caña de azúcar en bovinos.....	61
5.4.1. Materiales y métodos.....	61
5.4.2. Resultados.....	63
5.5. Ensayo 5. Evaluación del efecto asociativo de <i>R. communis</i> sobre la calidad forrajera de punta de caña de azúcar en la producción de gas <i>in vitro</i>.	68
5.5.1. Materiales y métodos.....	68
5.5.2. Resultados.....	69
6. Discusión general.....	76

6.1. Adaptación, preferencia y consumo.....	76
6.2. Calidad nutricional.	79
6.2.1. Digestibilidad <i>in situ</i> , producción de gas <i>in vitro</i> y efectos asociativos.....	79
7. Conclusión general.	82
8. Literatura citada	83

Tabla de cuadros

Cuadro 1. Cantidad de proteínas (nm) presentes en los extractos cetónicos de tejidos de Higuierilla (<i>R. communis</i>). _____	26
Cuadro 2. Contenido de nutrimentos en hojas de Higuierilla (<i>Ricinus communis</i>) en Colima, México. _____	28
Cuadro 3. Composición morfológica de la caña de azúcar (tallo y punta) en dos condiciones de cosecha en Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. _____	34
Cuadro 4. Clasificación funcional de las bacterias ruminales. _____	36
Cuadro 5. Porcentaje de inclusión, análisis químico y contenido de energía de la dieta base ofertada a ovinos en la prueba de cafetería de las diferentes partes morfológicas de <i>R. communis</i> . _____	44
Cuadro 6 Contenido nutrimental de las diferentes partes morfológicas de <i>R. communis</i> . _____	46
Cuadro 7. Preferencia de consumo (g/día) de las diferentes partes morfológicas de harina de <i>R. communis</i> por ovinos. _____	46
Cuadro 8. Porcentaje de inclusión y composición nutrimental de la dieta base ofertada a ovinos en la prueba de cafetería con las diferentes partes morfológicas de <i>R. communis</i> con y sin melaza. _____	51
Cuadro 9. Contenido nutricional de las diferentes partes morfológicas de <i>R. communis</i> con y sin melaza ofertados a ovinos en la prueba de cafetería. _____	52
Cuadro 10. Preferencia de consumo (g/día) de las diferentes partes morfológicas de harina de <i>R. communis</i> con y sin melaza en ovinos. _____	53

Cuadro 11. Porcentaje de inclusión y composición nutrimental de la dieta base ofertada a ovinos en la prueba de cafetería con diferentes niveles de inclusión de melaza en la planta completa de *R. communis*. _____ 56

Cuadro 12. Contenido nutricional de la planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusion de melaza. _____ 57

Cuadro 13. Preferencia de consumo (g/día) de la planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en ovinos. _____ 58

Cuadro 14. Descripción de tratamientos en la determinación del efecto de diferentes niveles de inclusión de *R. communis* sobre la digestibilidad *in situ* de punta de caña de azúcar en bovinos. _____ 62

Cuadro 15. Parámetros cinéticos de digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar con diferentes niveles de inclusión de hoja y planta completa de *R. communis*, referenciados con alfalfa y rastrojo de maíz. _____ 64

Cuadro 16. Efecto asociativo en digestibilidad *in situ* de las fracciones “a”, “b”, “a+b” y “c” de los tratamientos con hoja y planta completa de *R. communis*. _____ 65

Cuadro 17. Parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro* de la hoja de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar. _____ 70

Cuadro 18. Efecto de la planta completa de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar en los parámetros cinéticos de la producción de gas *in vitro*. _____ 73

Cuadro 19 . Efecto asociativo en producción de gas *in vitro* en las fracciones “a”, “b”, y “c” de punta de caña de azúcar con 30 % de hoja y planta completa de *R. communis*. _____ 75

Tabla de figuras

- Figura 1. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de las plantas. Tomado de Avalos y Pérez (2009). _____ 18
- Figura 2. *Ricinus communis* L. _____ 24
- Figura 3. Dinámica de preferencia de consumo de harina de las diferentes partes de *R. communis* de los ovinos. _____ 47
- Figura 4. Dinámica de consumo de diferentes partes morfológicas en forma de harina de *R. communis* por ovinos durante dos periodos: hoja (HRc) suma del resto de los tratamientos [pecíolo (PRc), tallo (TRc), hoja + pecíolo (HPRc) y planta completa (PCRc)] y dieta base (Db). *Dosis tóxica indicada por estos autores. _____ 48
- Figura 5. Dinámica de consumo en dos fases de la harina de hoja, de diferentes partes de morfológicas enmelazadas de *R. communis* y de la dieta base por ovinos. _____ 54
- Figura 6. Dinámica de preferencia de consumo de la planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en ovinos. _____ 58
- Figura 7. Consumo total de planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en relación a la dieta base en ovinos. _____ 59
- Figura 8. Consumo total promedio de la planta completa de *R. communis* con relación al porcentaje de melaza. _____ 60
- Figura 9. Consumo total promedio de la planta completa de *R. Communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en ovinos. _____ 60
- Figura 10. Dinámica de digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar, hoja y planta completa de *R. communis*, alfalfa y rastrojo de maíz. _____ 66

Figura 11. Dinámica de digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar y diferentes niveles de inclusión con hoja y planta completa de *R. communis*. _____ 67

Figura 12. Efecto de la asociación de la hoja de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar en la técnica de producción de gas *in vitro* mediante la función de Gompertz. _____ 71

Figura 13. Asociación de la hoja *R. communis* con punta de caña de azúcar sobre la tasa de digestibilidad en la producción de gas *in vitro*. _____ 72

Figura 14. Efecto de la asociación de la planta completa de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar en la técnica de producción de gas *in vitro* mediante la función de Gompertz. _____ 73

Figura 15. Asociación de la planta completa de *R. communis* con punta de caña de azúcar sobre la tasa de digestibilidad en la producción de gas *in vitro*. _____ 74

Resumen

Con el objetivo de mejorar la digestibilidad de la punta de caña de azúcar (PCA) como alimento para rumiantes, se asoció con *Ricinus communis* L. (Rc) como forraje no convencional. Para lo cual, se realizaron tres pruebas de cafetería con ovinos de entre 22 a 26 kg de peso vivo ubicados en jaulas individuales en donde se evaluó la preferencia y consumo de las diferentes partes morfológicas de *R. communis* (hojas, peciolo, tallos y planta completa) en todos los casos se determinó que la mayor preferencia y consumo fue para la hoja, inclusive cuando se incluyó la melaza como saborizante, llegando hasta 526 g de consumo de MS como hoja (33 % del total de la ración). Asimismo, se estudió los efectos de asociación de *R. communis* sobre PCA mediante la técnica de digestibilidad *in situ* y producción de gas *in vitro*. En la digestibilidad *in situ*, se demostró que *R. communis* presentó valores altos (94 % y 85 % a las 48 h para hoja y planta completa, respectivamente), estos forrajes se incluyeron en niveles de 15 y 30 % con PCA, en donde por medio de la ecuación de Orskov y McDonald, la fracción potencialmente degradable (a+b) de PCA con 30 % de hoja de *R. communis* (HRc) mostró un aumento de 9.8 % respecto a la PCA. Por otro lado, en la producción de gas *in vitro* mediante la ecuación de Gompertz, los tratamientos de PCA+HRc y PCA+PCRC (Planta completa de *R. communis*) presentaron un efecto favorable en la producción de mayores volúmenes de gas (a= 49.5 mL/g MS y a= 40.5 mL/g MS respectivamente) que la PCA sola (a= 30.1 mL/g MS). En ambos experimentos al combinar la PCA con HRc y PCRC, existió un efecto asociativo de tipo antagónico en la cinética de degradación de las fracciones “b y a+b” de la digestibilidad *in situ*, como para las fracciones “b y c” en la producción de gas *in vitro*. Se determinó que mediante un proceso de adaptación y selección los ovinos prefirieron y consumieron mayoritariamente la harina de hoja de *R. communis* en relación a las otras partes morfológicas de la planta, sin presencia de signos de intoxicación, además la digestibilidad y producción de gas de la PCA aumentó cuando se combinó con hoja o planta completa de *R. communis*.

Palabras claves: Digestibilidad, árboles, arbustivas, residuales agrícolas, selectividad.

Abstract

In order to improve the digestibility of sugar cane top (SCT) as feed for ruminants, it was associated with *Ricinus communis* L (Rc). By three tests cafeteria, sheep between 22-26 kg live weight placed in individual cages was evaluated the preference and consumption of different morphological parts of *R. communis* (leaves, petioles, stems and complete plant) in all cases, It found that the most preference and consumption was for the leaves, even when molasses was included as a flavoring, consuming up to 526 g MS as leaves (33 % of the total ration). The effects of association of *R. communis* on SCT was studied by *in situ* digestibility and *in vitro* gas production techniques. *In situ* digestibility it was shown to *R. communis* was high (94 % and 85 % at 48 h for leave and complete plant, respectively), these forages were included at levels of 15 and 30 % with SCT, where by Orskov and McDonald's equation the potentially degradable fraction (a+b) of SCT+HRc30 % showed an increase of 9.8 % compared to the STC. By other way, *in vitro* gas production by Gompertz's equation the treatments with SCT+HRc and SCT+PCRC had a favorable effect to produce larger volumes of gas (a= 49.5 mL/gDM and a= 40.5 mL/gDM respectively) that only the SCT (a = 30.1 mL/gDM). In both experiments the SCT's combination with leave and complete plant of *R. communis* there was an associative type antagonistic effect in fractions "b y a+b" in the kinetics of degradation *In situ* digestibility, at the same way the fractions "b and c" of *in vitro* gas production. In these studies, it was found that by a process of adaptation and selection, the sheep mainly consumed and preferred leaves's *R. communis* in relation to other morphological plant parts, without signs of intoxication, besides the digestibility and gas production of the SCT increase when is combined with *R. communis*'s complete plant or leaves.

Keys words: Digestibility, trees, shrubby, agricultural waste, selectivity.

1. Introducción.

Los esquemas de alimentación y nutrición de ganado que actualmente se utilizan en los sistemas de producción en el trópico mexicano, se consideran como deficientes para atender la problemática sobre el aprovechamiento de recursos naturales disponibles en la estación de sequía (Macedo *et al.*, 2003; Murillo *et al.*, 2009a). En este contexto se describe una alta disponibilidad de biomasa de residuales agrícolas que pueden ser utilizados para la alimentación animal (Altieri y Nicholls, 2000) así como de recursos forrajeros de uso no convencional.

Dentro de las especies forrajeras de uso no convencional existen aquellas de tipo proteico viables para combatir el déficit de alimentos de buena calidad para rumiantes (Murillo *et al.*, 2009a). Entre ellas, la planta de la Higuera (*Ricinus communis* L.) que se desarrolla bien en los trópicos, se caracteriza por su tolerancia a la sequía, ello le permite que inclusive pueda ser sembrada en zonas áridas y semiáridas, áreas marginales para otros cultivos, de manera tal, que no compite con otras oleaginosas de uso comestible tales como la soya, canola, cártamo, maíz, entre otras (Mazzani y Rodríguez, 2009).

R. communis es una oleaginosa conocida por su valor industrial, puesto que su aceite tiene muchas aplicaciones en la industria, como por ejemplo en plásticos, lubricantes, jabones, líquidos hidráulicos y de frenos, pinturas, fabricación de papel, repelente de insectos entre otros, además su cultivo es importante para el desarrollo de zonas rurales por la demanda de mano de obra, así como para el procesamiento de sus productos. Esto puede originar una cadena de nuevos negocios, tecnologías y productos (Escoto, 2013; Stachetti *et al.*, 2007).

En observaciones recientes Del Viento *et al.* (2014) describieron el consumo de *R. communis* en bovinos en pastoreo asociado con *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115, estos autores indicaron que la hoja de *R. communis* fue la única parte morfológica de la planta consumida, así mismo, señalaron que esta tiene un valor de proteína cruda de 21.98 ± 1.03 % y una degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca de 93.21 ± 4.06 %. Con este enfoque, es posible aportar una fuente de proteína a través de *R. communis* L, conocida coloquialmente en México como “Higuera”.

Por otro lado, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), representa una opción viable para contrarrestar la escasez de forraje por el volumen de materia seca que produce y los carbohidratos solubles que acumula con la edad (Cano *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2014).

El monocultivo de caña de azúcar (CA) en México representa el segundo lugar en importancia económica después del grano de maíz con un valor de producción de 26'225,927 pesos y con una producción de 56'672,828 toneladas obteniendo un rendimiento promedio de 74.3 t/ha (SIAP, 2014).

Según Torres (2006) la proporción morfológica de la CA en su estado de madurez está compuesta por 71.8 % de tallos, 12.6 % de punta de caña de azúcar (PCA), 8.7 % de hojas y 6.9 % de retoños, mientras que Palma (2014), reporta para la PCA de 16.0 a 37.0 % de acuerdo a la variedad. En este sentido, esta proporción estará influenciada por el manejo agronómico, las condiciones ambientales, la variedad fenológica de la CA y el tipo y modo de cosecha (Martin, 2004).

Ramírez *et al.* (2014), en un trabajo sobre distintas variedades de CA, reportaron la composición bromatológica de PCA con un 93.0 % de MS, 3.3 % de PC, un rango de 60.2 a 63.8 % de FDN y una digestibilidad *in situ* del 60.0 %, la cual la hace un forraje de baja calidad.

Por ello, con la finalidad de incrementar la digestibilidad de los forrajes se han empleado enzimas fibrolíticas, en este sentido Cano *et al.* (2003) encontraron que utilizando este tipo de tratamiento no aumentaron la digestibilidad de la materia seca, sin embargo, en otro estudio *in vitro* realizado por Aranda (2000) demostró que la digestibilidad de la CA puede incrementarse en un 3.8 %.

Asimismo, Aranda *et al.* (2001) mencionaron que en raciones basadas en esquilmos deficientes en nitrógeno, la complementación con proteína, ha incrementado la digestibilidad, lo cual, es otra alternativa para poder mejorar la digestibilidad de la PCA.

En el trópico mexicano la contaminación que genera la PCA al ser quemada, la gran disponibilidad, el alto volumen, el bajo costo y la baja calidad de esta, aunado a

la existencia de alimentos alternativos para el ganado, con el alto costo de importación de granos y la creciente demanda de fuentes proteicas por los países en desarrollo, justifican la exploración de fuentes proteicas y de fácil digestión de uso no convencional como es el caso de la Higuera.

Con base en lo anterior, el presente trabajo busca incrementar la digestibilidad de la PCA cuando se asocia con un recurso forrajero proteico poco explorado en la alimentación de rumiantes como lo es *R. communis* L. y de esta manera mejorar el aprovechamiento de este residual agrícola.

2. Revisión de literatura.

2.1. Calidad de forrajes.

La calidad nutricional de un alimento esta determinada por su contenido de nutrientes y por la capacidad del animal por digerir y utilizar estos alimentos. La madurez de la planta es el principal factor que determina la calidad del forraje, aunque el medio ambiente modifica el impacto de la madurez (Buxton y Fales, 1994). Aun cuando los forrajes se cosechen en estados morfológicos similares, la estación de año, la geografía y variaciones climáticas determinaran la calidad del forraje.

El principal parámetro que define la calidad del forraje es la digestibilidad de la materia seca (Di Marco, 2011). La digestibilidad de un alimento denota el porcentaje de un nutriente, que puede ser absorbido para ser puesto a disposición del organismo animal a través de procesos metabólicos (Ramírez, 2009).

Para la evaluación de la calidad de los forrajes se han desarrollado técnicas como la de Tilley y Terry (1963) que fue el precursor del método de fermentación *in vitro*, estas técnicas se basan en imitar las reacciones que ocurren a nivel ruminal. En este sentido, Van Soest *et al.* (1966) entre otros investigadores han desarrollado modificaciones a esta técnica. Asimismo Menke *et al.* (1980), desarrollaron la técnica de producción de gas *in vitro*, la cual fundamenta que la producción de gas es proporcional a la masa microbiana, donde la mayor cantidad de gas producido deriva principalmente de los carbohidratos. La bolsa de nylon o *in situ* es un método alternativo para determinar la calidad de los forrajes estudiado en 1962 por Lusk *et al.*, en 1977 por Mehrez y Orskov y propuesta por Orskov y McDonald en 1979.

Ademas para enriquecer la evaluación de los forrajes surgen técnicas como la de Van Soest para cuantificar la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina. Estos parámetros, conjuntamente con la determinación de proteína bruta (PB), constituyen los ejes de la evaluación de recursos forrajes. Sin embargo, existen diferentes criterios para evaluar la calidad de los forrajes y cada laboratorio usa el que considera más conveniente (Di Marco, 2011).

2.1.1. Factores que afectan la digestibilidad de los forrajes.

2.1.1.1. Estado de madurez.

La fase de crecimiento es el factor más importante que afecta la nutrición y valor nutritivo de la hierba. A medida que se desarrollan las plantas necesitan mayor cantidad de tejidos fibrosos para mantener la estructura, de modo que aumenta la cantidad de carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) y de lignina, provocando que los niveles de proteína, energía metabolizable, fósforo y carotenos se reduzcan, por consecuencia la digestibilidad de la materia orgánica en forrajes maduros se vea disminuida (Kennedy *et al.*, 1982).

Murillo *et al.* (2009b), demostraron que existe un efecto de la época del año sobre la calidad nutritiva del forraje, esto al evaluar la producción de gas *in vitro* de forraje consumido por bovinos en pastoreo, donde en la época de lluvias todos los parámetros de digestibilidad fueron mayores en comparación con la época de sequía.

2.1.1.2. Nivel de alimentación.

Cuando los animales aumentan la cantidad de alimento consumida de un determinado alimento, el ritmo de paso por el tracto digestivo aumenta por consiguiente los alimentos duran menos tiempo expuestos a la acción de las enzimas digestivas, lo que determina que la digestibilidad sea menor (McDonald *et al.*, 1995). Conforme el nivel de consumo se incrementa, en varios estudios se ha demostrado que en dietas mezcladas la digestibilidad disminuye, por lo contrario cuando se ofreció forrajes individuales, la digestibilidad no fue afectada. De cualquier manera, factores como la calidad del forraje, nivel de nitrógeno, factores de gustosidad y presencia de taninos, están relacionados con la disminución del consumo del alimento (Sheely, 1975).

2.1.1.3. Temperatura ambiental.

En borregos se encontró que la disminución de la temperatura del ambiente redujo la digestibilidad de la materia seca, además se encontró que cuando el forraje henificado fue peletizado y dado a nivel de mantenimiento la digestibilidad también disminuyó, esto se debe a que se redujo el tiempo de retención del alimento en el

rumen debido a un incremento en las contracciones (Buxton y Fales, 1994). Por lo contrario en zacates de clima tropical y templado cuando se eleva la temperatura durante el crecimiento de la planta, existe un incremento progresivo de la pared celular no digerida (Nelson y Mosler, 1994).

2.1.1.4. Otros factores.

Según Kennedy *et al.* (1982), la digestibilidad de un forraje recién cortado (fresco) es superior a uno henificado, esto se atribuye a la disminución en la digestibilidad de la proteína. Por otra parte la excreción de nitrógeno urinario y producción de metano fueron más elevados en borregos alimentados con forraje recién cortado, que con borregos que consumieron forraje henificado. Además se ha demostrado que la energía metabolizable del forraje fresco es mayor hasta un cuatro por ciento que el heno del mismo forraje.

La edad y el estado fisiológico del animal aparentemente no tienen ningún efecto significativo en la digestibilidad del forraje en pastoreo demostrado en borregos y bovinos. Así pues se ha encontrado que no hay diferencia entre borregas en lactación y secas, similares coeficientes de digestión se han encontrado en animales gordos y flacos, entre machos y hembras de la misma especie. Sin embargo Connor *et al.* (1963) demostraron que la digestión de algunos nutrientes fue significativamente menor en ganado fistulado que en animales intactos.

2.2. Consumo voluntario de forraje.

Desde hace 40 años, el control del consumo voluntario en los rumiantes ha sido estudiado por investigadores, quienes han desarrollado varias teorías o procesos biológicos para tratar de explicar el mecanismo, las cuales aún no han sido integradas exitosamente (Forbes, 2007). Aunque Forbes (1996), mostró los signos regulatorios fisiológicos que controlan el consumo, señalando que el sistema nervioso central recibe una señal no específica de las vísceras; de esta manera el animal puede aprender que cantidad de comida es necesaria ingerir para evitar un desbalance de nutrientes o malestar por distensión visceral debido a una incorrecta fermentación del alimento.

La cantidad de alimento consumido por animal o grupo de animales durante un periodo es conocido como consumo voluntario y se le considera el elemento más importante en producción pecuaria, ya que al entender el mecanismo, permite eficientar el uso de los forrajes y productos que se utilizan para la alimentación de los rumiantes, de esta manera se puede desarrollar un sistema sustentable (Forbes, 2007; Poppi *et al.*, 2000). Por otra parte, el consumo voluntario está directamente relacionado con parámetros de gran relevancia en los sistemas de producción como la ganancia de peso, producción de leche entre otros (Ramírez, 2009).

En cuanto a la forma de expresar el consumo Mejía (2002), menciona que la forma más práctica es como porcentaje del peso vivo o simplemente en kilogramos de materia seca u orgánica consumida por el animal por día. Sin embargo dado que el consumo mantiene estrecha relación con los requerimientos metabólicos, la expresión recomendable debe utilizar tamaño o peso metabólico, es decir gramos de forraje por kilogramo de peso metabólico. (P.V.^{0.75}).

2.2.1. Teorías del consumo voluntario.

Anteriormente las teorías del consumo se podrían explicar a partir de un factor único (teorías de factor simple) las cuales proponen mecanismos de regulación sencillos como la teoría de material indigestible, teoría de temperatura ambiental, teoría sobre concentración de glucosa sanguínea, teoría sobre niveles de grasa corporal y teoría de niveles de energía de la dieta.

No obstante, recientemente Forbes (2007) ha descrito este proceso como un fenómeno complejo donde se relacionan dos o más factores (teorías de factor múltiple); de esta manera Rosendo (2011), enlista la teoría quimiostática, teoría bifásica (sólo en rumiantes) (teoría del llenado o distensión en retículo-rumen y la teoría quimiostática), teoría de conducta de ingestión (rumiantes en pastoreo), y selección de dietas para evitar molestias (ganado lechero), además de teorías relacionadas con señales metabólicas, neurotransmisores y hormonas.

En la actualidad las teorías más aceptadas son las que integran el papel del sistema nervioso central, sensaciones orofaríngeas, contracciones gástricas,

distensión ruminal, cambios en la producción de calor y niveles circulantes de ciertos metabolitos (Rosendo, 2011).

2.2.1.1. Teoría glucoestática.

La teoría glucoestática o de la demanda metabólica está basada en la densidad calórica de la dieta. Se menciona sobre un mecanismo quimiostático plausible a corto plazo el cual postula que los receptores del hipotálamo son sensibles a los cambios en la proporción de la glucosa en las arterias y venas. La glucosa que se absorbe en intestino delgado en los rumiantes es mínima, de manera que los niveles de glucosa en sangre guardan poca relación con el comportamiento alimentario, por consiguiente dentro de las teorías del consumo el mecanismo glucoestático de regulación de la ingestión es poco aplicable a los rumiantes (McDonald *et al.*, 1995).

De esta manera, McDonald *et al.* (1995) mencionaron que para el caso de los rumiantes, se hacen referencia a la participación de los ácidos grasos volátiles producidos en la fermentación de los alimentos. Se ha comprobado que la introducción de acetato y propionato en el rumen reduce la ingestión de las raciones ricas en concentrados ya que existen receptores de regulación de la ingestión para el acetato y propionato, en el interior del retículo-rumen.

Por otro lado se conoce que la ingestión de alimentos en rumiantes está controlada a nivel metabólico. La introducción de ácidos grasos volátiles en la vena porta del hígado, reducen la ingestión, a través de señales enviadas desde el hígado hasta el hipotálamo. El ácido butírico parece tener menos efecto sobre la ingestión que el acetato o el propionato, ya que el butirato se metaboliza, normalmente, para formar acetoacetato y β -hidroxibutirato en el epitelio del rumen.

2.2.1.2. Teoría termostática.

Esta teoría se basa en la observación de que por lo general en ambientes fríos es mayor el consumo que en climas más calurosos, ya que el animal sufre estrés calórico (Ramírez, 2009). Si la temperatura es inferior a la zona termoneutra la ingestión aumenta, en tanto si la temperatura es superior el consumo disminuye. Los rumiantes que son bien alimentados presentan una amplia zona de neutralidad térmica, que se extiende hasta alcanzar temperaturas muy bajas, para ganado

lechero oscila entre 5⁰C hasta 18⁰C (Shearer y Bray, 1995) y en ganado carnico de 4⁰C a 27⁰C (Yousef, 1985). En las zonas templadas para las razas de ganado vacuno se ha estimado que la ingestión desciende dos por ciento por cada grado centígrado de aumento sobre la temperatura media diaria, por encima de los 25 °C (McDonald *et al.*, 1995).

2.2.1.3. Teoría lipostática.

La cantidad de tejido adiposo corporal puede servir en cierto modo para aumentar o disminuir el consumo de alimentos, esto relacionado con un balance energético, como en los animales delgados que tienen un requerimiento para los nutrientes o síntesis de grasa que se reduce dentro del animal. Por otro lado, también se ha asociado la cantidad de alimento consumido con la deposición de grasa abdominal, la cual puede interferir en la reducción del espacio donde el rumen puede expandirse (McDonald *et al.*, 1995).

2.2.1.4. Señales metabólicas, neurotransmisores y hormonales.

Las señales metabólicas hacen referencia a la oxidación de metabolitos que intervienen en los procesos fisiológicos del animal. Los mecanorreceptores y hormonas (colecistoquinina) de los diferentes órganos del cuerpo como el estómago, hígado y el páncreas (insulina y glucagón), entre otros propone la participación de los neurotransmisores para que se regule la ingestión y saciedad de alimento, que se asocian a su vez con la cantidad de glucógeno hepático que se almacena (Rosendo, 2011).

2.2.2. Factores individuales propios de los animales en el consumo.

La especie, raza, sexo, peso, estado fisiológico, salud, condicionamientos, tiempos de consumo y experiencias son factores propios del animal que influyen en el nivel de consumo voluntario (Tarazona, 2012).

No todos los animales comen igual, ellos pueden mostrar cierta gustosidad o desagrado por diferentes tipos de alimentos cuando pueden manifestarlo. Por otro lado se sabe que los niveles de hormonas influyen en la actividad propia del animal haciéndolo excitable o flemático, lo cual pueden aumentar o disminuir el consumo de alimento (Church y Pond, 1990).

La demanda de energía es proporcional al tamaño corporal o peso metabólico, que se expresa elevando el peso vivo a la potencia 0.75 (NRC, 1987). De esta manera, las necesidades de energía por unidad de peso de animales pequeños son mayores que para animales de talla grande, reflejándose en una selección más eficiente de la dieta por los primeros (Allison, 1985).

2.2.2.1. Capacidad del retículo-rumen.

El consumo voluntario es limitado por la capacidad del retículo-rumen, ya que con forrajes con alta proporción de fibras (toscos) estas cavidades alcanzan su máxima capacidad más rápido y la velocidad de paso de la digesta se ve alterada (McDonald *et al.*, 1995). La rapidez con que los alimentos atraviesan el tracto gastrointestinal depende de factores como densidad física del alimento, tamaño de partículas, cantidad de residuo no digerible, la rapidez y nivel de fermentación en el rumen y frecuencia de consumo (Church y Pond, 1990).

2.2.2.2. Tipo y nivel de producción.

Los animales jóvenes que presentan una tasa de crecimiento más rápida son los que presentan un mayor apetito. A esto se le puede llamar que presentan un “apremio biológico” para crecer y desarrollarse lo cual con conforme avanza la edad el tamaño corporal y su productividad se modificarán (Church y Pond, 1990).

En animales gestantes, debido a las necesidades de incremento de nutrientes para el desarrollo del feto, el consumo de alimento aumenta (McDonald *et al.*, 1995) y en animales lactantes (Church y Pond, 1990), mencionan que el apetito no se halla totalmente correlacionado con la producción.

2.2.2.3. Otros factores.

Los procesos infecciosos o parasitarias y los problemas metabólicos como cetosis, acidosis, timpanismo por mencionar algunos, traen consigo una disminución en el consumo de alimentos (Ramírez, 2009).

2.2.3. Factores del hábitat que afectan la ingestión de alimentos por los rumiantes.

De acuerdo con Arnold (1981), los cambios en el ambiente como la humedad relativa, temperatura, radiación, horario de pastoreo, movimiento de aire, topografía

entre otros influyen en el comportamiento, función y productividad de los animales, los cuales compromete al consumo voluntario, valor nutritivo del alimento consumido y requerimientos de energía para el mantenimiento del animal.

2.2.4. Factores relacionados a la alimentación que afectan el consumo voluntario.

En animales en pastoreo la relación hoja: tallo, estructura y oferta del pastizal, el tamaño de bocado y el ritmo de consumo dependerá de las variables antes mencionadas. Por lo tanto en buenas condiciones de pastoreo, con hierba corta, densa y de alta digestibilidad, los rumiantes consumen tanta materia seca como al administrarles en comedero (McDonald *et al.*, 1995). La composición química, digestibilidad, concentración de energía, fermentabilidad ruminal, tipo y cantidad de grasa de la ración son variables que afectan la alimentación.

2.2.5. Factores sociales que afectan el consumo voluntario.

Además de los factores anteriormente mencionados que influyen en el consumo voluntario de los alimentos, existen los factores sociales. En este sentido los animales domésticos de producción se encuentran en constante interacción con su misma especie y con el humano, de las cuales surgen jerarquías y comportamientos particulares (Tarazona, 2012).

La relación humano-animal juega un papel importante en la regulación del consumo y selectividad ya que el humano tiene la capacidad de modificar la composición vegetal de los ecosistemas. La utilización de suplementos, saborizantes como la melaza o sal, son elementos que influyen con el aumento o disminución del consumo de alimento.

En una población de animales que consumen alimento en un espacio determinado, los animales jóvenes aprenden de sus madres. Esta organización social transmite comportamientos de consumo y selectividad sobre las nuevas generaciones a lo cual Provenza (2007), lo refiere como un comportamiento aprendido.

Por otra parte la ingesta de alimento también se ve afectada por la densidad animal que hace referencia al número de animales por área. Así mismo la diversidad de especies o razas, que estas a su vez generan niveles jerárquicos, los cuales afectan directamente el comportamiento, por lo tanto la asignación de subáreas de consumo las cuales modifican la selectividad de alimento (Owen, 2008).

2.3. Asociación de forrajes, calidad y nuevas alternativas.

Los primeros trabajos de asociación de alimentos los realizó Atwater (1904) en Storrs Station, el cual demostró efectos de asociación positivos en la alimentación de humanos cuando consumieron pan y leche comparado cuando los comieron solos. Mas tarde Ewing and Wells (1915), describieron por primera vez el efecto de asociación de forrajes en la alimentación con animales, donde mencionaron la presencia de cambios en la capacidad digestiva cuando se mezclan diferentes ingredientes y por consiguiente un aumento en la productividad del animal.

De esta manera, a través del tiempo la asociación de gramíneas y leguminosas forrajeras, constituye una de las técnicas importantes, desde el punto de vista teórico y de los productores, por la importancia económica ambiental y social que reviste (Sanchez *et al.*, 2007). En este sentido Rosales (1999), menciona la utilización de mezclas de árboles y arbustos forrajeros como una estrategia para el incremento la productividad de los rumiantes.

La asociación de dos o más especies desde el enfoque de la sociología vegetal determina una “interacción” importante entre ellas, la cual se ve modificada por la presencia del animal, las condiciones ambientales y el suelo en particular. Con estas asociaciones se busca una interacción positiva y conducida técnicamente por el hombre, de esta manera obtendrá mayor provecho de su empresa y se posibilita el incremento y la mejora de la biomasa comestible, además de aumento en la fertilidad del suelo y contribucion en la conservacion del ambiente (Simón *et al.*, 1998).

En el establecimiento de una asociación forrajera, es necesario tener en cuenta conocimientos básicos de morfo-fisiología, de los ciclos estacionales y la interacción, y/o agresividad de las especies desde el punto de vista agronómico, además definicion del objetivo buscado, determinado por los problemas que atenderá dicha asociación. Una asociación atractiva cuidará aspectos como: la adaptabilidad y el mejoramiento del suelo, la longevidad y la capacidad de resiembra, así como identificación de las etapas donde la calidad de la asociación es pobre (Ledesma, 1996).

Por ello Maya (2005), en un estudio agronómico evaluaron hojas, tallo y planta completa de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) solo y asociado con *Leucaena leucocephala* a 28, 35 y 42 días de corte, donde la PC del *Cynodon nlemfuensis* asociada superó a *Cynodon nlemfuensis* solo (14.48 vs 11.90; 13.60 vs 10.98; 11.68 vs 9.67% respectivamente).

La leguminosa *Canavalia ensiformes* y sus asociación con sorgos CENTA S-2 y RCV, permitieron mejores rendimientos de materia verde, materia seca, comparada con el cultivo de Vigna (*Vigna unguiculata* L.), ya que este último requiere mayores cuidados debido a que es susceptible a la alta humedad y al ataque de plagas (Salinas y Crespín, 2010).

Por otro lado, a nivel nutricional la caña de azúcar o sus subproductos como punta de caña, pueden ser eficientemente utilizados como forrajes de bajo costo con la inclusión de harina de leguminosas arbóreas (*Gliricidia septicum*) en complejos catalíticos o la introducción de un forraje de mayor digestión como la planta de maíz (*Zea mays*) o King grass (*Pennisetum purpureum*) que aumentan significativamente la respuesta de los animales alimentados con la caña de azúcar (Ortiz, 2000).

En este sentido, Phiri *et al.* (1992) realizaron trabajos con cabras que fueron alimentadas con hoja de maíz, y suplementadas con *Leucaena leucocephala*, *Calliandra calothyrsus* y su combinación donde reportaron mayores ganancias de peso en los animales que comieron la mezcla con *L. leucocephala:Calliandra*.

Así mismo, Lamela *et al.* (2010) determinaron la producción de leche de vacas F1 (Holstein y Cebu) en una asociación de la gramínea *Pennisetum purpureum* CT-115 con los árboles forrajeros *Leucaena leucocephala* y *Morus alba*, en condiciones de riego, donde la oferta de materia seca en el área de la asociación fue superior a 30 kg de MS/animal/rotación como promedio durante el período de evaluación. Los resultados sugirieron que el sistema de asociación con plantas leñosas, permite a las vacas de mediano potencial niveles aceptables de producción de leche, el mantenimiento de una buena disponibilidad de materia seca en el pastizal, así como indicadores económicos favorables.

2.3.1. Efectos de asociación en la digestibilidad de los alimentos.

El conjunto de nutrientes aprovechados de un alimento por los rumiantes varía por el tipo y cantidad de los diferentes alimentos que consumen en el mismo día. Se conoce que existe un efecto de asociación cuando el valor nutritivo de la mezcla resultado de los procesos interactivos no es igual a la suma de sus elementos individuales (Rosales, 1999). Asimismo, Oldham y Emmans (1990) definen al efecto asociativo como el resultado de la interacción entre los valores nutritivos de los alimentos y por la influencia del animal que no pueden predecirse estrictamente.

Los efectos de asociación pueden ser positivos o negativos. En este sentido Minson (1990) propusieron un efecto de “sinergismo o positivo”, que se presentará cuando uno de los ingredientes se encuentra deficiente de un componente nutricional y que por otra parte, éste es provisto por un segundo componente. En trabajos realizados por Cho *et al.* (2012), donde evaluaron el efecto asociativo en la cinética de digestión ruminal de pastos de primavera y otoño, indicaron que en este último, presentó un efecto asociativo positivo en la tasa de producción de gas y la degradabilidad efectiva de la materia orgánica cuando se asoció con granos de maíz y cebada.

Así mismo, trabajos de investigación *in vitro* con mezclas de hojas de árboles relacionan los efectos de asociación con el grado de sincronización de las tasas de fermentación de los componentes de la mezcla, que a su vez dependen de la fermentabilidad de los componentes químicos, encontrando una variación de 4.4 a 18.1 %. De esta manera un efecto de asociación positiva de 18 %, significa que el animal puede estar recibiendo casi un quinto más de alimento fermentable en su alimentación, situación que se refleja en el consumo voluntario y ganancia de peso diaria (Rosales, 1996).

Un efecto de asociación ruminal “antagónico o negativo”, se presenta cuando uno de los elementos contenidos en un componente, inhibe la digestión del o los elementos contenidos en el otro componente. Así de esta manera Rosales (1996), encontró efectos de asociación negativos con la mezcla de plantas con taninos con plantas sin taninos pero altas en proteína soluble, estos efectos fueron de gran

proporción, sin embargo no hubo diferencias estadísticamente significativas. Por otro lado se encontró un caso singular de efecto de asociación negativo para una mezcla de especies ambas con alto porcentaje de taninos. Esto indicó una contradicción de ambos forrajes en escenarios de fermentabilidad.

Aunque recientes trabajos continúan el estudio de los efectos asociativos, falta información respecto al modo de acción de los efectos asociativos. La mayoría de los trabajos de investigación van dirigidos a estudio del modo de acción de una fuente de carbohidratos rápidamente fermentables en la digestión del forraje, mientras que otros a entender los factores que determinan sus efectos asociativos y las interacciones con componentes del alimento.

2.4. Alimentación con árboles y arbustos forrajeros.

En países en donde la producción de ingredientes para integrar la dieta de los animales es insuficiente, se justifica las investigaciones diversifiquen el uso de materias primas en la alimentación animal y logren la dependencia en beneficios del sistema (Belmar y Nava, 2005).

En este sentido, la alimentación animal con árboles y arbustos asociados con gramíneas (sistemas silvopastoriles) son opciones sustentables comparada con los monocultivos, ya que éstos proveen mayor contenido de nutrientes especialmente en las épocas de estiaje, además se desarrollan sistemas de alimentación sustentables, productivos y económicamente retables (López *et al.*, 2008; Palma, 2005).

En investigaciones recientes sobre especies forrajeras de árboles y arbustos en Quintana Roo reportaron valores de proteína cruda que oscilan entre 106.3 y 238.8 g/kg⁻¹/MS, las cuales pueden ser incorporadas en los sistemas de alimentación para el ganado y deben ir dirigidas al incremento de la biodiversidad, con un aumento de la de biomasa comestible existente y a la vez de una mayor calidad, además de que permanezcan disponibles en los pastizales durante las épocas críticas de alimentación y que permitan la sustentabilidad del sistema. Para esto, es deseable que éstas tengan alta gustocidad, con niveles considerables de proteína y un buen porcentaje de digestibilidad (López *et al.*, 2008).

Asimismo Palma (2005), resalta las características nutricionales de vegetación arbórea nativa tanto leguminosas como no leguminosas en los sistemas ganaderos del trópico seco. De esta manera, Macedo y Castellanos (2004) describen el uso del cocotero-limón-pasto-ovinos como un sistema silvopastoril con una relación costo-beneficio para las etapas de producción ovinos de 1.35, con esto se vuelve pausable las ventajas económicas y biológicas en el desarrollo de los sistemas silvopastoriles.

2.4.1. Metabolismo de las plantas y los factores antinutricionales.

Avalos y Pérez (2009), describen al metabolismo de las plantas como serie de reacciones químicas que tienen lugar en el organismo (Figura 1). La mayor parte del carbono, nitrógeno y energía sintetiza moléculas comunes a todas las células de los organismos que son necesarios para el buen funcionamiento y se trata de los aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos que se encuentran presentes en todas las plantas, a los cuales se les denomina como productos del metabolismo primario.

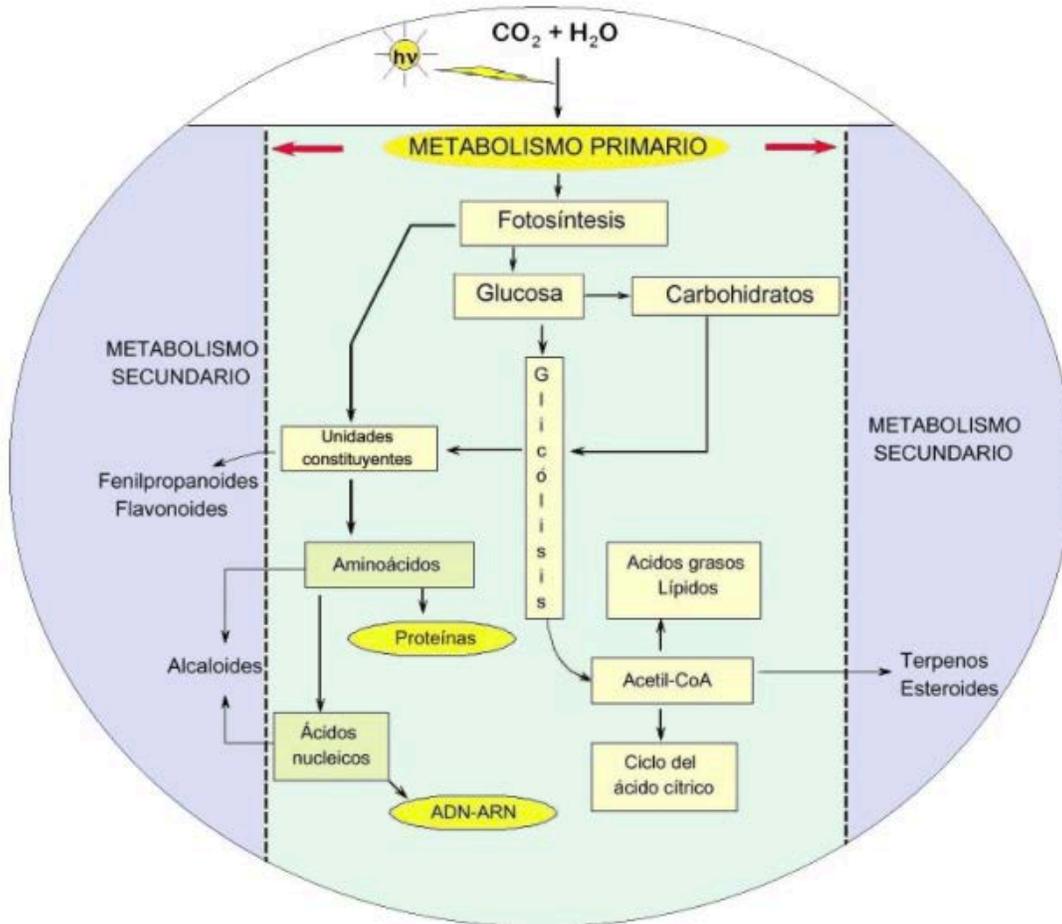


Figura 1. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de las plantas. Tomado de Avalos y Pérez (2009).

Por otra parte el metabolismo secundario de las plantas es el conjunto de reacciones químicas que realizan las células vegetales para sintetizar sustancias complejas a partir de otras más simples. Estos compuestos derivados del metabolismo secundario se denominan metabolitos secundarios, estos presentan propiedades biológicas, se sintetizan en pequeñas cantidades y no de forma generalizada, estando a menudo su producción restringida a un determinado número de plantas a una familia o incluso algunas especies, se caracterizan por sus usos y aplicaciones como insecticidas, herbicidas, para la elaboración de medicamentos, perfumes, colorantes, entre otros (Avalos y Pérez, 2009).

Los factores antinutricionales son producto del metabolismo secundario de las plantas, en el alimento además de intervenir con el aprovechamiento de los nutrientes, son causa de pérdidas importantes de proteína endógena y en algunos casos puede causar efectos tóxicos sobre la población microbiana del rumen u originan elementos tóxicos para la salud de los animales (Ojeda y Cáceres, 1998; Mc Sweeney *et al.*, 1999). Además los factores antinutricionales ejercen efectos contrarios a su óptima nutrición provocando cambios sobre el consumo, sabor, digestión y absorción de los nutrientes (Belmar y Nava, 2005).

Por otro lado, existen trabajos donde se menciona un efecto benéfico, tal es el caso de los taninos en rumiantes donde tienen una acción nematocida y capacidad de ligarse a proteínas, protegiéndolas de la degradación ruminal dejando disponibles aminoácidos a nivel intestinal (Barry, 1983). Sin embargo, la respuesta de los animales a la presencia de estos compuestos es variable y depende de la naturaleza del sistema digestivo (poligástrico o monogástrico), especie animal (bovino, ovino, caprino, porcino) edad, sexo, tamaño corporal, estado fisiológico (lactante, gestante), potencial genético y el ambiente (Barnes y Gustine, 1973).

En el estudio de alimentos no convencionales, además de conocer el contenido nutricional, la evaluación de factores antinutricionales debe estar conceptualizada dentro de este marco, ya que estos se pueden encontrar con mucha frecuencia. Sin embargo, la distinción entre ambos tipos en ocasiones es difusa si tenemos en cuenta que la biosíntesis de muchos de ellos comparten numerosos intermediarios que derivan de las mismas rutas metabólicas (Avalos y Pérez, 2009).

Como factores antinutricionales se han reportado cerca de 8,000 polifenoles, 270 aminoácidos no proteicos, 32 cianógenos, 10,000 alcaloides y varias saponinas y esteroides (Rosales, 1999) además de la lignina, la cual es el principal componente químico responsable del porcentaje bajo de digestibilidad de los alimentos (Sliwinski *et al.*, 2002).

Los factores antinutricionales se clasifican de acuerdo a su origen biosintético en: compuestos fenólicos (lignina y taninos), tóxicos nitrogenados (alcaloides y glucósidos cianogénicos) y esteroides y terpenos (saponinas, pigmentos o aceites esenciales) (López *et al.*, 2008).

2.4.1.1. Fenoles.

Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y derivan todas ellas del fenol, un anillo bencénico con un grupo hidroxilo (Avalos y Pérez, 2009).

Desde el punto de vista de la estructura química, son un grupo diverso que comprende desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos hasta polímeros complejos como los taninos y la lignina. En este mismo grupo se encuentran los flavonoides, muchos de estos compuestos están implicados en la relación planta-herbívoro (Avalos y Pérez, 2009).

2.4.1.2. Alcaloides.

Los alcaloides son sustancias inodoras, compuestos heterocíclicos con nitrógeno y sustancias generalmente de carácter básico, aunque existen muchas excepciones. Como precursores se encuentran los aminoácidos y según el estado químico de nitrógeno se definen cuatro grupos: aminas secundarias y terciarias, aminas cuaternarias y N-óxidos (Ramos *et al* 1998).

Una característica de muchos grupos de alcaloides presentes en las plantas forrajeras es su sabor amargo, que posiblemente constituye la base para su identificación y consiguiente rechazo de la planta por los herbívoros (Dupont *et al.*, 1994; Harborne, 1993). Sin embargo, los alcaloides derivados de la pirrolizidina, que se encuentran en plantas ampliamente extendidas en los pastos, no poseen ninguna característica diferente en su gustosidad por los herbívoros (Molyneux y Ralphs, 1992).

En las gramíneas existen dos grupos de relevancia que impactan al ganado, los derivados de la pernolina y la perlolidina con efectos tóxicos poco intensos para los cuales en ovinos se ha indicado una rápida absorción y destrucción y los derivados de la triptamina y gramina (Ramos *et al.*, 1998).

Por otro lado, Harborne (1993) menciona que niveles bajos de 0.01% estimulan el apetito mientras que en niveles altos provoca rechazo.

Principales funciones de los alcaloides en las plantas: como producto de desecho o almacenamiento de nitrógeno sobrante (equivalente al ácido úrico o de la urea en

los animales), en su asociación con componentes orgánicos sirven para facilitar el transporte en la planta, son reguladores del crecimiento y como protección a la planta (insectos, pájaros, plagas), ya que regularmente se encuentran en los tejidos periféricos de los órganos de las plantas y confieren un sabor amargo.

La clasificación de los alcaloides de acuerdo a su estructura se distinguen principalmente los compuestos heterocíclicos de los no heterocíclicos. Sin embargo, existen diferentes formas de clasificarlos de acuerdo a sus características:

Por sus propiedades farmacológicas:

- Modificadores del sistema nervioso central: Estimulantes nerviosos (alcaloides de la iboga (*Tabernanthe iboga*): iboganina; alcaloides de la nuez vómica (*Strychnos nux-vomica*): Estricnina; etc.). Alucinógenos (alcaloides del peyote (*Lophophora williamsii*): mezcalina; alcaloides del yage (*Banisteriopsis caapi*): harmalina).
- Modificadores del sistema nervioso autónomo: Parasintopaticomiméticos (De acción directa: Jaborandi (*Pilocarpus jaborandi*): pilocarpina. Anticolinesterásicos habas de Calabar (*Physostigma venenosum*) eserina;).
- Parasintopatolíticos (Belladona (*Atropa belladonna*): atropina; efedras: efedrina), etc.

Por su origen biosintético:

- Alcaloides alifáticos
Derivados de la ornitina (pirrolidinas, tropánicos, pirrolizidínicos)
Derivados de la lisina (piperidinas, quinolizidínicos)
- Alcaloides aromáticos
Derivados del ácido nicotínico (piridinas)
Derivados de la fenilalanina y tirosina (isoquinoleínas)
Derivados del triptófano (indólicos, quinoleínas)
Derivados del ácido antranílico (quinoleínas)
Derivados de la histidina (imidazoles)
- Alcaloides de origen diverso
Alcaloides terpénicos y esteroidales
Alcaloides diversos (purinas, macrocíclicos, etc.)

Alcaloides derivados del ácido nicotínico

En los vegetales el ácido nicotínico se forma por la condensación del Gliceraldehído-3-fostato con el ácido aspártico. Este es precursor de alcaloides del tabaco, nuez areca, de la ricinina de *Ricinus communis*, entre otros.

La semilla de *R. communis* contiene alrededor de 50% de lípidos de donde se extrae el aceite de ricino, rico en ácido ricinoleico, la ricina una toxoalbúmina de constitución polipeptídica, y la ricinina un cianoalcaloide derivado de la piridona que a su vez se deriva del ácido nicotínico (Araujo, 2008).

2.4.1.3. Glucósidos.

En general, son definidos como producto de la condensación de azúcares (incluyendo polisacáridos), se consideran parte de los metabolitos secundarios de las plantas, son incoloros y a menudo se encuentran al extraer el jugo de las plantas. Están constituidas por dos tipos de sustancias por un lado un glúcido o azúcar, que normalmente es la glucosa y por otra parte una no azucarada llamada genina o aglucon que puede ser un ácido, un alcohol u otro compuesto orgánico (Doughari, 2012).

Dependiendo de la naturaleza de la parte genina son las propiedades de los glucósidos, de esta manera teniendo en cuenta su composición química y acción fisiológica se clasifican en: Antocianínicos, Antraquinónicos, Cianogenéticos, Cardiotónicos, Fenólicos, Flavonoides, Cumarínicos, Saponínicos, Sulfurados.

Los glucósidos a menudo presentan un intenso sabor amargo, estos actúan sobre los nervios gustativos que resultan en un aumento del flujo de los jugos gástricos y salivación. Existen trabajos donde se menciona el uso de glucósidos cardiotónicos para el tratamiento de arritmias cardíacas, ya que estos actúan sobre el músculo del corazón, de la misma manera que los glucósidos antraquinónicos utilizados para el tratamiento de problemas en la piel y como purgante, además de que se atribuyen propiedades anticancerígenas (Doughari, 2012).

2.4.1.4. Terpenos.

Los terpenos o terpenoides integran el grupo de mayor número de los metabolitos secundarios con más de 40,000 moléculas diferentes. La ruta biosintética

de estos compuestos da lugar tanto a metabolitos primarios como secundarios de gran importancia para el crecimiento y supervivencia de las plantas. Como metabolitos primarios se enlistan hormonas como la giberelinas, ácido abscisico y citoquininas, los carotenoides, clorofilas y plastoquinonas (fotosíntesis), ubiquinonas (respiración y esteroides (estructuras de las membranas) (Avalos y Pérez, 2009).

Muchos terpenos se utilizan comercialmente por su uso como aromas y fragancias en la alimentación cosmetología o en la elaboración de productos agrícolas. Otros compuestos de terpenoides se utilizan en la medicina por sus propiedades anticarcinogénicas, antiulcerosas, antimalaricales y antimicrobianas, etc (Avalos y Pérez, 2009).

2.5. Higuera (*Ricinus communis* L).

El *R. communis* pertenece a la familia Euphorbiaceae (Figura 2), con 300 géneros y alrededor de 7,500 especies, que varían en tamaño de la planta, forma, tamaño de semillas o el tamaño del racimo, además que presentan gran adaptación a diferentes entornos y crean fenotipos especiales para cada lugar en donde se desarrollan (Goytia *et al.*, 2011) en nuestra región es mejor conocida como



Figura 2. *Ricinus communis* L.

“Higuera”, en otras partes se le conoce como hierba verde, higuera del diablo, higuera infernal, Higuera, tulua, higuerrillo, iscoche, pacón, palma cristi, palo de grilla blanco, palo higuerrillo blanco, paraguas, reciño, resino, ricino, semillas de ricino, higuera (Marmolejo, 2009).

2.5.1. Características generales.

Es originaria de África tropical, es una planta arbustiva de uno a cinco metros de altura, de tallo grueso y leñoso, hueco por dentro y puede tomar un color púrpura oscuro y suele estar cubierto de un polvillo blanco, semejante a la cera. Las hojas son grandes, están partidas de cinco a ocho segmentos, en forma de estrella, sus bordes tienen denticillos de tamaño irregular. Sus flores se encuentran en racimos, y los frutos son cápsulas espinosas que contienen tres semillas grandes lisas algo aplanadas y jaspeadas (Caspé *et al.*, 2008).

Se desarrolla bien en climas cálidos, semicálidos y templados, desde el nivel del mar hasta los 3,000 msnm. Crece en terrenos poco fértiles, abandonados, a orillas de caminos, ríos y para los agricultores se considera una maleza (Escoto, 2013; Marmolejo, 2009).

2.5.2. Composición química, toxicidad, usos y aplicaciones.

Existen datos donde se menciona su uso por primera vez en el código Florentino del siglo XVI, indicando propiedades medicinales. A inicios del siglo XVIII, Juan Esteyneffer describe que su aceite se usa como purgante. A finales del mismo siglo, Vicente Cervantes refiere que el uso de la semilla es drástico, tiene acción desinflamatoria y antihelmíntica. En el siglo XIX, la sociedad mexicana de historia natural la reporta como una sustancia que acelera la defecación (Marmolejo, 2009).

Actualmente el área sembrada con Higuierilla en el mundo es aproximadamente 1.1 millones de ha, siendo los tres principales países productores: India, Brasil y China; en países como Chile, México, Perú, Colombia y Ecuador empieza aprovecharse en suelos marginados y aptos para el cultivo de esta planta (Rendón, 2009).

Por otro lado, Escoto (2013) hace referencia sobre el uso del tallo para la fabricación de papel, considerando a la planta como un arbusto de rápido crecimiento, que se puede desarrollar en diversos climas y suelos como los que se hallan a lo largo del territorio mexicano y representa una opción rentable para los productores al asociarla con otros cultivos.

Los componentes fitoquímicos primarios encontrados en *R. communis* son; azúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofilas, mientras que los secundarios incluyen alcaloides, flavonoides, taninos, compuestos fenólicos, terpenoides, saponinas, glucósidos, estos pueden variar en cantidad de una planta a otra y dependiendo la parte anatómica (Doughari, 2012).

Al respecto, Arboleda *et al.* (2012), muestran en sus estudios los valores de los extractos cetónicos de Higuierilla que pueden causar la toxicidad, siendo más altos en los frutos y raíces, mientras que los valores más bajos de albúminas fueron encontrados en los tallos y hojas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de proteínas (nm) presentes en los extractos cetónicos de tejidos de Higuierilla (*R. communis*).

Proteínas	Semilla (nm)	Raíces (nm)	Tallos (nm)	Hojas (nm)	Frutos (nm)
Albúminas	0.098	0.265	0.018	0.032	0.366
Globulinas	0.025	0.061	0.032	0.158	0.094
Prolaminas	0.152	0.577	0.036	0.16	0.685
Glutelinas	0.166	0.396	0.066	0.016	0.083

(Arboleda *et al.*, 2012).

Por otra parte, Ibraheem y Maimako (2014) determinaron las propiedades biológicas de *R. communis*, entre ellas; cuantificaron los alcaloides presentes en los extractos de las diferentes partes anatómicas de la planta, reportando presencia en la raíz, tallos, vaina de la semillas y en las hojas, estas últimas fueron las que presentaron un mayor porcentaje (11.2 %), asimismo evaluaron la presencia de glucósidos cardiacos, los cuales se presentaron en la raíz (53.6 %), el tallo (63.6 %) y la vaina de la semilla (55.5 %).

A su vez, Ibraheem y Inayor (2014), encontraron saponinas en los extractos de las hojas, tallos y semillas de *R. communis* (9.0 %, 7.2 % y 6.7 % respectivamente) y la presencia de fenoles en tallos (6.6 %) y semillas (7.6 %). Estos autores reportan actividad antioxidante, antihemolítica y antimicrobiana de estos compuestos, que en concentraciones adecuadas pueden ser usados con fines terapéuticos.

Por otro lado, Ibraheem y Alugah (2014), estudiaron la distribución y actividad biológica de los flavonoides y taninos en las diferentes partes de *R. communis*, los cuales se encontraron en las hojas, raíces, semillas y con mayor proporción en los tallos (22.0% y 34.0 % respectivamente), mientras que en la vaina de la semilla sólo se encontraron flavonoides (6.75 %). De esta forma, los investigadores describen actividad antihemolítica y antioxidante comparada con el ácido ascórbico. Asimismo reportan un efecto inhibitorio de la proliferación de la población de *Streptococcus aureus* and *Krebsella halize* conforme se va aumentando la concentración de taninos y flavonoides en los extractos. Basado en lo anterior, los compuestos fitoquímicos de

R. communis pueden ser explotados con fines farmacéuticos.

2.5.3. Utilización de *R. communis* en la alimentación animal.

En la alimentación animal, recientemente Jiménez *et al.* (2012) exploran el uso de la Higuierilla a partir de la pasta residual de semilla posterior a la obtención de biocombustible; en donde realizan trabajos que indican la caracterización del perfil de aminoácidos. También se ha estudiado la destoxificación de la pasta utilizada en la alimentación de aves (Sobayo *et al.*, 2012) y el empleo de la cáscara en la producción de leche de cabras (Santos *et al.*, 2011).

Experimentos de Tokarnia *et al.* (1975) en Brasil, mencionan que la ingestión de las hojas secas como recién cortadas produjo la muerte en ocho de doce reses a una dosis de 20.0 g/kg de PV. Así mismo, mencionan que las hojas henificadas a las 19 semanas perdieron el 50 % que de su toxicidad.

Por otra parte, existe un reporte sobre intoxicación por consumo de hoja de esta especie por bovinos en el cual se indica manifestación de síntomas nerviosos y gastroentéricos (Haraguchi, 2003). Mientras que Del Viento *et al.* (2014) describen que los bovinos evitaron el consumo de los frutos, fenómeno favorable para su salud, puesto que se considera que la parte de mayor toxicidad son las semillas (Arboleda *et al.*, 2012), esto significó un mecanismo de protección de los animales en el pastoreo.

En Brasil, se han reportado la intoxicación por el consumo de hoja de Higuierilla, donde mencionan la presencia de signos nerviosos en 15 de 180 cabezas y en otro caso dos de 30 animales murieron (Assis *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2006).

Del Viento *et al.* (2014) describen el contenido de nutrientes de la hoja de Higuierilla (Cuadro 2), es relevante mencionar varios aspectos, uno de ellos el tenor de proteína cruda (N x 6.25) que se ubica arriba del 20 % PC, con bajo nivel de fibra y alta degradabilidad ruminal de la hoja 93.21±4.06 %. La alta degradabilidad se explica por su bajo tenor de fibra, lo cual, hace promisorio el uso de esta especie en sistemas silvopastoriles.

Cuadro 2. Contenido de nutrimentos en hojas de Higuierilla (*Ricinus communis*) en Colima, México.

Contenido	Hoja
Materia seca (%)	25.99 ± 1.23
Proteína cruda (%)	21.98 ± 1.03
Grasa cruda (%)	2.90 ± 0.37
Fibra cruda (%)	12.63 ± 1.05
Cenizas (%)	13.16 ± 4.47
Extracto libre de nitrógeno (%)	49.34 ± 4.08
Total de Nutrientes Digestibles (%)	74.16 ± 4.13
Energía metabolizable (Mcal/kg materia seca)*	2.61 ± 0.15
Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca (%)**	93.21 ± 4.06*

*Valor estimado, **A las 48 h; (Del Viento *et al.*, 2014)

2.5.4. Semillas

Desde la antigüedad hasta hoy, la semilla de Higuierilla ha sido utilizada para extraer aceites, que se usan como combustible en lámparas y con fines medicinales como purgante (Mazzani, 2007). Es una oleaginosa conocida por su valor industrial, su aceite tiene muchas aplicaciones en la industria, como por ejemplo; en plásticos, lubricantes, jabones, líquidos hidráulicos y de frenos, pinturas entre otros.

La ricina por primera vez fue aislada por Stillmark en 1888, cuando observó que el extracto de las semillas aglutinaba las células sanguíneas. La ricina contiene un potente tóxico que es una hemoaglutinina, hoy se sabe que la aglutinación por el extracto de las semillas de ricino también se debe a la toxina llamada RCA (Aglutinina del *R. communis*).

La ricina y la RCA son sintetizadas en las células del endosperma de las semillas maduras y almacenadas en una vacuola, cuando la semilla germina, las toxinas son destruidas en unos pocos días por hidrólisis (Piola, 2008). En general todas las partes de esta planta poseen elevada acción tóxica.

La ricina es una albúmina que se encuentra entre las proteínas de mayor toxicidad en el mundo conocidas por el hombre, ya que hace parte del grupo de proteínas inactivadoras de ribosomas, RIPs, de tipo 2, que se caracterizan por presentar dos cadenas polipeptídicas: una capaz de inhibir la síntesis de proteínas

en los ribosomas y otra con propiedades de lectina, es decir, capaz de unirse a hidratos de carbono (Van Damme *et al.*, 2001).

Para causar toxicidad existe variación en la sensibilidad a la toxina tanto en las diferentes especies, como de cada individuo, además el tiempo de acción dependerá de la concentración y vía de administración (Worbs *et al.*, 2011). Crompton y Gall (1980) mencionó la DL50 de extracto de semilla de *R. communis* para el hombre vía parenteral de 1-10 µg/kg PV mientras que Audi *et al.* (2005) reportó de 1-20 µg/kg PV. De los animales domésticos la dosis oral letal de las semillas de *Ricinus communis* para el caballo es de 7 a 300 mg/kg de PV, mientras que para la rata es de 0.35-0.05 µg/kg PV, para el puerco de guinea es de 0.4-0.5 µg/kg PV, el conejo 0.03-0.06 µg/kg PV y para el perro es de 1.65-1.75 µg/kg PV (Fodstad *et al.*, 1979).

Por otra parte, los animales que consumen poca cantidad de semillas u otras partes de la planta durante un tiempo prolongado, desarrollan resistencia a la ricina. Esto se explica por el hecho que, por ser una proteína, genera respuesta inmune del organismo, haciendo que un animal pueda soportar hasta 800 veces la DL50 normal (Zeinsteger y Gurni, 2004).

2.6. Uso de la caña de azúcar como forraje para la alimentación de ganado bovino.

La caña de azúcar (CA) es tradicionalmente una alternativa al déficit de forraje para el ganado durante la época seca, principalmente en los países tropicales productores de azúcar (Molina, 1990; Ramírez *et al.*, 2014). Es un cultivo de los llamados permanentes, que se cosecha en períodos que oscilan entre 12 y 24 meses. La duración de la planta para volver a sembrar tiene como promedio entre cinco y diez cosechas, aunque esto varía bastante entre regiones y según las distintas prácticas agrotécnicas.

En México es un cultivo ampliamente difundido en 15 regiones cañeras distribuidas en la Costa del Pacífico, Área Central, Golfo de México y Área del Caribeña en la península de Yucatán. En este sentido, durante la zafra del 2014, se sembraron 828,609.15 ha de caña de azúcar y se logró una cosecha de 56 millones de toneladas de caña molida (SIAP, 2014) situándose en el segundo cultivo de importancia económica.

La CA es un cultivo de extraordinaria capacidad, que en buenas condiciones, produce volúmenes superiores a las 100 t BH/ha (base húmeda) de tallos y si se incluyen las hojas y puntas, que no se emplean para la producción de azúcar; el volumen de biomasa vegetal se eleva en 20 %.

La CA se caracteriza por su buena adaptación a los suelos, clima, relieves, diferentes manejos agronómicos (Ramírez *et al.*, 2014). Es un cultivo el cual por su tipo de fotosíntesis es C4 (42-49 mg de CO₂/dm²/hora). Las Plantas C4 (maíz, sorgo, mijo) durante la fotosíntesis utilizan más eficientemente el agua, las cuales pierden 277 moléculas de agua por molécula de CO₂ fijada mientras que las C3 (trigo, arroz, cebada, avena) pierden aproximadamente 833 moléculas de agua por cada molécula de CO₂ fijada, por lo tanto conservan mas la humedad del suelo (Pascual, 2010).

En este sentido se le considera con gran capacidad de producción de materia verde y seca por unidad de área, además de su valor agregado al utilizar la biomasa no industrializable (hojas, puntas, retoños, tallos inmaduros) (Ramírez *et al.*, 2014).

2.6.1. Residuos de la industria azucarera.

Los residuos de la agroindustria azucarera y su aprovechamiento es un tema en las actuales regiones cañeras del país las cuales deben ajustarse a las nuevas normas ambientales y adaptar su sistema de producción.

En este sentido se realizan investigaciones que atienden la problemática del impacto ambiental las cuales van dirigidas a mejorar el sistema de producción de caña de azúcar y a eficientar el aprovechamiento de los residuos de la industria azucarera, así como las posibilidades de reciclaje de los mismos, dentro de un contexto de desarrollo sostenible (Basanta *et al.*, 2007).

La melaza es el principal subproducto utilizado en la alimentación animal, además de su uso industrial que se le da en la fabricación de alcoholes, levaduras y algunos ácidos orgánicos. Existen otros subproductos como el bagazo y el bagacillo que se utilizan principalmente como combustible y en la industria de fabricación de papel y en menor escala para la alimentación animal. Otro subproducto es la punta de caña que se utiliza a pequeña escala en la alimentación de ganado (Álvarez, 1986).

2.6.1.1. Cachaza.

La “cachaza” es un residuo resultante después de clarificar el azúcar en la fábrica, también es conocido como “lodo” o “lodo de filtrado” presenta alrededor del 6-14 % de PC (proteína cruda), 13-20 % de FC (fibra cruda), 32-62 % de ELN (extracto libre de nitrógeno), 9-14 % de extracto etéreo y 10-14 % azúcares solubles. Se reportó el uso de la cachaza mezclada con melaza en partes iguales en sistemas de pastoreo en condiciones abundantes de pastos de mala calidad, contribuyendo a balancear la ración en nitrógeno, minerales y energía, permitiendo mejores ganancias de peso con respecto al pasto sin suplementar (Martin, 2004).

2.6.1.2. Bagazo y bagacillo.

El bagazo se genera al moler los tallos de la caña de azúcar, de su saturación con agua y su posterior separación en parte sólida (bagazo integral) y líquida (guarapo). El bagazo está integrado por fibras largas y cortas, éstas últimas normalmente vienen de la parte integral del tallo y se le conoce como “bagacillo”.

Tanto el bagazo como el bagacillo son derivados fibrosos con un contenido de proteína bajo, en el caso del bagazo 2.3 % de PC y 53.7 % FC (Monroy *et al.*, 1980).

En dietas de concentrados el bagazo puede formar parte de los mismos en 20-30 % constituyendo una fuente de fibra. El bagazo sin previo tratamiento no puede considerarse como fuente de nutrientes al animal, ya que sólo aporta el efecto físico de la fibra en dieta de concentrado y regula la velocidad de consumo de melaza/urea cuando se mezcla con éstas (Martin, 2004).

2.6.1.3. Melaza.

La melaza o miel de caña es un subproducto líquido y espeso de la industria azucarera, cuyas particularidades para la alimentación de rumiantes lo transforma en una fuente energética por excelencia (Palma, 2014). Se genera de la cocción del jugo de la caña de azúcar hasta la evaporación parcial del agua que éste contiene, formándose un producto meloso semi-cristalizado. Su aspecto es similar al de la miel de abeja aunque de color parduzco muy oscuro, prácticamente negro. En México la melaza se exporta en su mayor parte (63%) y sólo se dedica a la alimentación animal el 16.5% (Bustamante, 2004).

La composición de la melaza es heterogénea y puede variar considerablemente dependiendo de la variedad de la caña de azúcar, suelo, clima, periodo de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición del azúcar, tipo y capacidad de los evaporadores, entre otros. Por otro lado, la melaza se caracteriza por tener un nivel de grados Brix o sólidos disueltos de 68-78 % y un pH de 5.0 a 6.1 % (Castro, 1993).

La melaza que contiene mayor cantidad de grados Brix se utiliza en la alimentación animal en general y en el ganado vacuno en particular. La melaza es rica en carbohidratos de fácil fermentación, baja en nitrógeno y relativamente alta en cenizas. Palma (2014) menciona la composición porcentual de los componentes de la melaza, reportando; 85 % de materia seca, 2.75 % de proteína bruta y \pm 60 % de materia seca como azúcar dentro de los cuales el 40 % es sacarosa, 10 % glucosa y 10 % fructosa.

La melaza contiene carbohidratos de rápida fermentación ruminal, que con una suplementación nitrogenada de rápida disponibilidad como la urea se originan diferentes tecnologías orientadas al mejorar aprovechamiento de los forrajes de baja calidad (Martin, 2009).

Palma (2014) describe diferentes formas de utilizar la melaza, entre ellas, para mejorar la apetecibilidad (mejorar la ingestión), sedimentar el polvo y servir de aglutinante en los piensos secos. Así mismo en la preparación de ensilaje, como preservador y con la ventaja de su valor nutritivo. Además como portador de urea en los suplementos líquidos para rumiantes y por último en proporciones elevadas para el aprovechamiento máximo de la melaza.

2.6.1.4. Punta o cogollo de caña de azúcar.

En la separación de los tallos molederos para la industria, se corta la parte apical en donde mayoritariamente existe hoja, a esta porción se le conoce como punta o cogollos de la caña de azúcar (PCA), porción que puede contener una porción de tallos, haciéndola atractiva para la ganadería (Palma, 2014).

Según se realice el corte y procesamiento de la caña antes de llegar a la fábrica de azúcar, así será la proporción de cada uno de estos que se utilice como alimento.

En este sentido, los porcentajes de composición de los residuos de la cosecha dependerán de si se queman o no, si el corte es manual o con maquinaria y la labor realizada en el campo al momento de separar el residual (Martin, 2004).

2.6.1.4.1. Composición, valor nutritivo y digestibilidad de punta de caña de azúcar (PCA).

La proporción de hojas y de puntas estará influenciada por el entorno en que se desarrolló, manejo agronómico y la variación fenológica inherente a la variedad de caña de azúcar. En este sentido, Ramirez *et al.* (2002) realizaron una recopilación de las proporciones de tallo, cogollo y paja de las siguientes variedades de caña de azúcar; C1051-73, C86-456, J-60.5, C120-78 y C323-68, donde concluyen que por el alto valor del tallo y bajo en paja sería la idónea para la industria y por el volumen

residual del cogollo la C1051-73 sería atractiva para la ganadería. En esta recopilación las variedades mostraron un rango de 16 a 37% de punta de caña de azúcar.

En este contexto, Ramírez *et al.* (2014) realizaron trabajos donde caracterizaron la composición morfológica (tallos, punta, cogollo y hojas) de la caña de azúcar en dos condiciones de cosecha (quemada y verde) en Ciudad Valles, San Luis Potosí, México, los cuales reportaron que existió solo diferencia para las hojas verdes y secas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición morfológica de la caña de azúcar (tallos y punta) en dos condiciones de cosecha en Ciudad Valles, San Luis Potosí, México.

Indicador	Quemada	Verde
Cañas de plantón	11.25±1.39 ^a	10.21±0.09 ^b
Plantones (Kg)	8.03±1.32 ^a	8.83±2.74 ^a
Tallos (%)	77.75±6.09 ^a	79.93±4.97 ^a
Punta (%)	22.25±6.09 ^a	20.07±4.97 ^a
Cogollo (%)	11.30±2.45 ^a	9.63±2.13 ^a
Hojas Verdes (%)	5.97±2.18 ^a	4.73±1.48 ^b
Paja seca (%)	4.99±3.47 ^a	5.72±3.93 ^b

^{a,b} Medias dentro de la hilera con distinta literal son diferentes ($P < 0.05$), según Duncan (1955). Adaptado de Ramírez *et al.*, (2014).

Según Molina *et al.* (1994), hay una gran variación en los componentes que forman la caña integral, según la variedad existe una variación de cogollo y paja dependiendo la variedad de hasta seis veces más paja que cogollo. Martín y Palma (1999), describen una proporción de residuos de CA de 20 % para hojas y puntas, 10 % material muerto y 70 % tallo, con una producción por hectárea de residuos de 6 t MS/ha.

En trabajos de Ramírez *et al.* (2014) sobre la composición bromatológica punta de la caña de azúcar, en los cuales estudiaron cuatro variedades (24MEX68-136, 03CO-997, 202MEX55-32 y 02CP-72), se permitió constatar que estas no difirieron

significativamente el contenido de nutrientes. La media general de MS para todas fue de 93.1 %, así mismo la proteína cruda, la cuales presentaron un promedio de 3.3 %, además el contenido de FDN en las cuatro variedades fue elevado (rango de 60.2 a 63.8 %), esto permitió mantener su condición como “forraje”. Por otra parte en la digestibilidad *in situ* se obtuvo una media de 60 %, sin efectos significativos por la variedad.

La edad de la caña de azúcar tiene un efecto sobre la digestibilidad, esto fue estudiado por Ferreiro *et al.*, (1977), donde encontraron que conforme aumenta la madurez, la digestibilidad disminuye de manera lineal hasta un 6.5%.

Al usar la punta de caña como alimento es importante tener presente su bajo contenido de proteínas, debido a que los microorganismos del rumen necesitan fuentes proteicas para su multiplicación (proteína microbiana) y así lograr una mayor eficiencia en la fermentación ruminal. Además, por ser una fuente de hidratos de carbono fácilmente fermentables, es necesario complementarla con fuentes de proteína de rápida degradación. La urea como nitrógeno no proteico puede ser una alternativa por su alta velocidad de degradación y demostró que aumentan los índices de consumo al incluirse 50:50 de NNP y proteína natural (Palma, 2014; Ramírez *et al.*, 2014).

2.7. Microorganismos del rumen.

El ambiente ruminal permite que se desarrollen los microorganismos que se adhieren a las partículas del alimento, generando así efectos benéficos sobre la fermentación ruminal, estos microorganismos están compuestos por bacterias, hongos unicelulares y protozoarios. Las bacterias se pueden clasificar de acuerdo al sustrato que degradan, sin embargo, éstas se pueden adaptar a degradar otro tipo secundario de sustrato (Orskov, 1986).

Los microorganismos actúan en sistemas cooperativos dentro de un complejo ecosistema, en el cual simplemente sobresale la acción de una especie como productora de una actividad, pero ésta depende de las condiciones que establecen en conjunto toda la biomasa (Relling y Mattioli, 2003).

Las bacterias representan la fracción de la población ruminal imprescindibles para la vida del rumiante, sin tomar menos importancia los protozoarios. El neonato adquiere esta flora por el contacto directo con otros bovinos o bien por contacto indirecto a través de elementos contaminados como forrajes o agua de bebida.

Existe una amplia variedad de bacterias y alternativas para agruparlas en el Cuadro 4 se muestra una clasificación con base a los sustratos que emplean y en los productos finales de su fermentación. Debe tenerse en cuenta, que una misma especie bacteriana puede cumplir más de una función metabólica.

Cuadro 4. Clasificación funcional de las bacterias ruminales.

Grupo de bacterias	Característica funcional	Principales productos finales de su metabolismo
Celulolíticas	Fermentan hidratos de carbono estructurales de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y pectinas).	AGV (especialmente acetato).
Amilolíticas	Fermentan hidratos de carbono de reserva de granos (almidón).	AGV (especialmente propionato).
Sacarolíticas	Fermentan hidratos de carbono simples (azúcares vegetales).	AGV (especialmente butirato).
Lactolíticas	Metabolizan el lactato.	AGV (especialmente propionato)
Lipolíticas	Metabolizan las grasas.	Ácidos grasos libres y AGV (especialmente propionato).
Proteolíticas	Degradan las proteínas.	AGV y amoníaco (NH ₃).
Metanógenas	Producen metano.	Metano (CH ₄).
Ureolíticas	Hidrolizan la urea.	CO ₂ y NH ₃ .

(Relling y Mattioli, 2003)

El número de bacterias varía entre 10^{10} y 10^{11} por gramo de líquido ruminal, lo cual representa entre tres y ocho kilos de bacterias en el rumen de un bovino adulto, esta concentración varía en relación directa con el contenido energético de la dieta.

Otro factor que afecta el desarrollo bacteriano es el pH ruminal. Dentro del rango fisiológico, por ejemplo, la flora celulolítica desarrolla mejor en el extremo menos

ácido (6,0 a 6,9) mientras que a la flora amilolítica le es favorable el extremo más ácido (5,5 a 6,0). La importancia nutricional de las bacterias radica en que son responsables de la mayor parte de la actividad celulolítica del rumen, y por otro lado son capaces de sintetizar sus proteínas a partir de compuestos nitrogenados no proteicos (NNP), especialmente amoníaco (NH_3) (Relling y Mattioli, 2003).

Con el empleo adecuado de aditivos como suplementos nitrogenados, ionóforos, sustancias buffer, carbohidratos de fácil fermentación y sebos, se puede manipular el ecosistema y la flora ruminal para proveer un mejor balance nutricional de los animales en los sistemas de producción de leche y carne, de esta manera reducir la producción de gases de efecto invernadero que impactan ambientalmente. En este sentido los microorganismos son cruciales para la nutrición de los rumiantes, por lo cual actualmente se desarrollan herramientas moleculares para poder entender la simbiosis entre los microorganismos y los rumiantes (Castillo *et al.*, 2014).

2.8. Digestibilidad de los nutrientes.

La digestibilidad de los alimentos se puede definir como la cantidad que no se excreta en las heces y que, por tanto, se considera absorbida por el animal. Normalmente se expresa en relación con la materia seca, como coeficiente o como porcentaje. La digestibilidad de los nutrientes guarda estrecha relación con la composición química de forma que un alimento como la cebada, cuya composición química varía un poco de unas partidas a otras, presenta ligeras variaciones en su digestibilidad, en cambio otros alimentos como por ejemplo hierba fresca o conservada presenta una composición menos constante lo que hace que su digestibilidad sea más variable. La fracción de la fibra es lo que más afecta su digestibilidad (McDonald *et al.*, 1995).

Los requerimientos de proteína para rumiantes normalmente se satisfacen por dos fuentes: la primera es la proteína de origen microbiano que está disponible a nivel post-ruminal y la segunda que es la proteína de la dieta que se escapa a la digestión ruminal pero es digerida en el intestino delgado. La proteína de sobrepaso puede provenir del forraje y/o del suplemento, y normalmente se conoce como proteína no degradable (Villalobos *et al.*, 2000).

La proteína que entra al rumen-retículo tiene la posibilidad de ser degradada por bacterias y protozoarios. La degradación básicamente involucra dos pasos: hidrolisis de la cadena peptídica (proteólisis) para producir péptidos y aminoácidos y desaminación y degradación de aminoácidos; después de la proteólisis los péptidos o aminoácidos liberados pueden dejar el rumen-retículo, y ser utilizados para el crecimiento microbial, o pueden ser degradados a amoníaco y ácidos grasos volátiles. Los aminoácidos son rápidamente degradados en el rumen, por lo que pocos aminoácidos están disponibles para absorción o pasaje del rumen-retículo. Existen proteínas que se degradan rápido, proteínas que son degradadas a una velocidad similar a la tasa de pasaje y proteína no degradable o que es degradada muy lentamente (Villalobos *et al.*, 2000).

2.9. Degradabilidad ruminal de las proteínas de la dieta.

La degradación de las proteínas en el rumen depende de la interacción de tres procesos catabólicos: la proteólisis

la cual depende del tipo de ración, la tasa de pasaje y el pH ruminal (Bach *et al.*, 2005).

Para la estimación con exactitud de la degradación de proteínas y materia orgánica en el rumen es difícil de calcular. Las técnicas *in vivo* se consideran como un estándar con las que se compara las demás técnicas, para esto es necesario tener los animales quirúrgicamente preparados. Sin embargo la técnica *in situ*, es la que ha proporciona mejor relación para determinar correctamente la proteína degradada. Cabe añadir que es necesaria más investigación para describir las fracciones de proteína que son degradadas y cuales no en los diferentes tipos de alimentos (Villalobos *et al.*, 2000).

2.10. Síntesis de proteína microbiana.

Los microorganismos del rumen son capaces de sintetizar los diez aminoácidos esenciales, para los tejidos del cuerpo, la síntesis de aminoácidos se realiza a partir de amoníaco y esqueletos carbonados simples producidos durante la degradación de los alimentos. La posibilidad de utilizar el amoníaco permite a los microorganismos del rumen reciclar cantidades importantes de urea, provenientes del metabolismo intermedio del animal, como fuente de N para la síntesis de proteína microbiana, esto cuando se encuentran cantidades suficientes de energía (Nolan y Dobos, 2005).

Existen factores que influyen sobre la producción de proteína bacteriana en el rumen entre las cuales se mencionan las fuentes de carbohidratos (energía que se libera en el rumen durante la fermentación de los carbohidratos a ácidos orgánicos) y proteínas, el nivel de consumo voluntario, la frecuencia de alimentación y la relación forraje concentrado en la dieta (Febel y Fekete, 1996) y los factores antinutricionales de las plantas (McSweeney *et al.*, 2001). Aproximadamente, el 30 % del N de la dieta que se degrada en el rumen se incorpora a la proteína microbiana en forma de péptidos y aminoácidos (Ruiz y Ayala 1987).

2.11. Efecto de la sincronización del rumen sobre la producción de proteína bacteriana.

La síntesis de proteína microbiana se puede maximizar, si se sincroniza la disponibilidad de energía fermentable y de N degradable para los microorganismos del rumen. Cuando la tasa de degradación de las proteínas excede a la de los carbohidratos, se pierden grandes cantidades de amoníaco. Por lo contrario, cuando la tasa de degradación de carbohidratos excede a la de proteína, la producción de proteína disminuye (Nocek y Russell, 1988).

Existen contradicciones en la literatura sobre el efecto del suministro de proteína y energía para lograr una sincronización eficiente de nutrientes. En donde la definición del funcionamiento de los microorganismos del rumen se entiende como un ecosistema complejo. En el ecosistema ruminal el suministro de nutrientes puede estar sincronizado para determinadas poblaciones y para otras no (Bach *et al.*, 2005).

El reciclado ruminal de microorganismos puede contribuir a estabilizar el crecimiento microbiano cuando el suministro de nitrógeno no

3. Hipótesis.

Existe un efecto positivo sobre la digestibilidad de la ración cuando se asocia el forraje proteico de *R. communis* con la punta de caña de azúcar en la alimentación de rumiantes.

4. Objetivo general.

Evaluar la asociación del forraje proteico de *R. communis* L sobre la punta de caña de azúcar para la alimentación de rumiantes.

4.1. Objetivos particulares.

Evaluar la preferencia y consumo de diferentes partes morfológicas (hojas, peciolas, tallos) de *R. communis* L. por ovinos.

Estudiar el efecto de la melaza sobre la preferencia y consumo de las diferentes partes morfológicas de *R. communis* L. por ovinos.

Conocer el mejor nivel de inclusión de melaza asociada a la preferencia y consumo de la planta completa de *Ricinus communis* L. por ovinos.

Determinar el efecto de diferentes niveles de inclusión de *R. communis* sobre la digestibilidad *in situ* de punta de caña de azúcar en bovinos.

Evaluar el efecto asociativo de *R. communis* sobre la calidad forrajera de la punta de caña de azúcar en la técnica de producción de gas *in vitro*

5. Ensayos.

5.1. Ensayo 1. Preferencia y consumo de diferentes partes morfológicas de harina de *Ricinus communis* L. por ovinos.

Existen recursos forrajeros alternativos que pueden ser incorporados en la alimentación de rumiantes, como es el caso de *R. communis* con este fin se plantea evaluar la preferencia y consumo de diferentes partes morfológicas (hojas, peciolo, tallos) por ovinos y determinar la presencia de posibles signos de intoxicación.

5.1.1. Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el estado de Colima, México en el Rancho “El Peregrino” de la Universidad de Colima donde predomina un clima calido-humedo (86%), en las coordenadas 19° 12' 35" latitud Norte, 103° 43' 24" longitud Oeste, la temperatura media de 25 °C, con una precipitación media pluvial de 950 mm (INEGI, 2009) y una altura sobre el nivel del mar de 432 m (Google Earth, 2014).

Se utilizaron cuatro borregos de la raza Pelibuey de 26.4 ± 3.4 kg de peso vivo, se desparasitaron con Closantel 5% (Closantil) vía oral a una dosis de 10 mg/kg PV y se les suministró una dosis de cuatro mililitros de vitamina ADE con vitamina B₁₂ (Polivit B₁₂+ADE) por vía intramuscular.

Se realizó una prueba de cafetería en jaulas metabólicas individuales, tuvo una duración de 32 días y se desarrolló en dos periodos, el primero fue de 20 días, sin adaptación a los tratamientos, pero con adaptación a las jaulas por siete días, con agua a libre acceso durante todo el tiempo, más una dieta base de mantenimiento, descrita en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Porcentaje de inclusión, análisis químico y contenido de energía de la dieta base ofertada a ovinos en la prueba de cafetería de las diferentes partes morfológicas de *R. communis*.

Ingredientes	% Inclusión
Ensilado de punta de caña de azúcar	46.00
Rastrojo c/maíz	23.00
¹ Concentrado Comercial	30.00
Minerales	1.00
Análisis químico	%
*Materia seca	91.05
Proteína cruda	10.76
Materia orgánica	79.29
Cenizas	11.76
Humedad (100°C)	8.95
Energía bruta (Mcal/kg MS)	3.74

¹14% Proteína cruda, *La muestra fue previamente deshidratada. Energía bruta se realizó por medio de bomba calorimétrica.

Los tratamientos consistieron en harina de hoja (HRc), pecíolo (PRc), tallo (TRc), hoja + pecíolo (HPRc), planta completa (PCRc) y la dieta base (Db). En el primer periodo se ofertó a cada borrego 40 g de cada tratamiento simultáneamente de 8:00 am a 12:00 pm, para que realizaran la elección de su preferencia. La suma de la oferta inicial de los tratamientos fue equivalente a la dosis tóxica reportada por Tokarnia *et al.* (1975) de 5 g MS/Kg PV y el ajuste de la oferta de cada tratamiento se basó en su dinámica de consumo, buscando que existiera al menos el 5% de rechazo en cada uno.

El segundo periodo tuvo una duración de 12 días, ofertando solamente la hoja durante 24 h, a partir del nivel de ingestión obtenido en el día 20, el valor de la oferta se incrementó en múltiplos de 40 g según su dinámica de consumo.

Para la obtención de la harina de Higuierilla, se recolectaron las diferentes partes anatómicas de la planta previo a su fructificación en los caminos de la región siendo su origen silvestre, se secaron a la sombra, se procesaron en un molino de forraje con martillos (marca Xalapa modelo MA-460, Veracruz, México), se tomaron muestras de cada tratamiento y de la dieta base para realizar el análisis químico proximal (AOAC, 2002) y fracciones de fibra (Van Soest, 1963).

Se evaluó la preferencia de consumo de los tratamientos (g MS/kg PV), dinámica de preferencia de consumo de las diferentes partes de Higuierilla y la dinámica de consumo de los tratamientos con relación a la dieta base en ambos periodos, además de los posibles signos de intoxicación.

Para el análisis de los datos se utilizó un ANDEVA con un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, así como prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de diferencia múltiple de medias, con apoyo del paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XV.II

5.1.2. Resultados

En el Cuadro 6, se observa que la hoja presentó el mayor contenido energético 6.3 Mcal/kg MS en EB y de proteína cruda con 27.6 %, así como el menor contenido de FDN y FDA comparada con el resto de fracciones morfológicas.

Cuadro 6 Contenido nutrimental de las diferentes partes morfológicas de *R. communis*.

Tratamientos	EB (Mcal/kg MS)	Porcentaje				
		MS	PC	FDN	FDA	Ceniza
Hoja	6.3	92.9	27.6	31.2	24.9	7.2
Pecíolo	3.1	92.8	8.2	47.6	40.7	12.1
Tallo	3.7	91.4	8.2	50.7	48.4	8.0
Hoja+ Pecíolo	4.0	91.6	23.8	37.6	30.7	7.8
Planta completa	3.5	92.5	20.4	33.8	28.6	6.8

EB= Energía bruta; MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida.

En la Cuadro 7, se aprecia en el primer periodo de este ensayo que la mayor preferencia de consumo fue para la hoja ($P < 0.001$), diferente al resto de los tratamientos que comparten similitud estadística con un menor consumo.

Cuadro 7. Preferencia de consumo (g/día) de las diferentes partes morfológicas de harina de *R. communis* por ovinos.

Tratamientos	Media	Mínimo	Máximo
Hoja	72.9 ^a	6.5	125.3
Pecíolo	1.4 ^b	0.0	8.0
Tallo	0.8 ^b	0.0	4.0
Hoja + Pecíolo	6.9 ^b	0.0	17.5
Planta completa	5.4 ^b	0.0	19.0
EEM	1.70		
P	0.001		

a, b= distinta literal en columna significa diferencia estadística (Tukey < 0.001); EEM= error estándar de la media; P= probabilidad.

Respecto a la dinámica de consumo de las diferentes partes morfológicas de la Higuierilla, en el primer periodo se observa una tendencia a incrementar el consumo

de la hoja, sin que se logre estabilizar el consumo, mientras en el resto de los tratamientos el consumo fue bajo y estable (Figura 3).

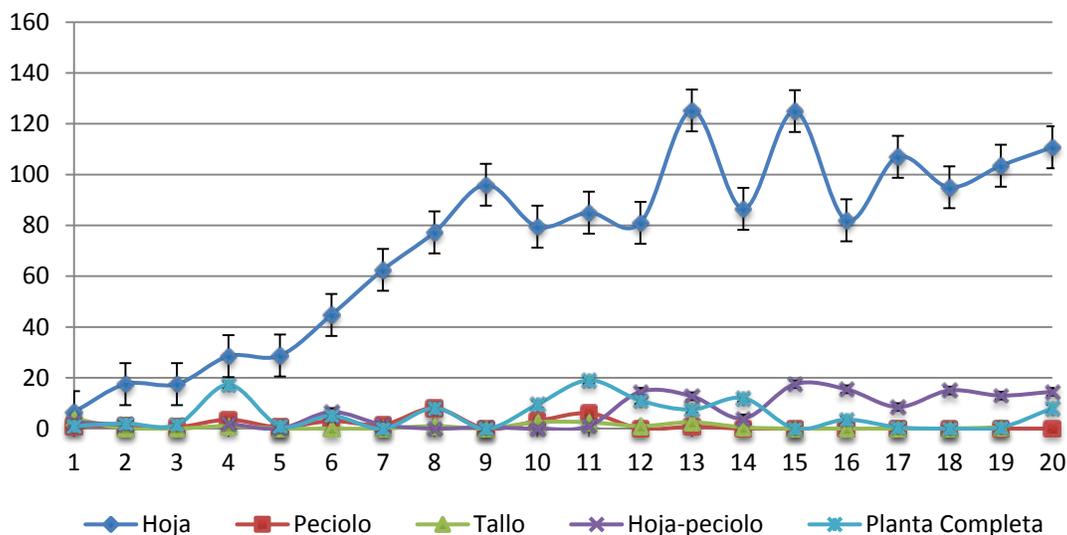


Figura 3. Dinámica de preferencia de consumo de harina de las diferentes partes de *R. communis* de los ovinos.

En la Figura 4, se resume la dinámica de consumo de la hoja de harina de *R. communis*, la suma del resto de las partes morfológicas de la planta y la dieta base en ambos periodos. En el caso de la hoja de *R. communis* contrasta el consumo entre el primero y segundo periodo, al pasar de un rango de 6 a 116 g MS en 4 h a un consumo de 116 hasta 527 g MS en 24 h. Aun sumando todos los tratamientos de *R. communis* con excepción de la hoja, el consumo registrado fue bajo. En cuanto a la ingestión de la dieta base está tendió a disminuir cuando existió un alto consumo de la hoja de *R. communis*. En ambos periodos no se presentaron signos de intoxicación.

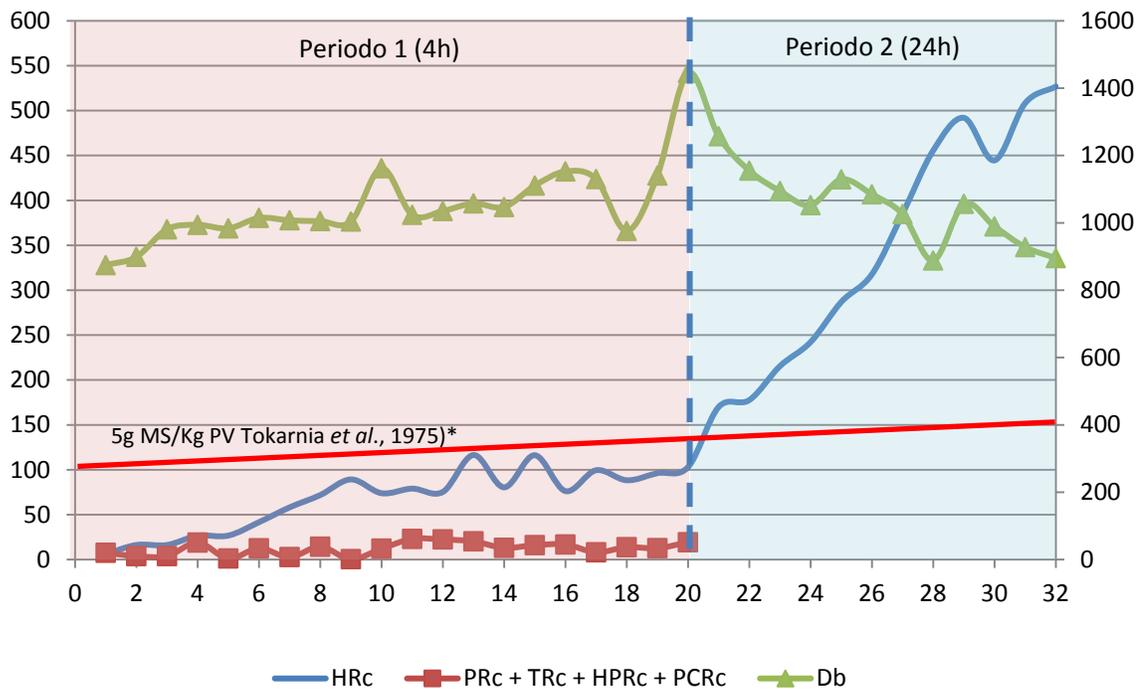


Figura 4. Dinámica de consumo de diferentes partes morfológicas en forma de harina de *R. communis* por ovinos durante dos periodos: hoja (HRC) suma del resto de los tratamientos [pecíolo (PRC), tallo (TRC), hoja + pecíolo (HPRC) y planta completa (PCRC)] y dieta base (Db). *Dosis tóxica indicada por estos autores.

5.2. Ensayo 2. Efecto de la melaza sobre la preferencia y consumo de las diferentes partes morfológicas de *Ricinus communis* L. por ovinos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo anterior, en donde los ovinos prefirieron mayoritariamente la hoja de *R. communis*, y dado que su relación en biomasa representa menos del 50 % del peso total de la planta, se buscó estudiar la planta completa acompañada de un saborizante como la melaza para evaluar el efecto de ésta sobre la preferencia y consumo de las diferentes partes morfológicas de *R. communis* L por ovinos.

5.2.1. Materiales y métodos.

El ensayo se llevó a cabo en el municipio de Etzatlán, Jalisco, en el Rancho “San Juan”. Ubicado en las coordenadas geográficas 20° 46’ 32.9” latitud Norte, 104° 04’ 45.35” longitud Oeste, donde predomina un clima de trópico-seco con una temperatura media de 21.5 °C, con una precipitación media pluvial de 835.8 mm (INEGI, 2009) y una altura sobre el nivel del mar de 1,381 m (Google Earth, 2014).

Se realizó una prueba de cafetería en corraletas individuales durante un período de 42 días, dividido en dos fases (21 y 15 días respectivamente) con seis días de descanso entre cada fase. Los animales no fueron adaptados a los tratamientos sin embargo, se adaptaron por siete días a las corraletas, en las cuales se ubicaron cuatro borregas Pelifolk de 22.2 ± 2.2 kg de PV, se desparasitaron con Ivermectina al 1% vía subcutánea a una dosis de 1mL/50 kg peso vivo, se les suministró una dosis de cuatro mL de vitamina ADE con vitamina B₁₂ (Polivit B₁₂+ADE) por vía intramuscular y se les proporcionó agua a libre acceso,

Para la obtención de la harina de Higuierilla se recolectaron las diferentes partes de la planta (hojas, hojas con peciolo y planta completa) de la región, se seleccionaron plantas con tallos tiernos de 150-190 cm de altura, desechando el primer tercio de la base hacia la parte alta del tallo y las plantas que presentaron fruto, ésta parte anatómica se eliminó para evitar que fueran consumidas.

Enseguida se procedió a separar las partes morfológicas, las cuales se picaron (máquina picadora de machetes marca Azteca adaptada, México) y secaron a la sombra, una vez deshidratadas, se procesaron en un molino de forraje con una criba

de media pulgada (marca Guadalajara adaptado con entrada de siete pulgadas, México) y se tomaron muestras de cada tratamiento para realizar el análisis químico proximal (AOAC, 2002) y fracciones de fibra (Van Soest, 1963).

Para que los animales realizaran la elección de su preferencia, en la primera fase se ofertó a cada borrega 50 g de cada tratamiento simultáneamente de 8:30 am a 12:30 pm, incrementando la oferta basada en su dinámica de consumo. Los tratamientos consistieron en: T₁= hoja (HRc), T₂= hoja + melaza (HRc+M), T₃= hoja + peciolo + melaza (HPRc+M), T₄= planta completa + melaza (PCRc+M) y dieta base (Db), esta última se mantenía durante todo el día, ajustándose la cantidad de acuerdo al peso vivo del animal y estableciéndose un rechazo del cinco por ciento. La melaza se incluyó en la Higuierilla a razón de 15%, mezclados diariamente, por cada unidad de melaza se agregó media de agua, para facilitar su combinación.

En la segunda fase se ofertaron durante 24 h los dos mejores tratamientos de la primer fase (T₁ y T₄) y Db que se mantuvo durante todo el día, ajustándose la cantidad según el peso vivo del animal con un rechazo del cinco por ciento en todos los alimentos. Los porcentajes de inclusión y composición nutrimental de la dieta base se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Porcentaje de inclusión y composición nutrimental de la dieta base ofertada a ovinos en la prueba de cafetería con las diferentes partes morfológicas de *R. communis* con y sin melaza.

Ingredientes	% Inclusión
Rastrojo de maíz	50.00
Pasta de soya	4.00
Maíz rolado	28.00
Melaza	15.00
Sebo	2.00
Núcleo mineral	1.00
Análisis químico	%
Materia seca	81.68
Proteína cruda	8.82
Grasa cruda	3.23
FDN	45.88
FDA	29.58
Cenizas	6.58

FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida.

Las variables a medir fueron preferencia de consumo de los tratamientos, dinámica de comportamiento individual de los tratamientos (g MS/día) y signos de intoxicación.

Para el análisis de los datos se utilizó un ANDEVA con un diseño completamente al azar, en la primer fase con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, para la segunda fase dos tratamientos con cuatro repeticiones, en ambas fases se utilizó prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de diferencia múltiple de medias, con apoyo del paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XV.II

5.2.2. Resultados.

En cuanto al contenido nutricional de los tratamientos con *R. communis* en la primera fase, la proteína cruda en todos los tratamientos se encontró en niveles superiores a 20 % sin embargo, en ambas fases la HRc alcanzó el máximo porcentaje de proteína cruda (31 %). Por otro lado, se observó en la primer fase mayores porcentajes de FDN y FDA en el tratamiento PCRc+M, además en la segunda fase éstas continuaron siendo mayores en el mismo tratamiento (Cuadro 9).

Cuadro 9. Contenido nutricional de las diferentes partes morfológicas de *R. communis* con y sin melaza ofertados a ovinos en la prueba de cafetería.

Tratamientos	Porcentaje									
	Fase 1					Fase 2				
	MS	PC	FDN	FDA	C	MS	PC	FDN	FDA	C
HRc	90.0	31.2	25.8	24.3	7.7	88.2	31.3	19.6	29.7	8.3
HRc+M	86.9	20.7	23.2	18.9	8.9	-	-	-	-	-
HPRc+M	88.2	24.2	22.0	22.7	10.9	-	-	-	-	-
PCRc+M	87.3	22.5	33.7	26.0	12.1	95.6	17.9	38.6	41.4	12.7

HRc= Hoja de *R. communis*; HPRc= Hoja y peciolo *R. communis*; PCRc= Planta completa de *R. communis*; M= Melaza; MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida; C= Cenizas.

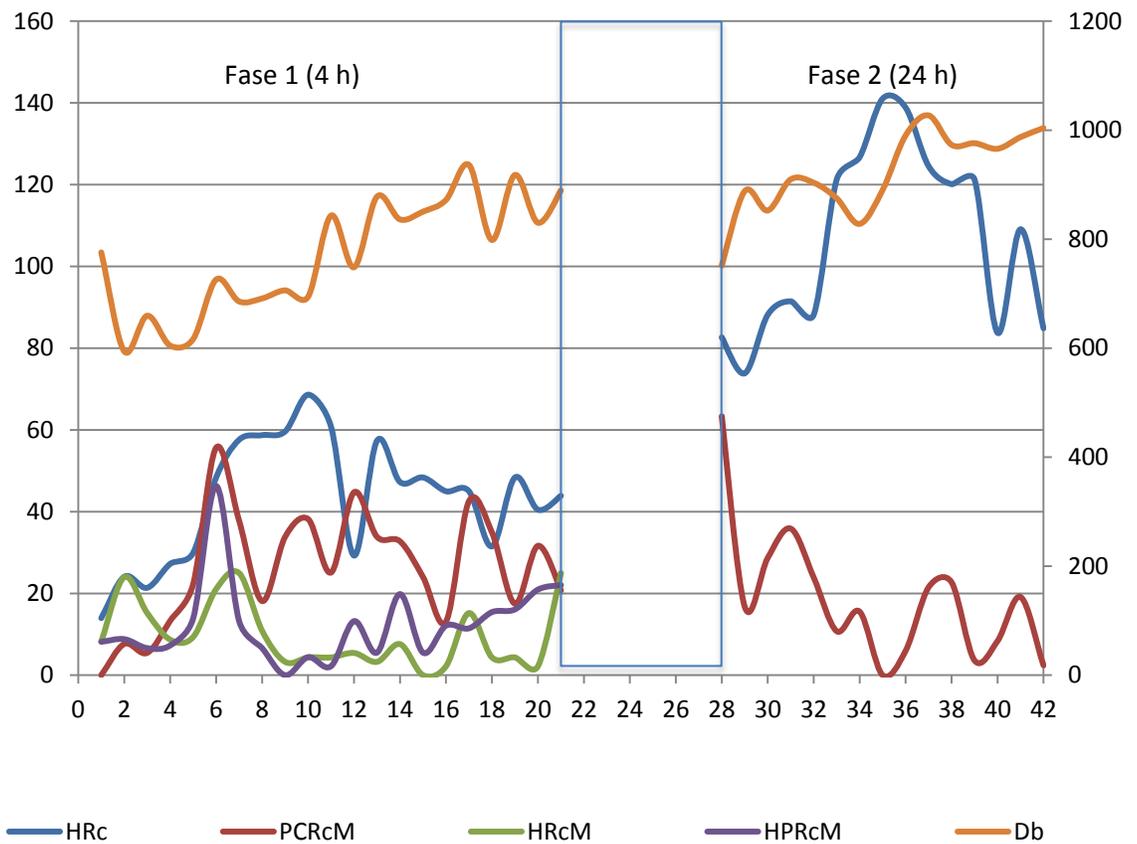
En la Cuadro 10, se muestra la preferencia de consumo de la primera y segunda fase, en la cual los animales mostraron preferencia por la hoja de *R. communis* (43.17 g MS/día y 106.38 g MS/día respectivamente), mientras que HRc+M y HPRc+M fueron los que menos consumo presentaron (9.70 y 12.36 gMS/día), sin embargo la PCRc+M tuvo un consumo intermedio con 26.34 g MS/día ($P < 0.005$) asimismo en la fase dos, la HRc continuó siendo el tratamiento con mayor preferencia de consumo comparado con la PCRc+M.

Cuadro 10. Preferencia de consumo (g/día) de las diferentes partes morfológicas de harina de *R. communis* con y sin melaza en ovinos.

Tratamientos	Fase 1			Fase 2		
	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx
HRc	43.17 ^a	13.95	68.62	106.38 ^a	73.83	141.05
HRc+M	9.70 ^c	0	24.96	-	-	-
HPRc+M	12.36 ^c	0	46.28	-	-	-
PCRc+M	26.34 ^b	0	55.66	18.56 ^b	0	63.34
EEM	2.63	-	-	5.05	-	-
P	0.001	-	-	0.001	-	-

HRc= Hoja de *R. communis*; PCRc= Planta completa de *R. communis*; M= Melaza, EEM= Error estandar de la media; P= Probabilidad; a,b,c= distinta literal en columna significa diferencia estadística (Tukey <0.005).

En la Figura 5, se resume la dinámica de consumo en dos fases de la harina de hoja, de diferentes partes morfológicas de *R. communis* y la dieta base. En la primer fase se observa un consumo menor y variable en HRcM y HPRcM. En el caso de la hoja de *R. communis* despues de seis días de descanso, el consumo observado en la segunda fase contrasta con la primera con un aumento gradual llegando a consumir hasta 141.05 g MS en 24 h, así mismo el consumo de la dieta base continuó incrementando, mientras que se observó una disminucion de la PCRcM. En ambos periodos no existio presencia de signos intoxicación.



HRc= Hoja de *R. communis*; PCRcM= Planta completa de *R. communis* con melaza; HRcM= Hoja de *R. communis* con melaza; HPRcM= Hoja y peciolo de *R. communis* con melaza; Db= Dieta base.

Figura 5. Dinámica de consumo en dos fases de la harina de hoja, de diferentes partes de morfológicas enmelazadas de *R. communis* y de la dieta base por ovinos.

5.3. Ensayo 3. Efecto de diferentes niveles de inclusión de la melaza sobre la preferencia y consumo de planta completa de *Ricinus communis* L. por ovinos.

Con base en los ensayos anteriores, en donde la inclusión de 15 % de melaza modificó de manera positiva el consumo de la planta completa de *R. communis*, al alcanzar un máximo de 63.3 g/día comparado con el ensayo uno en donde se registró 19.0 g/día, se planteó conocer el mejor nivel de inclusión de melaza asociada a la preferencia y consumo de la planta completa de *Ricinus communis* L. por ovinos.

5.3.1. Materiales y métodos.

El ensayo se llevó a cabo en el municipio de Etzatlán, Jalisco, en el Rancho “San Juan”. Ubicado en las coordenadas geográficas 20° 46’ 32.9” latitud Norte, 104° 04’ 45.35” longitud Oeste, donde predomina un clima de trópico-seco con una temperatura media de 21.5 °C, con una precipitación media pluvial de 835.8 mm (INEGI, 2009) y una altura sobre el nivel del mar de 1,381 m (Google Earth, 2014).

Se desarrolló una prueba de cafetería en corraletas individuales durante un período de 21 días, los animales utilizados fueron los mismos que en el ensayo dos con agua a libre acceso. Donde se utilizaron cuatro borregas Pelifolk de 29.30 ± 1.8 kg PV, se desparasitaron con Ivermectina 1 % vía subcutánea a una dosis de 1 mL/50 kg PV y se les suministró una dosis de cuatro mL de vitamina ADE con vitamina B₁₂ (Polivit B₁₂+ADE) por vía intramuscular.

Para la obtención de la harina de Higuierilla se recolectaron las plantas que nacieron de manera silvestre sobre caminos y carreteras de la región, se seleccionaron plantas con tallos tiernos de 150-190 cm de altura, desechando el primer tercio de la base hacia la parte alta del tallo y a las plantas que presentaron fruto, ésta parte anatómica se eliminó para evitar que fueran consumidas.

Enseguida se picaron (maquina picadora de machetes marca Azteca adaptada, México) y secaron a la sombra, una vez deshidratadas, se procesaron en un molino de forraje con una criba de media pulgada (marca Guadalajara adaptado con entrada de siete pulgadas, México). Los tratamientos consistieron en: 100:0, 75:25, 50:50 y 25:75 % de planta completa de Higuierilla (PCRc) en relacion a la melaza que se mantuvieron disponibles durante todo el día, ajustándose la cantidad según el PV del

animal. Además se ofreció una dieta base (Db), la cual se describe en el Cuadro 11, de estos alimentos se buscó obtener un rechazo del cinco por ciento.

A cada borrega se le ofertó 50 g de cada tratamiento al inicio del ensayo y se ajustó la oferta basada en su dinámica de consumo. Se tomaron muestras de cada tratamiento para realizar el análisis químico proximal (AOAC, 2002) y fracciones de fibra (Van Soest, 1963).

Cuadro 11. Porcentaje de inclusión y composición nutrimental de la dieta base ofertada a ovinos en la prueba de cafetería con diferentes niveles de inclusión de melaza en la planta completa de *R. communis*.

Ingredientes	% Inclusión
Rastrojo de maíz	50.0
Pasta de soya	4.0
Maíz rolado	28.0
Melaza	15.0
Sebo	2.0
Núcleo mineral	1.0
Análisis químico	%
Materia seca	81.7
Proteína cruda	8.8
Grasa cruda	3.2
FDN	45.9
FDA	29.6
Cenizas	6.6

FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida.

Las variables a medir fueron preferencia y consumo de los tratamientos dinámica de comportamiento individual de los tratamientos (g MS/día), consumo de los tratamientos con Higuierilla en relación a la dieta base (g), consumo total promedio de

la planta completa de *R. communis* con relación al porcentaje de melaza y además se estimó la diferencia de consumo de la planta completa con relación al porcentaje de inclusión de melaza y signos de intoxicación.

Para el análisis de los datos se utilizó un ANDEVA con un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, cuatro repeticiones y prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de diferencia múltiple de medias, con apoyo del paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XV.II

5.3.2. Resultados.

En la Cuadro 12, se observa que el mayor contenido de proteína cruda fue para el tratamiento 100:0 (23.4 %), y el tratamiento con mayor cantidad de melaza, presentó el menor porcentaje de proteína (14.6 %). Por otro lado los menores porcentajes de fracciones de fibra (FND y FDA) se observó en el tratamiento con mayor porcentaje inclusión de melaza.

Cuadro 12. Contenido nutricional de la planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusion de melaza.

Tratamientos PCRc : Melaza	Porcentaje				
	MS	PC	FDN	FDA	Ceniza
100:0	88.6	23.4	46.9	43.8	13.0
75:25	88.1	20.0	41.6	32.1	13.3
50:50	87.9	16.7	41.7	34.0	15.9
25:75	87.4	14.6	36.7	29.2	13.4

PCRc= Planta completa de *R. communis*; MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida.

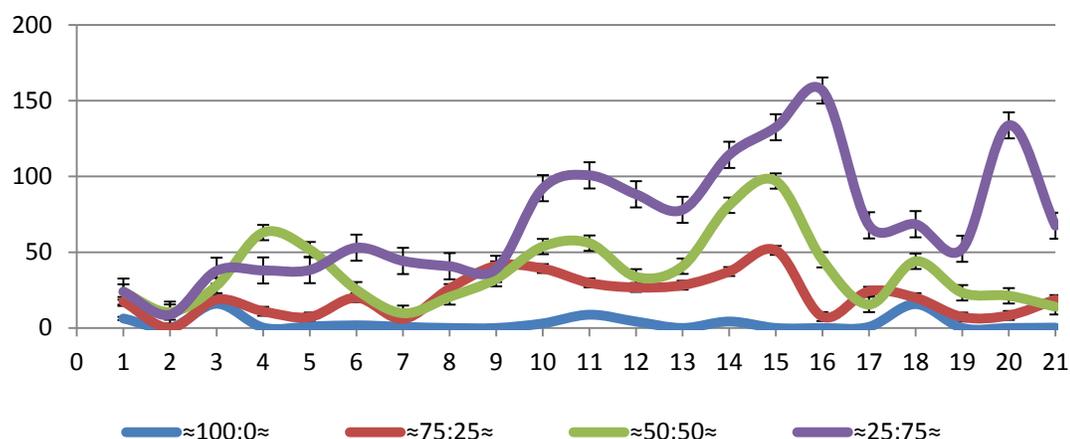
En la Cuadro 13, se muestra que los animales mostraron mayor preferencia de consumo por el tratamiento 25:75 (70.3 g/día) mientras que el consumo para el tratamiento 100:0 fue el más bajo. Respecto a los tratamientos 75:25 y 50:50 el consumo fue estadísticamente similar ($P < 0.001$).

Cuadro 13. Preferencia de consumo (g/día) de la planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en ovinos.

Tratamientos	Media	Mínimo	Máximo
PCRc : Melaza			
100:0	3.0 ^c	0.0	16.0
75:25	21.2 ^b	0.0	51.3
50:50	37.6 ^b	9.8	97.0
25:75	70.3 ^a	8.8	156.8
EE	4.0		
P	0.001		

PCRc; Planta completa de *R. communis*; a,b,c distinta literal en columna significa diferencia estadística (Tukey <0.001).

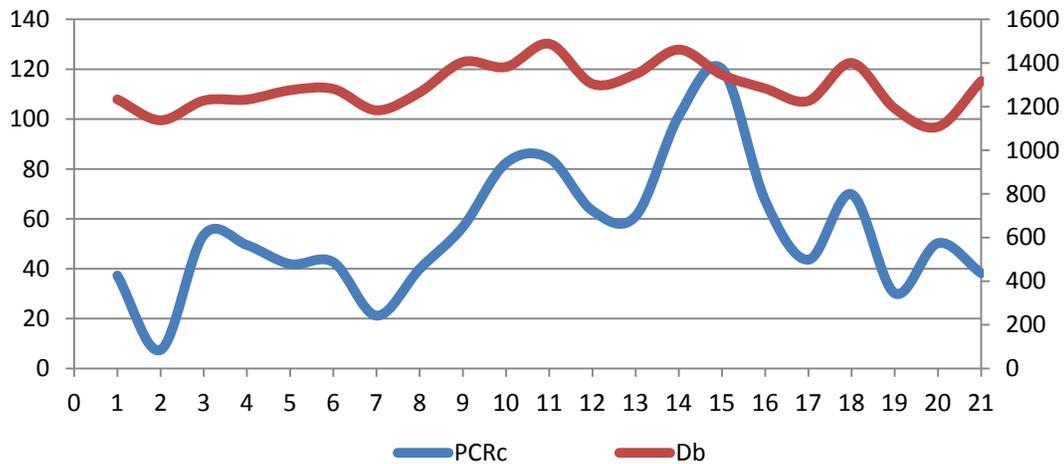
Respecto a la dinámica de consumo con Higuierilla, se observó una preferencia por el tratamiento 25:75 con un nivel de ingestión de hasta 156.8 g/día, con tendencia a incrementar el consumo hasta el día 16 y con un comportamiento variable en todo el ensayo. En contraste el consumo de PCRc fue prácticamente nulo, mientras que para la relación 75:25 y 50:50; se mostraron consumo intermedios entre los anteriores (Figura 6).



100:0= 100% Higuierilla+0% melaza; 75:25= 75% Higuierilla+25% melaza; 50:50= 50% Higuierilla+50% melaza; 25:75= 25% Higuierilla+75% melaza.

Figura 6. Dinámica de preferencia de consumo de la planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en ovinos.

El consumo total de planta completa de *R. communis* cuando se incluyeron los diferentes niveles de inclusion de melaza, tuvo una variación de 7.4 hasta 120.6 gMS con un incremento lineal hasta el día 16 y disminución en el resto del ensayo, sin presentar signos de intoxicación, mientras que el consumo de la dieta base se mantuvo estable (Figura 7).



PCRc= Planta completa de *R. communis*; Db= Dieta Base.

Figura 7. Consumo total de planta completa de *R. communis* con diferentes niveles de inclusion de melaza en relación a la dieta base en ovinos.

Por otra parte, cuando se analizó el consumo por separado de las diferentes combinaciones de PCRc con melaza, se observó que el tratamiento con 50:50 fue el que mostró mayor consumo de la harina de PCRc (18.81 g/día), mientras que el resto de los tratamientos el consumo de *R. communis* fue menor, a pesar que el volumen total de ingestión en el tratamiento 25:75 fue mayor (Figura 8).

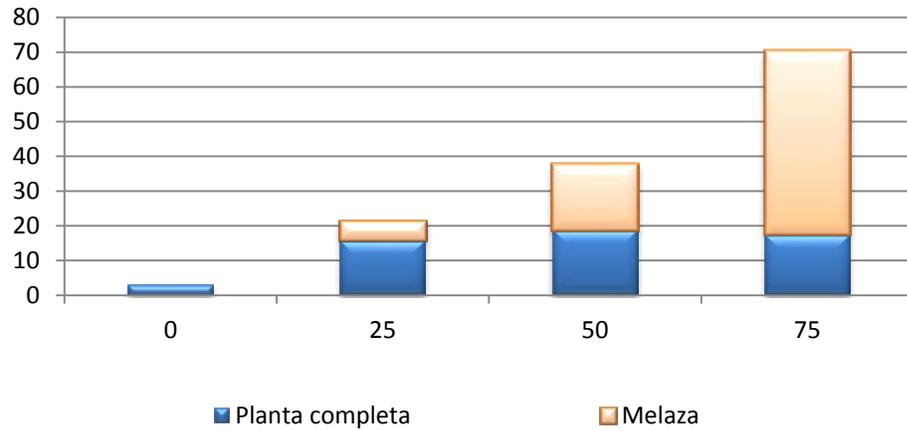


Figura 8. Consumo total promedio de la planta completa de *R. communis* con relación al porcentaje de melaza.

Por lo antes señalado en la Figura 9, se observa un aumento en el consumo de planta completa al incrementar el porcentaje de inclusión de melaza hasta 50%, la inclusión de 75% de melaza disminuyó el consumo de PCRc, este fenómeno se expresa como una línea de tendencia polinómica.

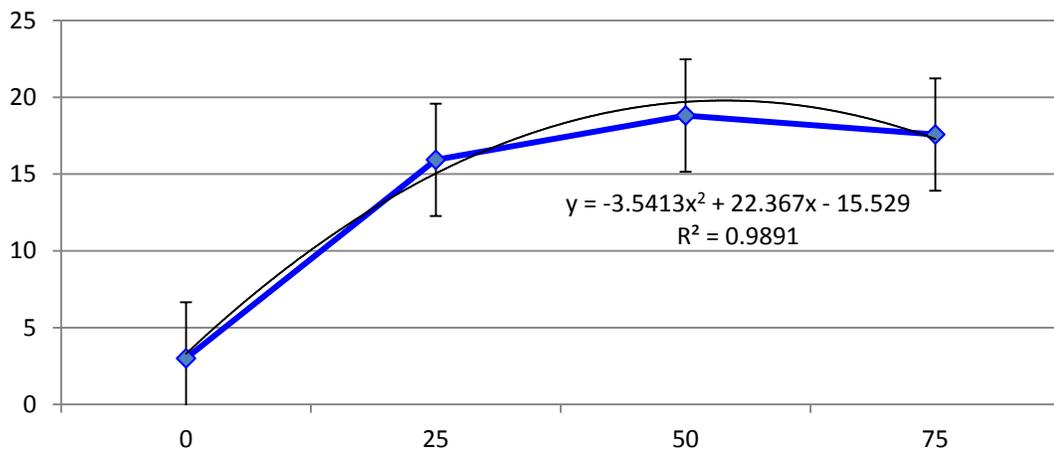


Figura 9. Consumo total promedio de la planta completa de *R. Communis* con diferentes niveles de inclusión de melaza en ovinos.

5.4. Ensayo 4. Determinación del efecto de diferentes niveles de inclusión de *R. communis* sobre la digestibilidad *in situ* de punta de caña de azúcar en bovinos.

Con base en la preferencia mostrada por los ovinos en los ensayos anteriores, en los cuales el mayor consumo fue la harina de hoja de *R. communis* llegando a consumir hasta 527 g MS en 24 h, sin presencia de signos de intoxicación y como una propuesta de un forraje de alta calidad de uso no convencional para la alimentación en rumiantes, se decidió determinar el efecto de diferentes niveles de inclusión de hoja y planta completa de *R. communis* sobre la digestibilidad *in situ* de punta de caña de azúcar en bovinos y de esta manera, evaluar el efecto de asociativo que se presente en estas combinaciones.

5.4.1. Materiales y métodos.

El experimento se llevó a cabo en el rancho “La Posta” del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes ubicado en las coordenadas: 21° 58' 10" latitud Norte y 102° 22' 27" latitud Oeste.

Se determinó la digestibilidad *in situ* de nueve tratamientos que se describen en el Cuadro 14, esto se realizó en un bovino previamente fistulado en rumen con peso aproximado de 490 kg. En la incubación ruminal se utilizaron bolsas de nylon para digestibilidad *in situ* de 10 x 20 cm y malla de 53 µm. Las bolsas fueron incubadas por triplicado, cada una con tres gramos de cada tratamiento. Las bolsas con la muestra de alimento fueron atadas a una cuerda de nylon de 50 cm y se incubaron en el rumen por 0, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72, 96 y 120 h.

Cuadro 14. Descripción de tratamientos en la determinación del efecto de diferentes niveles de inclusión de *R. communis* sobre la digestibilidad *in situ* de punta de caña de azúcar en bovinos.

Abreviación	Tratamiento
HRc	Hoja de Higuierilla (<i>Ricinus communis</i>).
PCRc	Planta completa de Higuierilla (<i>Ricinus communis</i>).
ALF	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>).
PCA	Punta de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).
RAS	Rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>).
PCA+15% HRc	85 % PCA + 15 % HRc
PCA+30% HRc	70 % PCA+ 30 % HRc.
PCA+15% PCRc	85 % PCA + 15 % PCRc
PCA+30% PCRc	70 % PCA + 30 % PCRc.

Después de cada incubación las bolsas fueron retiradas del rumen, se lavaron con agua a baja presión hasta la obtención de agua clara de la bolsa, posteriormente se secaron en un horno de aire forzado a 60 °C durante 24 h para la obtención de peso constante realizado en una balanza analítica y por diferencia determinar el porcentaje de digestibilidad de cada tratamiento.

Para su ajuste se utilizó la ecuación de Orskov y McDonald (1979):

$$Y = a + b (1 - \exp^{-ct})$$

Donde:

Y = Degradación real en función del tiempo (t)

a = Intersección de la curva de degradación a tiempo cero (representa el componente que se degrada rápidamente).

b = porcentaje de fracción potencialmente degradable.

c = Tasa constante de degradación.

a + b = Degradabilidad total del componente.

Se utilizó un análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar, para la diferencia múltiple de medias la prueba de Tukey (P<0.05), además se

utilizó la prueba-*t* para estudiar el efecto asociativo, con apoyo del paquete estadístico Statgraphics Centurion XV, 2007.

5.4.2. Resultados.

En el Cuadro 15, se muestran los parámetros de la cinética de digestibilidad *in situ*, donde HRc mostró el mejor índice en la fracción “b” y “a+b” seguido de PCRc y alfalfa en “a+b” y de PCRc en “b” con diferencia estadística significativa ($P < 0.001$). Asimismo, sola o asociada la PCA con la hoja o la planta completa tuvieron valores similares estadísticamente entre ellos sin importar el nivel de inclusión, excepto en la asociación PCA+HRc30 %, donde se observó un incremento del 9.8 %.

En cuanto a la tasa de degradación (c) el mejor valor lo obtuvo la alfalfa seguido de HRc y la PCRc, los menores valores los presentaron la PCA y el rastrojo de maíz. Asimismo, la tasa de degradación de los tratamientos con diferentes niveles de inclusión con HRc y PCRc fue mayor que la PCA, en los cuales, la PCA+30% HRc alcanzó la máxima degradación de los tratamientos combinados y en el resto de combinaciones llegó duplicarse.

Cuadro 15. Parámetros cinéticos de digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar con diferentes niveles de inclusión de hoja y planta completa de *R. communis*, referenciados con alfalfa y rastrojo de maíz.

Tratamiento	a	b	a + b	c
Hoja de <i>Ricinus communis</i> (HRc)	37.4 ^c	57.4 ^a	94.9 ^a	11.2 ^b
Planta completa de <i>Ricinus communis</i> (PCRc)	42.5 ^b	42.5 ^b	85.0 ^b	8.7 ^b
Alfalfa	47.1 ^a	35.8 ^c	83.0 ^b	14.6 ^a
Rastrojo de maíz	19.9 ^e	42.8 ^b	62.8 ^{cd}	1.8 ^e
Punta de caña de azúcar (PCA)	30.4 ^d	29.3 ^{de}	59.7 ^{de}	2.3 ^{de}
PCA+15%HRc	31.0 ^d	29.4 ^{de}	60.4 ^{de}	4.5 ^c
PCA+30% HRc	34.2 ^{cd}	31.2 ^{cd}	65.6 ^c	5.3 ^c
PCA+15% PCRc	31.8 ^d	25.8 ^e	57.5 ^e	4.3 ^{cd}
PCA+30% PCRc	33.5 ^{cd}	28.0 ^{de}	61.6 ^{cde}	4.8 ^c
Probabilidad	<0.001	0.001	0.001	0.001
Error estándar de la media	1.44	1.89	2.55	0.0081

a= Fracción rápidamente soluble; b= Fracción con degradabilidad efectiva; a+b= Fracción con potencialmente degradable; c= Tasa constante de degradación; a, b, c, d, e Letras distintas en las columnas indican diferencia estadística (Prueba de Tukey $P < 0.05$).

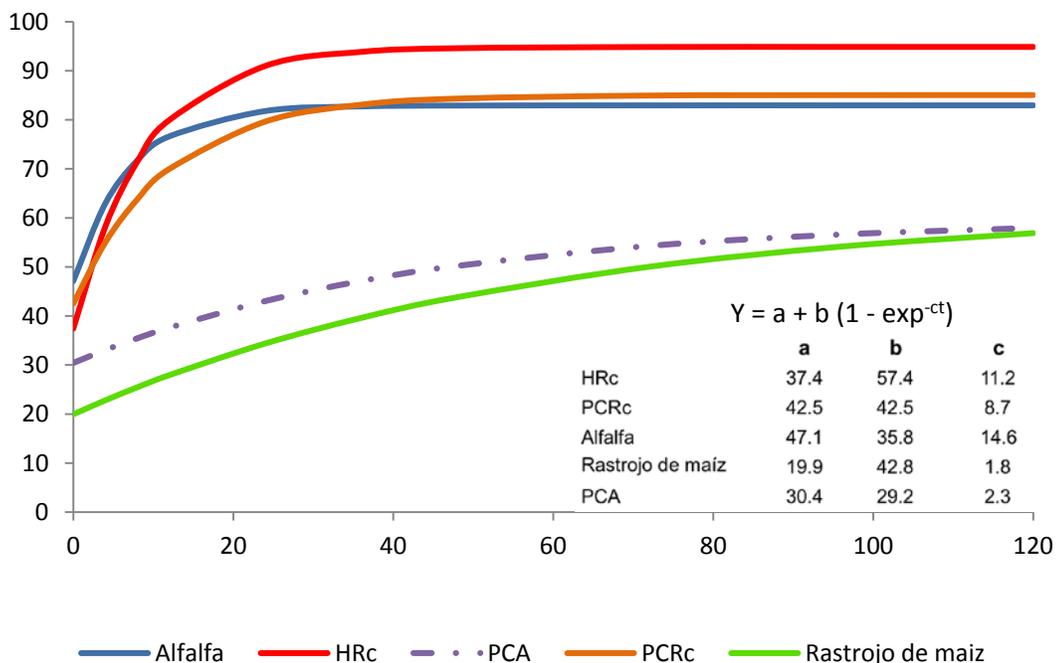
Los efectos asociativos de los diferentes niveles de inclusión (15 y 30 %) y partes morfológicas de *R. communis* (hoja y planta completa) se anotan en el Cuadro 16. Se observó que en las fracciones “b” y “a+b” existió diferencia estadística significativa para la prueba-*t* ($P < 0.01$) en los valores observados contra los esperados en todos los tratamientos que incluyeron la higuera, este efecto resultó de tipo antagónico y sin efecto para las fracciones “a” y “c”.

Cuadro 16. Efecto asociativo en digestibilidad *in situ* de las fracciones “a”, “b”, “a+b” y “c” de los tratamientos con hoja y planta completa de *R. communis*.

Tratamiento	Observado	Esperado	Prueba-t	P	Efecto asociativo
Fracción “a”					
PCA+15% HRc	31.0	31.5	-0.43	0.691	
PCA+30% HRc	34.3	32.5	2.63	0.058	
PCA+15% PCRC	31.8	32.2	-0.26	0.805	
PCA+30% PCRC	33.6	34.1	-0.63	0.563	
Fracción “b”					
PCA+15% HRc	29.4	33.5	-3.26	0.031	Antagónico
PCA+30% HRc	31.3	37.7	-11.17	0.000	Antagónico
PCA+15% PCRC	25.8	31.3	-8.55	0.001	Antagónico
PCA+30% PCRC	28.0	33.3	-5.21	0.006	Antagónico
Fracción “a+b”					
PCA+15% HRc	60.4	65.0	-6.54	0.003	Antagónico
PCA+30% HRc	65.6	70.3	-14.15	0.000	Antagónico
PCA+15% PCRC	57.6	63.5	-4.13	0.015	Antagónico
PCA+30% PCRC	61.6	67.3	-6.82	0.002	Antagónico
Fracción “c”					
PCA+15% HRc	4.5	3.7	2.00	0.116	
PCA+30% HRc	5.3	5.0	1.00	0.374	
PCA+15% PCRC	4.3	3.3	2.47	0.069	
PCA+30% PCRC	4.8	4.3	0.71	0.519	

PCA= Punta de caña de azúcar; HRc= Hoja de *R. communis*; PCRC= Planta completa de *R. communis*.

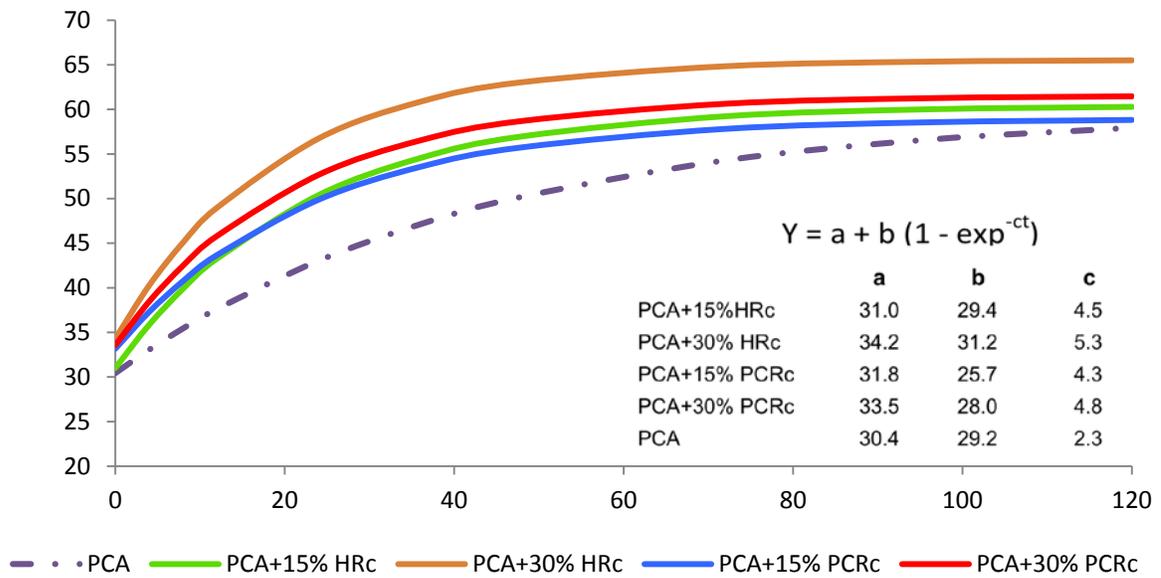
En la Figura 10 se muestra la dinámica de digestibilidad *in situ* de HRc, PCRC, PCA, alfalfa y rastrojo de maíz, en la cual HRc presentó la mayor digestibilidad (94.60 % a las 48 h) mientras que la alfalfa alcanzó una digestibilidad similar a la PCRC (82.73 % y 83.08 % respectivamente a las 36 h). Por otro lado para la PCA y RAS no se observó asíntota, su máxima digestibilidad de la fue de 57.94 % y 56.89 % a las 120 h respectivamente.



HRc= Hoja de *R. communis*; PCA= Punta de caña de azúcar; PC Rc = Planta completa de *R. communis*.

Figura 10. Dinámica de digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar, hoja y planta completa de *R. communis*, alfalfa y rastrojo de maíz.

En la Figura 11, se observa la dinámica de digestibilidad *in situ* de PCA y diferentes niveles de inclusión con HRc y PC Rc, donde se observa a la PCA con valores menores a los tratamientos que contienen con *R communis*. De esta manera las combinaciones con PCA+30 %HRc obtuvo el mayor porcentaje de digestibilidad (64.84 % a las 72 h), mientras que la más baja fue PCA+15 %PC Rc (55.34 % a las 48 h) y para PCA+30 %PC Rc y PCA+15 %HRc obtuvieron un comportamiento similar.



PCA= Punta de caña de azúcar; HRc= Hoja de *R. communis*; PCRc= Planta completa de *R. communis*.

Figura 11. Dinámica de digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar y diferentes niveles de inclusión con hoja y planta completa de *R. communis*.

5.5. Ensayo 5. Evaluación del efecto asociativo de *R. communis* sobre la calidad forrajera de punta de caña de azúcar en la producción de gas *in vitro*.

Es necesario el conocimiento cuantitativo de la cinética de digestión de las diferentes fracciones de un alimento, para estimar la cantidad de nutrientes digeridos. Una de éstas técnicas es la producción de gas *in vitro* que se utilizó en este ensayo para evaluar el efecto asociativo de *R. communis* sobre la calidad forrajera de la punta de caña de azúcar, la cual permite determinar la cinética de degradación de un alimento a través de la cantidad de gas producido durante la fermentación.

5.5.1. Materiales y métodos.

El ensayo se llevó a cabo en el rancho “La Posta” del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes ubicado en las siguientes coordenadas: 21° 58' 10" latitud Norte y 102° 22' 27" latitud Oeste.

Para evaluar la fermentación se utilizó la técnica de producción de gas *in vitro*, con el equipo ANKOM RT Gas production (ANKOM Technology, Macedon, NY). Se molieron a un tamaño de partícula de 1 mm y se colocó 1 g de MS de cada tratamiento en frascos de vidrio de 250 mL con tapas herméticas adaptadas con un sensor electrónico de presión a los cuales se les adicionó: 100 mL de buffer previamente preparado y 25 mL de líquido ruminal. Los frascos una vez con todo el contenido dentro se purgaron por 20 segundos con CO₂ y se cerraron.

Se realizaron dos ensayos con tres repeticiones por tratamiento, en el primer ensayo se evaluó la PCA con la HRc y en el segundo la PCA con PCRc, se incluyeron tres frascos por corrida como blancos; estos sólo contenían buffer y líquido ruminal. Los frascos se colocaron en agua tridestilada a 39 °C y se midió la presión de gas (p.s.i.) automáticamente cada cinco minutos por 72 h, posteriormente se convirtieron los resultados a volumen (mL gas/g MS) con la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de gas (mL gas/g MS)} = (\text{presión [103 Pa]+4,95})/2,5858) * \text{g MS muestra.}$$

El contenido ruminal se tomó de una vaca cruce Holstein-Cebú adulta canulada en rumen, alimentada con dieta de mantenimiento. El contenido ruminal se extrajo

antes de la oferta del alimento y se conservó en termos cerrados hasta llegar al laboratorio, donde se licuó y posteriormente se filtró para conformar el inóculo.

La composición del buffer fue la siguiente: Solución A (1500 mL): 15.0 g KH_2PO_4 ; 0.75 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.75 g NaCl; 0.15 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 0.75 g $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; Solución B (300mL): 45.0 g Na_2CO_3 ; 3.0 g $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Se mezclaron estas soluciones a razón de 1 unidad de solución B por 5 unidades de solución A y se ajustó el pH a 7.5 (Marten y Barnes, 1980).

Se seleccionó como ecuación de ajuste para la producción de gas *in vitro* la curva de Gompertz:

$$PG(a,b,c,t) = a \exp(-b \cdot \exp(-ct))$$

Dónde:

PG = gas producido al tiempo t por gramo de materia orgánica incubada.

a = Producción de gas asintótica, caracteriza la cantidad máxima de producción de gas en el experimento (mL).

b = Máxima tasa de producción de gas (mL/h), que se presenta en el punto de inflexión de la curva.

c = Tiempo Lag (h), definido como el intercepto del eje-tiempo de la línea de la tangente en el punto de inflexión.

t = tiempo.

Se utilizó un análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar, para diferencia múltiple de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$), además se utilizó la prueba-*t* para estudiar el efecto asociativo, los datos se analizaron con el paquete estadístico Statgraphic Centurión XV, 2007.

5.5.2. Resultados.

En el Cuadro 17, se muestra el primer ensayo con los parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro*, en el cual la máxima producción de gas “a” se presentó en HRc (89.2 mL/g MS), mientras que la PCA fue la menor (29.2 mL/g MS) ($P < 0.001$). y la incorporación de 30 % de HRc logró estimular la fermentación ruminal de la PCA en la producción de gas *in vitro* (49.5 mL/g MS).

Los parámetros relacionados con la curvatura del modelo “b” y “c” fueron estadísticamente diferentes en los tres tratamientos. La HRc obtuvo una mayor tasa

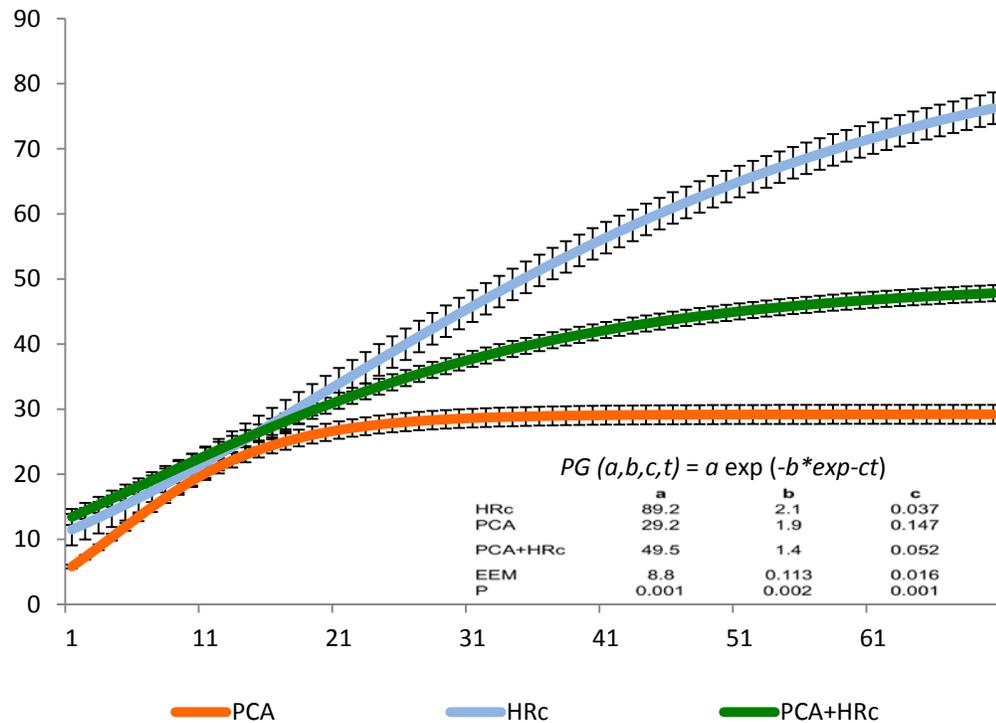
($P < 0.002$) en la fracción “b” mientras que PCA+HRc obtuvo la menor y en el caso de la fracción “c” la PCA obtuvo la menor velocidad ($P < 0.001$).

Cuadro 17. Parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro* de la hoja de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar.

Tratamiento	a	b	c
HRc	89.2 ^a	2.1 ^a	0.037 ^a
PCA	29.2 ^c	1.9 ^b	0.147 ^c
PCA+HRc	49.5 ^b	1.4 ^c	0.052 ^b
EEM	8.8	0.113	0.016
P	0.001	0.002	0.001

a= Máxima de producción de gas (mL/g MS); b y c= Parámetros relacionados con la curvatura del modelo; PCA= Punta de caña de azúcar; HRc= Hoja de *Ricinus communis*; P=Probabilidad; EEM= Error estándar media; a, b, c Letras distintas en las columnas indican diferencia estadística (Prueba de Tukey $P < 0.05$).

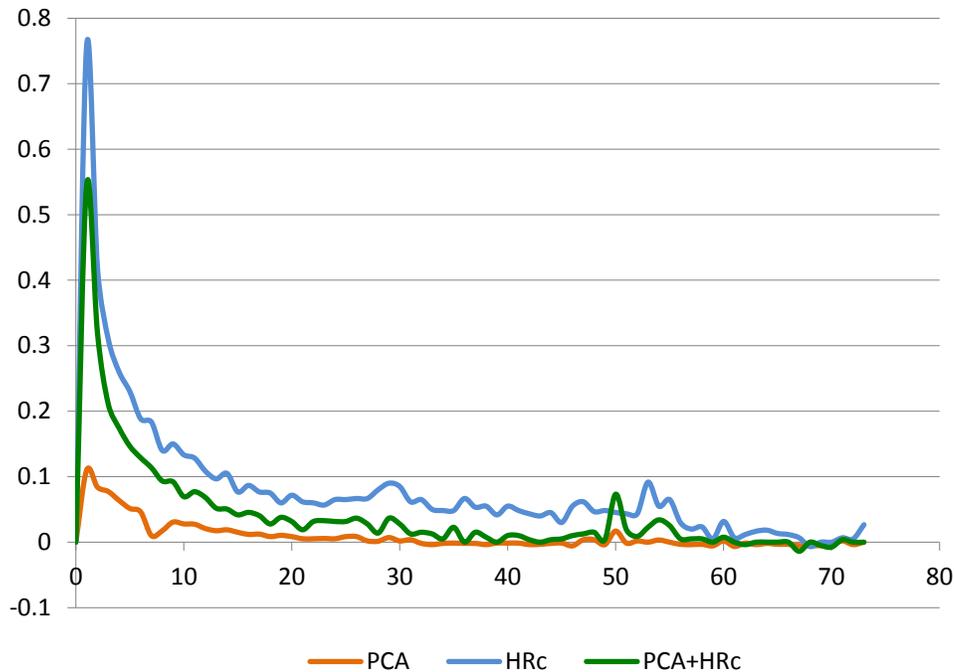
Las curvas de producción de gas de este ensayo mediante la función de Gompertz se presentan en la Figura 12, en la cual a partir de las 21 h la producción de gas (mL/g MS) de cada tratamiento comienza a diferenciarse y donde la HRc presentó la mayor producción de gas sin llegar a la asíntota, mientras que PCA mostró la menor, llegando asíntota a las 24 h, sin embargo al incorporarle 30 % de HRc a la PCA incrementó la producción de gas.



PCA= Punta de caña de azúcar; HRc= Hoja de *Ricinus communis*.

Figura 12. Efecto de la asociación de la hoja de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar en la técnica de producción de gas *in vitro* mediante la función de Gompertz.

La tasa de digestibilidad en la producción de gas se obtuvo en porcentaje por hora, donde HRc mostró una mayor tasa de degradación, seguido de PCA+HRc y la PCA respectivamente y a su vez, la velocidad de producción de gas fue diferente entre los tratamientos (Figura 13).



PCA= Punta de caña de azúcar; HRc= Hoja de *Ricinus communis*.

Figura 13. Asociación de la hoja *R. communis* con punta de caña de azúcar sobre la tasa de digestibilidad en la producción de gas *in vitro*.

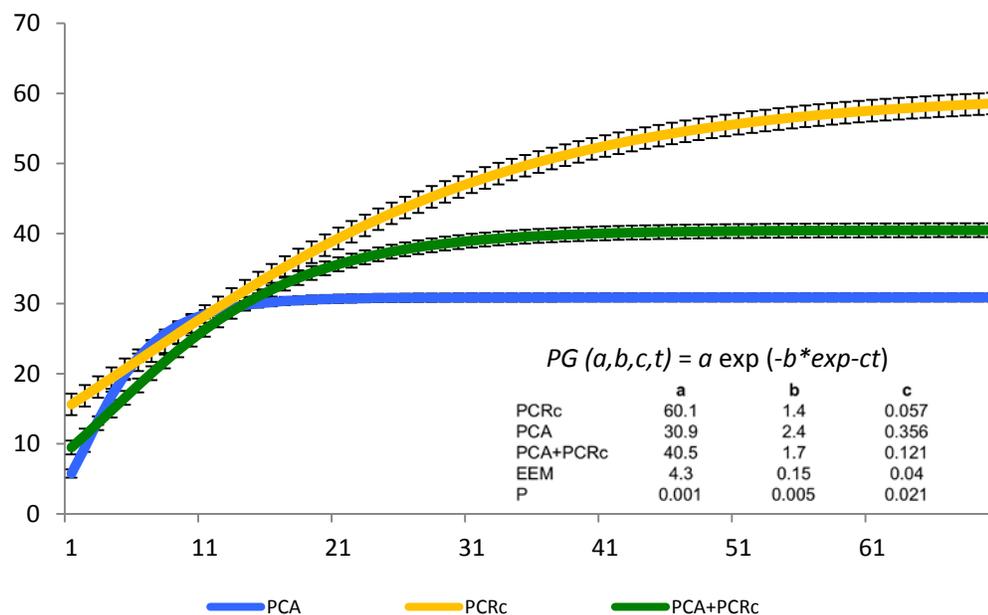
En el Cuadro 18, se observan los parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro* del segundo ensayo, en la cual, la máxima producción de gas “a” en los tres tratamientos fue estadísticamente diferente ($P > 0.001$) donde la PCRc fue la que presentó mayor producción de gas (60.1 mL/g MS), mientras que la PCA fue la menor (30.9 mL/g MS) y al agregar 30% de PCRc a la PCA, se logró estimular la fermentación en la producción de gas *in vitro* (40.5 mL/g MS) Por otro lado, los parámetros relacionados con la curvatura del modelo “b” y “c” de la PCA fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos ($P = 0.005$ y $P = 0.021$, respectivamente).

Cuadro 18. Efecto de la planta completa de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar en los parámetros cinéticos de la producción de gas *in vitro*.

Tratamiento	a	b	c
PCRc	60.1 ^a	1.4 ^b	0.057 ^b
PCA	30.9 ^c	2.4 ^a	0.356 ^a
PCA+PCRc	40.5 ^b	1.7 ^b	0.121 ^b
EEM	4.3	0.150	0.040
P	0.001	0.005	0.021

a= Máxima de producción de gas (mL/g MS); b y c= Parámetros relacionados con la curvatura del modelo; PCA= Punta de caña de azúcar; PCRc= Planta de *Ricinus communis*; P=Probabilidad; EEM= Error estándar media; a, b, c Letras distintas en las columnas indican diferencia estadística (Prueba de Tukey P<0.05).

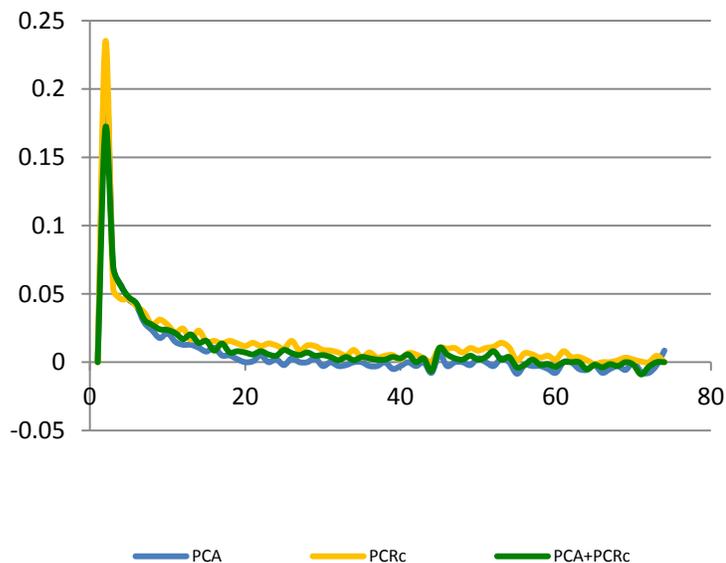
En la Figura 14 se muestran las curvas de producción de gas de los tratamientos del segundo ensayo obtenidas mediante la función de Gompertz. La PCA logró llegar asíntota a las 13 h, mientras PCA+PCRc a las 31 h, sin embargo la PCRc fue la que presentó mayor producción de gas.



PCA= Punta de caña de azúcar; PCRc= Planta completa de *Ricinus communis*.

Figura 14. Efecto de la asociación de la planta completa de *R. communis* sobre la punta de caña de azúcar en la técnica de producción de gas *in vitro* mediante la función de Gompertz.

La tasa de digestibilidad en la producción de gas se obtuvo en porcentaje por hora, donde PCRc mostró una mayor tasa de degradación, seguido de PCA y la PCA+PCRc respectivamente (Figura 15).



PCA= Punta de caña de azúcar; PCRc= Planta completa de *Ricinus communis*.

Figura 15. Asociación de la planta completa de *R. communis* con punta de caña de azúcar sobre la tasa de digestibilidad en la producción de gas *in vitro*.

El efecto asociativo en la producción de gas *in vitro* de PCA con 30% de HRc y 30% de PCRc fue de tipo antagónico en las fracciones “b” y “c”, mientras que en la fracción “a” para ambos tratamientos no existió diferencia estadística (Cuadro 19).

Cuadro 19 . Efecto asociativo en producción de gas *in vitro* en las fracciones “a”, “b”, y “c” de punta de caña de azúcar con 30 % de hoja y planta completa de *R. communis*.

	Esperado	Observado	Prueba-t	P	Efecto asociativo
PCA+HRc					
a	47.20	49.55	1.035	0.359	
b	1.95	1.38	-7.997	0.001	Antagónico
c	0.112	0.052	-16.128	0.001	Antagónico
PCA+PCRC					
a	39.66	40.50	0.54	0.616	
b	2.11	1.66	-3.47	0.026	Antagónico
c	0.266	0.121	-3.41	0.027	Antagónico

PCA= Punta de caña de azúcar; PCRC= Planta completa de *Ricinus communis*; HRc= Hoja de *Ricinus communis*

6. Discusión general.

6.1. Adaptación, preferencia y consumo.

La parte morfológica de la Higuierilla preferida por los ovinos en condiciones de estabulación fue la hoja; sin presentación de signos de intoxicación, por ello, se presenta como una alternativa de alimentación en ovinos, como un forraje de alto valor nutricional como lo describen Behl *et al.* (1986) y lo confirman Del Viento *et al.* (2014), con bovinos en pastoreo, a pesar de las diferencias morfológicas y de hábitos de consumo entre estas dos especies y del sistema de alimentación utilizado que influye sobre las características de cada especie animal (Mazorra *et al.*, 2009).

A su vez, estos resultados difieren de lo señalado por Tokarnia *et al.* (1975), quienes mencionaron que el consumo de hojas de Higuierilla provocó intoxicación e incluso la muerte de bovinos a una dosis de 5 g MS/kg PV, en el presente ensayo después de 20 días de consumo de manera gradual los animales superaron esta dosis señalada como tóxica, que inclusive llegó a ser hasta tres veces superior a lo indicado por estos autores, fenómeno que puede explicarse como un mecanismo de adaptación del principio tóxico contenido en las hojas (alcaloide ricinina) como lo mencionan Silva *et al.* (2006).

Esta preferencia de consumo por la hoja llegó a significar hasta el 33 % del total de la ración, a este fenómeno autores como Rhind *et al.* (2002), Forbes (2007) y Provenza *et al.* (2003), lo describen como de tipo multifactorial, pues destacan el estado nutricional del animal, experiencias previas de consumo, tipo de alimento, calidad, sabor, color, olor y las propiedades químicas de la planta, como elementos importantes que impactan la selección y nivel de consumo de la dieta (Decruyenaere *et al.*, 2009; Villalba *et al.*, 2004; 2015).

En este sentido, la preferencia de consumo por la hoja de *R. communis* también está direccionada a aspectos hedónicos y de orosensación en rumiantes, que se mencionan en trabajos recientes por Villalba *et al.* (2015) y Dalton y Finlayson (2013), quienes describen que la percepción sensorial que el animal recibe del

alimento están asociados al placer y a la saciedad (Ramírez, 2009; Baumont *et al.*, 2000).

Otro factor asociado a la preferencia y consumo de la hoja está directamente relacionado con el llenado y vaciado del rumen (Araujo, 2005) ello determinado por la digestibilidad del alimento y la tasa de pasaje, tanto Thornton y Minson (1973) como Decruyenaere *et al.* (2009), las mencionan como una relación positiva, situación que se asocia con la harina de la hoja de Higuierilla a su alta digestibilidad (94.61 % a las 48 h) , similar a lo reportado por Del Viento *et al.* (2014) (93.21 %) y Palma *et al.* (2015) (95.6 %).

Un fenómeno observado que trata de explicar el comportamiento selectivo de alimentos fue la *eufagia* o “*sabiduria nutritiva*” (Provenza y Balph, 1995; Rogers y Blundell, 1991), quienes señalaron que mediante los sentidos del gusto, el olfato y el tacto, los animales tienen la capacidad innata para reconocer nutrientes o presencia de factores tóxicos, con aceptación inmediata o restringida, situación observada en el primer día, dónde las diferentes partes morfológicas de *R. communis* no fueron consumidas, posteriormente existió una adaptación con un incremento gradual en la hoja, con un consumo bajo y variable en la combinación de hoja-pecíolo y planta completa, mientras que el pecíolo y el tallo tuvieron un consumo mínimo.

Referente al consumo de plantas tóxicas Burrit y Provenza (2000) y Villalba (2003) mencionan que depende del tipo, concentración de nutrientes y algunas interacciones pueden que favorezcan el consumo, mientras que otras lo disminuyen. La posible explicación del bajo consumo observado en el pecíolo, tallo, pecíolo + hoja y planta completa, se posiblemente se asocie a la presencia de factores antinutricionales, en particular de glucósidos cardíacos (Ibraheem y Maimako, 2014) y taninos (Alugah y Ibraheem, 2014), autores que demuestran el alto contenido de estos metabolitos secundarios en las diferentes partes morfológicas de *R.communis*, compuestos que producen un intenso sabor amargo y astringencia lo cual explica el rechazo por el animal (Márquez y Suarez, 2008).

Puesto que la preferencia y el consumo de la harina de hoja de *R. communis* fue mayor comparado con el resto de las partes morfológicas, se buscó incluir un

saborizante como la melaza en 15 % en un primer ensayo, el cual modificó mayoritariamente el consumo de la planta completa (PCRc) pasando de 5.36 hasta 30.16 g/día, confirmando su potencial como saborizante, aun en forrajes no convencionales y mejorando el consumo en la alimentación de ovinos (Berman, 2011), sin embargo, los animales siempre manifestaron una mayor preferencia y consumo por la hoja.

Por otro lado, en un segundo ensayo en donde se incrementaron los niveles de inclusión de melaza con PCRc, donde se logró el mayor consumo en la relación 50:50, con 18.81 g/día. En este sentido, se ratificó que en ambos ensayos; los animales procesaron la información sobre los alimentos, como un proceso afectivo (conecta el sabor del alimento con las consecuencias postpandriales) y el cognoscitivo (integra el olor y la visión de un alimento con su sabor), de esta manera se explican los cambios en la ingestión de la planta completa cuando se incluyó melaza (Provenza *et al.*, 1992).

Por otra parte Borel (1990), mencionó un efecto de variabilidad en el consumo, denominado como factor de individualidad, fenómeno que se presentó en el consumo de los diferentes tratamientos con melaza.

En este esquema de alimentación, se observó un efecto adverso en el consumo de la hoja al combinarla con la melaza, pues se restringió el consumo de esta combinación. En este sentido la presencia de productos del metabolismo secundario en especial de alcaloides, (Ibraheem y Maimako, 2014) y taninos (Alugah y Ibraheem, 2014) combinados con los azúcares de la melaza posiblemente hayan sido los factores que indujeron a la disminución del consumo (Burrit y Provenza, 2000; Villalba, 2003).

Otro aspecto que se presentó en el presente trabajo, fue la variabilidad en la dinámica de consumo de los tratamientos con Higuierilla y melaza, en donde esta inestabilidad del consumo, se encuentra relacionado a la capacidad de destoxificación de cada organismo que está directamente relacionado con el estado nutricional del animal (Villalba, 2004).

6.2. Calidad nutrimental.

Referente a la calidad nutrimental, autores como Nagy *et al.* (1978) y Del Viento *et al.* (2014) reportaron en la hoja de Higuierilla valores altos de proteína (40 % y 21 % respectivamente), en este sentido el contenido de proteína cruda observado de esta parte morfológica de la Higuierilla fue de 27 a 31 %, lo cual puede asociarse con el mayor nivel de consumo de la harina de hoja de Higuierilla por los ovinos, además de que presentó un excelente valor energético como energía bruta 6.35 Mcal/kg MS), lo anterior, da un balance proteico-energético que favorece su consumo (Decruyenaere, *et al.*, 2009). Por otra parte, la variación en el valor nutricional de la hoja se puede deber a distintos factores, entre ellos a la edad de la planta (Ball *et al.*, 2001), además a la variedad de la misma, puesto que en estos trabajos se utilizaron material silvestre y es necesario tipificar en estudios posteriores la variedad que se utilice.

6.2.1. Digestibilidad *in situ*, producción de gas *in vitro* y efectos asociativos.

Referente a la determinación del efecto de diferentes niveles de inclusión de *R. communis* sobre la digestibilidad *in situ* de la punta de caña de azúcar (PCA), la fracción potencialmente degradable de la PCA se aumentó al incluir 30 % de HRC, este fenómeno se puede explicar por las interacciones que realizan los componentes nutricionales, entre ellos y principalmente los carbohidratos no estructurales, dada su rápida degradación que favorecen la síntesis de proteína microbiana y éstos a su vez actúan sobre la degradación de carbohidratos estructurales como la celulosa y la hemicelulosa que presenta PCA (Noguera *et al.*, 2006).

Por otra parte, Rosales (1999), define que existe un efecto de asociación cuando el valor nutritivo de la mezcla de los componentes de una dieta muestran procesos interactivos, en donde el valor de la mezcla no es igual a la suma de sus elementos individuales, estos efectos pueden ser positivos (sinérgico) o negativos (antagónico), en este sentido el efecto asociativo observado en la digestibilidad *in situ* de los tratamientos con hoja y planta completa de *R. communis* en las fracciones “b” y “a+b” fue de tipo antagónico.

Asimismo, en la producción de gas *in vitro* se observó el mismo efecto en las fracciones “b” y “c” de PCA con 30% de HRc y PCRc, estos resultados coinciden con Rosales (1996), quien determinó, efectos de asociación negativos en rumen con la mezcla de plantas con taninos comparada con plantas sin taninos; lo cual mencionó que podría estar relacionado con la protección de la proteína de la dieta por los taninos, suministrando así proteína de sobrepaso.

El metabolismo de la flora ruminal se encuentra regulado por la cantidad y la tasa de degradación de los carbohidratos de rápida fermentación, los cuales, afectan de manera positiva la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen. En este sentido, Machado *et al.* (2003) estudiaron la cinética de fermentación de diferentes gramíneas y leguminosas, con los cuales, concluyeron que los forrajes con menores porcentajes de FDN tienen mayor volumen y tasa de producción de gas, lo cual concuerda con lo observado en el presente ensayo, cuando se evaluó el efecto asociativo de *R. communis* sobre la calidad forrajera de PCA en la producción de gas *in vitro*.

Por otra parte, Chai *et al.* (2004) evaluaron seis fuentes diferentes de almidón a través de la técnica de producción de gas *in vitro* concluyeron que el volumen de gas producido es proporcional a la concentración de carbohidratos no estructurales. En este sentido, es necesario la consideración de alimentos que produzcan mayor cantidad de gas no necesariamente son los que producen mejores perfiles de fermentación (Noguera *et al.*, 2006). Por ejemplo alimentos ricos en almidón favorecen la fermentación propiónica (Pérez *et al.*, 1990b), este tipo de fermentación permite la utilización eficiente de las moléculas de glucosa, sin que ocurra la pérdida de energía por la producción de CO₂ y metano (Noguera *et al.*, 2006). Por otro lado dietas asociadas con melaza, generan una fermentación butírica (Pérez *et al.*, 1981) y dietas forrajeras estarán relacionadas con una fermentación acética (Van-Lier y Regueiro, 2008).

En este sentido, la producción de gas *in vitro* de los tratamientos con *R. communis* presentaron un efecto favorable al producir mayores volúmenes de gas y tasas de fermentación, similar a lo reportado por Del Viento (2014) cuando incluyó un

suplemento activador ruminal a un ensilado de *Pennisetum purpureum* CT-115 var. Cuba y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). La posible explicación, está relacionada con la sincronización de nutrientes que ayudan a la microflora en la degradación de la celulosa en el rumen. Sin embargo para el entendimiento de este proceso es necesario el conocimiento cualitativo y cuantitativo del tipo de carbohidratos que están presentes en las diferentes partes morfológicas de *R. communis*.

Desde este punto de vista se expone la necesidad del desarrollo de nuevas líneas de investigación que integren la incorporación de *Ricinus communis* L. al sistema de alimentación en rumiantes, mediante la creación de estrategias y desarrollo de un esquema tecnológico para el mejor aprovechamiento de este recurso.

7. Conclusión general.

Mediante un proceso de adaptación y selección los ovinos mostraron mayor preferencia y consumo por la harina de hoja de *R. communis* en relación a las otras partes morfológicas de la planta.

Por otro lado, cuando se utilizó melaza combinada con harina de planta completa de *R. communis* aumentó el consumo; de los niveles utilizados el 50 % de inclusión de melaza fue el mejor tratamiento para incrementar el consumo de esta.

En ninguno de los ensayos con animales se observaron signos de intoxicación.

En la digestibilidad *in situ*, *R. communis* demostró ser un forraje con alta digestibilidad, ya que la hoja superó a la alfalfa, mientras que la planta completa obtuvo valores similares a ésta. Asimismo se logró aumentar la fracción potencialmente degradable (a+b) y la tasa de degradación de la punta de caña cuando se combinó con *R. communis*.

Asimismo, en la cinética de degradación al combinar la PCA con hoja y planta completa de *R. communis*, existió un efecto asociativo de tipo antagónico de las fracciones “b y a+b” de la digestibilidad *in situ*, así como para las fracciones “b y c” en la producción de gas *in vitro*.

Por otro lado, la inclusión de 30 % de hoja y planta completa de *R. communis* en la punta de caña de azúcar lograron incrementar la fermentación ruminal en la producción de gas *in vitro*.

Basado en los estudios realizados, la calidad nutricional de la PCA aumenta cuando se combina con hoja o planta completa de *R. communis*.

8. Literatura citada

- Allison, C. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants. *Journal Range Management*. 38(4): 305-311.
- Alterieri, M. y Nicholls, C. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 250 pp.
- Alvarez, F. J. 1986. Experiencias con la caña de azúcar integral en la alimentación animal en Mexico. La caña como pienso. Estudio FAO producción y sanidad animal 72. Memorias de una consulta de expertos de la FAO en Santo Domingo, República Dominicana.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 17th edition. Ed. Association of Official Analytical Chemists. International Gaithersturg MD, U.S.A.
- Aranda, I. E. M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F, México.
- Aranda, I. E. M., Mendoza, G. D., García, B. C. and Castrejon, F. 2001. Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Livestock Production Science*. 71: 201-206.
- Araujo, O. 2005. Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de pastos y forrajes. Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia 4011, Venezuela.
- Araujo, O. 2008. Factores antinutricionales en los alimentos para ganado vacuno. Stagnaro, C.; Madrid, N. y Soto, E. Desarrollo sostenible de la ganadería doble propósito. Venezuela. *Astro Data*. 410-421 pp.
- Arboleda, F., Guzmán, O. y Mejía, L. 2012. Efecto de extractos cetónicos de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) sobre el nematodo barrenador [*Radopholus similis* (COBB.) THORNE] en condiciones *in vitro*. *Revista Luna Azul*. 35: 28-47.

- Arnold, G. W. 1981. Grazing Behavior. In: Grazing animals. Morley, F. (Ed.) World Animal Science. B1 Amsterdam, Elsevier. Pp. 79-104.
- Assis, T. S., Medeiros, M. T., Araújo, J. A., Dantas, A. F. y Riet, F. 2009. Intoxicações por plantas em ruminantes e equídeos no Sertão Paraibano / Plant poisonings in ruminants and equidae in the Sertão of Paraíba, Brazil. Pesquisa Veterinaria Brasileira. 29(11): 919-924.
- Atwater, W. O. 1904. Experiments on the digestibility of cereal breakfast foods. Storrs Agricultural Experiments Station. 260 pp.
- Audi, J., Belson, M., Patel, M., Schier, J. and Osterloh, J. 2005. Ricin poisoning: A comprehensive review. Journal American Medical Association. 294: 2342–2351.
- Avalos, A. y Pérez, E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. Reduca. Biología. Serie Fisiología Vegetal. 2(3): 119-145.
- Bach, A., Calsamiglia, S. and Stern, M. D. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. Journal of Dairy Science. 88(19): E9-E21.
- Ball, D., Collins, M., Lacefield, G., Martin, N., Meterns, D. and Olson, K. 2001. Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication. 1-01. Park Ridge, Illinois, U.S.A.
- Barnes, R. F. and Gustine, D. L. 1973. Allelochemistry and forage crops. Antiquality components of forages. Crops Science Society of America. Special publication 4(1): 1-13.
- Barry, T. M. 1983. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 3. Rates of body and wool growth. British Journal Nutrition. 54: 211-217.
- Basanta, R., Garcia, M. A., Cervantes, J. E., Mata, H. y Bustos, G. 2007. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. Ciencia y tecnología alimentaria. 5(4): 293-305.
- Behl, C. R., Pande, M. B., Pande, D. P. and Radadia M. S. 1986. Nutritive value of matured wilted castor (*Ricinus communis L.*) leaves for crossbred sheep. Short communication. Indian Journal Animal Science. 56 (4): 473-474.

- Belmar, R. y Nava, R. 2005. Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos. Alimentación no Convencional para Animales Monogástricos en el Trópico. Maracay. 51-61 pp.
- Berlijn, J. D. 2000. Cultivos Básicos. Cuarta Edición. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México D.F. 72 pp.
- Berman, J. B., 2011. Desarrollo de alimento animal melazado y enriquecido a partir de insumo no convencionales y subproductos de la caña de azúcar, para engorda de ganado bovino en etapa de finalización. Tesis para obtener el grado en Tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional. Altamira, Tamaulipas, México.
- Borel, R. 1990. Aspectos críticos de las metodologías de evaluación nutritiva de árboles y arbustos forrajeros. Nutrición de rumiantes. Guía metodológica de investigación. En: Ruiz, M. y Ruiz, A. Pp 21-31. ALPA-IICA-RISPAL. San José, Costa Rica.
- Burrit, E. A. and Provenza F. D. 2000. Role of toxins intake of varied diets by sheep. Journal Chemical Ecology. 26: 1991-2005.
- Bustamante, J. J. 2004. Estrategias de alimentación para la ganadería bovina en Nayarit. Campo Experimental El Verdineño. Centro de Investigación Regional del Pacifico Centro. INIFAP. Div. Pecuaria. No.1.
- Butterworth, M. H. 1963. Digestibility trials on forages in Trinidad and their use in the prediction of nutritive value. Journal Agricultural Science. 60 (3): 341-346.
- Buxton, D. R. and Fales S. 1994. Plant environment and quality. In: Fahey Jr., G. C. National conference on forage quality, evaluation and utilization. Madison, Wisconsin, USA. Pp.155-199.
- Cano, L. A., Aranda, E. M., Mendoza, G. D., Pérez, J. y Ramos, J. A. 2003. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. Revista Técnica Pecuaria México. 41 (2):153-164.

- Caspe, S. G., Bendersky, D. y Barbera, P. 2008. Plantas toxicas de la provincia de Corrientes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 43pp.
- Castillo, A. R., Burrola, M. E., Dominguez, J. and Chavez, A. 2014. Rumen microorganism and fermentation. *Archieve Medicine Veterinary*. 46: 349-361.
- Castro, M. 1993. Estudio de la melaza de caña como sustrato de la fermentación acetobutílica. Tesis de Pregrado Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia.
- Chai, W. Z., Van Gelder, A. H. and Cone J. W. 2004. Relationship between gas production and starch degradation in feed samples. *Animal Feed Science and Technology* 114: 195-204.
- Cho, A. S., Ueda, K. and Kondo, S. 2012. Evaluation of associative effects on ruminal digestion kinetics between pasture and grains using *in vitro* gas production method. *Animal Science Journal*. 83: 650-655.
- Church, D. C. y Pond W. G. 1990. Fundamentos de nutrición y alimentación animal. Editorial Limusa. México. 635pp.
- Connor, J. M., Bohman, V. R., Lesperance, A. L. and Kinsinger, F. E. 1963. Nutritive Evaluation of Summer Range Forage with Cattle. *Journal of Animal Science*. 22 (4): 961-969.
- Crompton, R. and Gall, D. 1980. Georgi Markov, death in a pelet. *Medico Legal Journal*. 48: 51-62.
- Dalton, M. and Finlayson G. 2013. Hedonics, Satiation and Satiety. In *Satiation, satiety and the control of food intake*. Woodhead Publishing series in food science technology and nutrition. No. 257. Ed. Blundell, J.E., Bellisle F. pp 221-237.
- Decruyenaere, V., Buldgen A. and Stilmant D. 2009. Factors affecting intake by grazing ruminant and related quantification methods. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*. 13 (4): 559-573.

- Del Viento, A. 2014. Sustitución de melaza por banano verde de rechazo en la elaboración de un suplemento activador ruminal (SAR) para bovinos en el trópico. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. Colima, México.
- Del Viento, A., Lara, C. y Palma, J. M. 2014. Higuierilla (*Ricinus communis* L.) ¿Forraje proteico alternativo para el ganado en sistemas silvopastoriles? XLI Reunión de la AMPA y VII Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Mérida, Yucatán, México. Pp. 398-401.
- Di Marco, O. 2011. Estimación de la calidad de los forrajes. Revista Producir XXI, Bs. As. 20(240): 24-30.
- Doughari, J. H. 2012. Phytochemicals: Extraction Methods, Basic Structures and Mode of Action as Potential Chemotherapeutic Agents. Ed. Venketeshwer Rao. Phytochemicals. A Global Perspective of Their Role in Nutrition and Health. Yola, Nigeria. In Tech. Pp. 538.
- Dupont, M. S., Múzquiz, M., Estrella, I., Fenwick, G. R. and Price, K. R. 1994. Relationship between the Sensory Properties of Lupin Seed with Alkaloid and Tannin Content. Journal of Science Food Agriculture. 65: 95-100.
- Escoto, T. 2013. Estudios de aprovechamiento integral de recursos forestales no maderables. Aprovechamiento integral de recursos forestales no maderables. Investigación y sustentabilidad. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. Pp. 9-84.
- Ewing, P. V. and Wells, C. A. 1915. The associative digestibility of com silage, cottonseed meal and starch in steer rations. Georgia Experiment Station. Exp.Georgia. 115:271p
- Fébel, H. and Fekete, S. 1996. Factors influencing microbial growth and the efficiency of microbial protein synthesis. Acta Veterinaria Hungarica. 44(1): 39-56.
- Ferreiro, H. M., Preston, T. R. and Sutherland, T.M. 1977. Digestibility of stalks and tops of mature sugar cane. Producción Animal Tropical. 2: 100.
- Fodstad, O., Johannessen, J. V., Schjerven, L. and Pihl, A. 1979. Toxicity of abrin and ricin in mice and dogs. Journal Toxicology and Environmental Health. 5: 1073–1084.

- Forbes, J. M. 1996. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *Journal Animal Science*. 74: 3029-3035.
- Forbes, J. M. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of: minimal total discomfort. *Nutrition Research Reviews*. 20: 132-146.
- Goering, M. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fibre analysis (apparatus, reagents, procedures and some application), *Agricultural Handbook N° 379*. USA Washington, Pp.90.
- Google Earth. (2014). Google Inc. (Software).
- Goytia, M. A., Gallegos C. H. y Núñez C. A. (2011). Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 41-48.
- Haraguchi, M. 2003. Plantas tóxicas de interesse na pecuária. *Biológico*. 65(1/2):37-38.
- Harborne, J. B. 1993. *Introduction to Ecological Biochemistry*. Elsevier Academic Press. EUA. 316pp.
- Heldt J. S., Cochran, R. C., Mathis, C. P., Woods, B. C., Olson, K. C., Titgemeyer, E. C., Nagaraja, T. G., Vanzant, E. S. and Johnson, D. E. 1999. Effects of level and source of carbohydrate and level of degradable intake protein on intake and digestion of low-quality Tallgrass-prairie hay by beef steers. *Journal Animal Science*. 77: 2846-2854.
- Ibraheem, O. and Alugah, C. I. 2014. Whole plant screenings for flavonoids and tannins contents in Castor plant (*Ricinus communis* L.) and evaluation of their biological activities. *International Journal of Herbal Medicine*. 2(2):68-76.
- Ibraheem, O. and Inayor, B. N. 2014. Assessing *Ricinus communis* L. (castor) whole plant parts for Phenolics and Saponins constituents for Medicinal and Pharmaceutical applications. *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry*. 3(4):815-826.

- Ibraheem, O. and Maimako, R. F. 2014. Evaluation of alkaloids and cardiac glycosides contents of *Ricinus communis* Linn. (Castor) Whole plant part and determination of their biological properties. International Journal of Toxicological and Pharmacological Research. 6(3):34-42.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Colima, Colima. Disponible en web: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/06/06002.pdf>. (Consultado Septiembre 2014).
- INEGI. 2013. Información por entidad. Disponible en web: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/territorio/clima.aspx?tema=me&e=06> (Consultado Noviembre 2015).
- Jiménez, R., Cervantes, R., Vallejo, J. A. Rosales, R. y Ríos, J. 2012. Perfil de aminoácidos de pastas residuales de piñón tropical (*Jatropha curcas*) e Higuierilla (*Ricinus communis*). Revista Agrofaz. 12(3):173-176.
- Kennedy, P. M., Christopherson R. J. and Milligan L. P. 1982. Effects of cold exposure on feed protein degradation, microbial protein synthesis and transfer of plasma urea to the rumen of sheep. British Journal of Nutrition. 47(3): 521-35.
- Lamela, L., Soto, R. B., Sanchez, T., Ojeda, F. y Montejo, I. 2010. Producción de leche de una asociación de *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* y *Pennisetum purpureum* CT-115 bajo condiciones de riego. Pastos y forrajes. 33 (1): 1-1pp
- LATFC. 1974. Latin American. Tables of feed composition. University of Florida, Gainesville, USA.
- Ledesma, J. H. 1996. Las Leguminosas forrajeras y su efecto en la producción ganadera. Revista Informativa del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 6: 42-45.
- López, M. A., Rivera J. A., Ortega L., Escobedo, J. G., Magaña, M. A., Sanginés, J. R. y Sierra, A. C. 2008. Contenido nutritivo y factores antinutricionales de plantas nativas forrajeras del Norte de Quintana Roo. Revista Técnica Pecuaria México. 46(2):205-215.

- Lusk, J. M., Browning, C. B. and Miles, J. T. 1962. Small sample *in vivo* cellulose digestion procedure for evaluation. *Journal of Dairy Science*. 45: 69-73.
- Macedo, R., Galina, M. A., Zorrilla, J. M., Palma, J. M. y Pérez, J. 2003. Análisis de un sistema de producción tradicional en Colima, México. *Revista Archivos de Zootecnia*. 52 (200): 463-474.
- Macedo, R. y Castellanos, Y. 2004. Rentabilidad de un sistema intensivo de producción ovino en el trópico. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 8 (3): 1-9.
- Machado, J. C., Gonzalez, R., Barrios, U. y Fondevilla, M. 2003. Determinación de la fermentación microbiana de gramíneas y leguminosas forrajeras mediante la producción de gas *in vitro*. ITEA. X Jornadas sobre Producción Animal. Zaragoza. Pp. 286
- Márquez. D. y Suarez A. 2008. El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*. 16: 87-109.
- Marmolejo M. A. 2009. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana Disponible en la web <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Ricinus%20communis&id=7702>. (Consultado Noviembre 2015).
- Martin, P. C. 1983. Obtención de los primeros valores de requerimientos de energía para crecimiento-ceba en condiciones de estabulación en Cuba. *Tabla Cubana*. Instituto de ciencia animal, Mimeo, Pp. 22.
- Martin, P. C. 2004. Alimentación del Ganado con caña de azúcar y sus subproductos. Editorial Edica. La Habana, Cuba. Pp.193.
- Martin, P. C. y Palma J. M. 1999. Manual para fincas y ranchos ganaderos. Indicadores útiles para su manejo. *Tablas tropicales de composición de alimentos*. Instituto de ciencia animal, La Habana, Cuba y Universidad de Colima, Colima, México. Pp120.

- Maya, G. E., Durán, C.V. y Ararat, J. E. 2005. Valor nutritivo del Pasto Estrella solo y en asociación con *Leucaena* a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agronómica*. 54 (4).
- Mazorra, C., Fontes, D., Cubilla N. y De Vega, A. 2009. Estrategias para modificar el consumo voluntario y la selección de alimentos de los pequeños rumiantes en pastoreo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 43 (4): 379-385.
- Mazzani, E. 2007. El tártago: la planta, su importancia y sus usos. *Revista digital CENIAP HOY*. 14: 1-9. Disponible en : <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/ceniaphoy/index.htm> (Consultado Noviembre 2015).
- Mazzani, E. y Rodríguez, E. 2009. Estudio de la variabilidad presente en germoplasma de Tártago (*Ricinus communis* L.) en cuanto a racimos, frutos y semillas. *Revista UDO Agrícola*. 9(4):764-769.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D. and Morgan, C. A. 1995. *Nutrición animal*. Editorial Acribia S.A. 587 pp.
- McSweeney, C. S., Palmer, B., Bunch, R. and Krause, D. O. 1999. Isolation and characterization of proteolytic ruminal bacteria from sheep and goats fed the tannin-containing shrub legume *Calliandra calothyrsus*. *Applied Environmental Microbiology*. 65:3075-3083.
- McSweeney, C. S., Palmer, B., McNeill, D. M., Bunch, R. and Krause, D. O. 2001. Microbial Interactions with Tannin: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 91(1): 83-93.
- Mejía, J. 2002. Consumo Voluntario de Forraje por Rumiantes en Pastoreo. *Acta Universitaria*. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato. Irapuato, Guanajuato, México. 12(3): 56-63.
- Mehrez, A. and Orsdov, E. 1977. A study of the artificial fiber bag technique for determination the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science Cambridge*. 88: 645-650.
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritx, D. and Schneider, W. 1980. The estimation of the digestibility and metabolizable energy conten of ruminant

- feedingstuffs from the gas production when are incubated with rumen liquor *in vitro*. Journal of Agricultural Science Cambridge. 93:217-222.
- Minson, D. J. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press Inc. 483 pp.
- Molina, C. H., Molina, E. J. y Molina, J. P. 1994. Evaluaciones sobre bloques multinutricionales realizadas en la granja El Hatico, Valle del Cauca, Colombia. En: Proceedings of Multinutritional Blocks I International Conference, Guanare, Venezuela.
- Molyneux, R. J. and Ralphs, M. H. 1992. Plant toxins and palatability to herbivores. Journal Range Manage. 45: 13-18.
- Monroy, O., Torres, F and Viniegra, G. 1980. Perspectives on the integration of livestock production and the small scale sugar industry. Tropical animal production. 5(2): 96-106.
- Montpellier, F. A. y Preston, T. R. 1977. Digestibilidad de punta, corteza, tallo descortezado y caña de azúcar integral. Producción Animal Tropical. 2(13).
- Murillo, O. M., Reyes, E. O., Herrera, T. E., Cerrillo, S. M. A., Juárez, R. A. S. y Guerrero, C. M. 2009b. Parámetro de producción de gas *in vitro* del forraje consumido por bovinos en pastoreo. XLV Reunión nacional de investigación pecuaria. Saltillo, Coahuila. Pp.110.
- Murillo, B., López, R., García, J., Nieto, A., Troyo, E., Ávila, N., Espinoza, J. L., Ortega, R., Palacios, A. y Plascencia, A. 2009a. Cultivos forrajeros alternativos para zonas áridas y semiáridas. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo de México. Año 1. No. 21.
- Nagy, S., Telek, L., Hall N. T. and Berry, R. E. 1978. Potential food uses for protein from tropical and subtropical plant leaves. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 26 (5): 1016-1027.
- Nelson, C. J. and Mosler, L. E. 1994. Plant factor affecting forage quality. En Fahey Jr., G. C. National conference on forage quality, evaluation and utilization. Madison, Wisconsin, USA. Pp.115-154.

- Nitis, I. M., Lana, K., Sukanten, W., Suarna, M. and Putra, S. 1990. The concept and development of the three-strata forage system. In: Shrubs and tree fodders for farm animals. Ed: Devendra, C. Proceeding of a workshop in Denpasar, Indonesia. IDRC. Pp. 92-102
- Nocek, J. E. 1988. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: Journal of Dairy Science. 71: 2051-2069.
- Nocek, J. E. and Russell, J.B. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. Journal of Dairy Science. 71 (8):2070-2107.
- Noguera. R., Ramírez I. y Bolivar. D. 2006. Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación *in vitro* del pasto Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*). Livestock Research for rural development. 18 (5).
- Norton B. W. 1994. The nutritive value of tree legumes. In Gutteridge C. y Shelton, H. Forage Tree Legumes in Tropical Agricultural. CAB Int., Londres, Inglaterra. Pp. 177-192.
- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals. Washington, DC National Academy Press.
- NRC. 1996. National Requirement of Beef Cattle. Environmental Factors Affecting Feed Intake. Feed Intake. Seventh Revised Edition. Washington, D.C. National Academy Press.
- Ojeda, F. y Cáceres, O. 1998. Valor nutritivo, factores antinutricionales y tóxicos en leñosas forrajeras para la alimentación animal. En: Sistemas silvopastoriles en la ganadería tropical. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Matanzas, Cuba. p. 1-14.
- Oldham, J. D., and Emmans, G.C. 1990. Animal performance as the criterion for feed evaluation. In: Feedstuffevaluation. Edited by Wiseman, J. and Cole, DJ. A. Butterworths, London, pp. 73-90.

- Orskov, E. R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science. Cambridge.* 92: 499-503.
- Orskov, E. R. 1986. Protein nutrition in ruminants. Editorial Academic Press. International Feed Resources Unit. The Rowett Research Institute Aberdeen. 175 pp.
- Ortiz, M. A. 2000. Efecto de un alimento complejo catalítico en asociación de forrajes y fuentes alternas de proteína en bovinos de engorda. Tesis de Maestría, Universidad de Colima. Colima, México.
- Owen, S. N. 2008. The Comparative Population Dynamics of Browsing and Grazing Ungulates. In: Gordon, I.J. and Prins, H.H. *The Ecology of Browsing and Grazing.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Pp.149-177.
- Palma, J. M. 2005. Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 9 (1): 1-11.
- Palma, J. M. 2006. Los Sistemas Silvopastoriles en el trópico seco Mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal.* 14 (3): 95-104.
- Palma, J. M. 2014. Subproductos de la caña de azúcar. Capítulo II. Subproductos de regiones tropicales y subtropicales. En: Fernández A. *Transformación de subproductos y residuos de agroindustria de cultivos templados, subtropicales y tropicales en carne y leche bovina.* INTA – EEA Bordenave. 20: 113-125.
- Palma, J. M., Lara, C., Rivera, I., Del Viento, A. y Haubi, C. 2015. Digestibilidad *in situ* de diferentes partes morfológicas de *Ricinus communis* como forrajes para rumiantes. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal Sochipa. A.G. Puerto Vara, Chile.
- Pascual B. 2010. La fotosíntesis C4 de alto rendimiento. Disponible en <http://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/44231-La-fotosintesis-C4-de-alto-rendimiento.html> (Consultado Noviembre 2015).

- Pérez, E., Ruiz, M. y Pezo, D. (1990b). Suplementación de bovinos con banano verde. IV. Efecto sobre algunos parámetros de fermentación ruminal. *Agronomía Costarricense*. 14(1): 67-72.
- Pérez, Harrison, D. and Elliot, R. 1981. Rumen fermentation and kinetics on diets of sugar cane juice and molasses. *Tropical Animal Production*. 6(4): 359.
- Phiri, D. M., Coulman, B., Stepler, H. A., Kamara, C. S. y Kwesiga, F. 1992. The effect of browse supplementation on maize husk utilization by goats. *Agroforestry systems*. 17: 153-158.
- Piola, J. C. 2008. Ricino/ricina. Disponible en web: <http://www.sertox.com.ar/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=521> (Consultado Noviembre 2015).
- Poppi, D.P., France, J., McLennan, S.R. 2000. Intake, Passage and Digestibility. In: France, J., Theodorou, M.K., Lowman, R.S., Beever, D.E. *Feed Evaluation for Animal Production*. Wallingford, U.K., CAB International Publishing. Pp. 35-52.
- Provenza, F. D., Pfister, J.A. and Cheney, C. D. 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *Journal of Range Management*. 45:36.
- Provenza, F. D. and Balph, D. F. 1995. Applicability of five diet selection models to various foraging challenges ruminants encounter. Hughes, R.N, Behavioral mechanism of food selection. United Kingdom. *Nato Asi Subseries G*. 20: 423-460.
- Provenza, F. D., Villalba, J. J., Dziba, L. E., Atwood, S. B. and Banner, R. E. 2003. Linking herbivore experience, varied diets and plant biochemical diversity. *Small ruminant research*. 49: 257-274.
- Provenza, F. D. 2007. More than a matter of taste. In: Stephens, D.W., Brown, J.S., and Denberg, R.C. *Foraging: Behavior and Ecology*. Chicago, IL. University Chicago Press. Pp. 167-170.
- Ramírez, H., Salcedo, A. C. C., Briones, F., Lucero, F. A., Cardenas, A., Marcof, C. y Martínez J. C. 2014. Rendimiento, caracterización morfológica y bromatológica

- de la punta de caña de azúcar en la Husteca Potosina, México. *Revista Cuba de Ciencia Agrícola*. 48(4):411-415.
- Ramírez, J. L., Lopez, Y., Nieves, K. y Fonseca, P. L. 2002. Caracterización química de cinco variedades de caña de azúcar y la selección de las más prometedoras para ser utilizadas en la alimentación de rumiantes. *Medicina Veterinaria*. 19(9):125-129.
- Ramírez, R. G. 2009. *Nutrición de rumiantes*. Editorial Trillas. México. 314p.
- Ramos, G., Frutos, R., Giráldez. F. J. y Mantecón A. R. 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Revista Archivos de Zootecnia* 47: 597-620.
- Relling, A. E. y Mattioli G. A. 2003. *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. Editorial Edulp. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 72pp.
- Rendón, N. E. y Triviño, J. P. 2009. Producción y explotación de la Higuierilla (*Ricinus communis* L.) a Colombia como materia prima para la elaboración de biocombustibles. Tesis de Ingeniería en Gestión Empresarial Internacional. Facultad de Economía y Negocios. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Reyes, M. J. 2003. La Biomasa Cañera como Alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. *Centro Azúcar, Cuba*. 30 (2): 14-20.
- Rogers, P. J. and Blundell, J. E. 1991. Mechanism of diet selection: the translation of needs into behaviour. *Proceedings of the Nutrition Society*. 50: 65-70.
- Rosales, M. 1996. *In vitro* assessment of the nutritive value of mixtures of leaves from tropical fodder trees. Tesis de Doctorado Phil. D. Department of Plant Sciences, Oxford University, Oxford UK.
- Rosales M. 1999. Mezclas de forrajes: Uso de la diversidad forrajera trópic. En *Sistemas Agroforestales*. Sánchez M. D. y Rosales M. Agroforestería para la producción animal en América Latina. Italia. FAO. Pp 201-230.

- Rosendo, O. 2011. Digestibilidad y Consumo Voluntario. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Ciencias Veterinarias. Departamento de Nutrición y Forrajicultura. Tema 4 y 5.
- Ruiz, J. J. 2004. Engorda intensiva de ovinos con raciones integrales basadas en Saccharina. Tesis doctoral. Universidad de Colima. Colima, México.
- Ruiz, R. y Ayala, R. 1987. Digestión y absorción de compuestos nitrogenados. En: R. Ruiz *et al.* Bioquímica nutricional: Fisiología digestiva y metabolismo intermediario en animales de granja. Ed. Edica. Instituto de Ciencia Animal. La Habana Cuba. Pp. 189.
- Salinas, F. y Crespín, E. 2010. Evaluación productiva y nutricional de los cultivos de frijol canavalia (*Canavalia ensiformis*), frijol vigna (*Vigna sinensis*) y sorgo (*sorghum bicolor*) variedades CENTA S-2 y RCV y su asocio para la alimentación de ganado. Tesis de Licenciatura. Facultad de ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Santos, S. F., Bomfim, M. A. D., Cândido, M. J. D., Silva, M. M. C., Pereira, L. P. S., Souza Neto, M. A., Garruti, D. S. y Severino, L. S. 2011. Efeito da casca de mamona sobre a produção, composição e ácidos graxos do leite de cabra. Revista Archivos de Zootecnia. 60 (229): 113-122.
- Sánchez, E. and Boza, J. 1974. Use of sugarcane tops silage in feeding beefcattle. Proc. IV Int. Congress Feed Science and Technology, Philipines. 4: 31.
- Sánchez, T., Milares, M., Simón, L., Lamela, L., y López, O. 2007. Las

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. (Consultado Noviembre 2015).

- Silva, M. D., Riet-Correa, F., Medeiros, R. y Oliveira, O. 2006. Plantas tóxicas para ruminantes e equídeos no serido occidental e oriental do Rio Grande do Norte. *Revista Pesquisa Veterinária Brasileira*. 26(4): 223-236.
- Simón, L., Hernández, I. y Ojeda, F. 1998. Protagonismo de los árboles en los sistemas silvopastoriles. Los árboles en la ganadería. Tomo 1. Silvopastoreo. EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. Pp. 23.
- Sliwinski, B. J., Soliva, C. R., Machmüller, A. and Kreuzer, M. 2002. Efficacy of plant extracts rich in secondary constituents to modify rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*. 101:101-114.
- Sobayo, R., Oso, A., Adeyemi, O., Fafiolu, A., Jegede, A., Idowu, O., Dairo, O., Iyerimah, R., Ayoola, O. and Awosanya, R. 2012. Changes in growth, digestibility and gut anatomy by Broilers fed diets containing ethanol-treated castor oil seed (*Ricinus communis* L.) meal. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): 660-667.
- Stachetti, G., Aparecida, I., Buschinelli, C., Ligo, M., Moreno, A., Frighetto, R. and Irias, L. 2007. Socio-environmental impact of biodiesel production in Brazil. *Journal of Technology Management and Innovation*. 2 (2): 46-66.
- Statgraphic Centurion XV 2007. StatPoint Inc. USA.
- Tarazona, A. M., Ceballos, M. C., Naranjo, J. F. y Cuartas, C. A. 2012. Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 25 (3): 473-487.
- Tilley, J. M. and R. A. Terry. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*. 18:104-111.
- Teunissen, H. y Villareal, O. 1966. Algunos aspectos de la punta de caña de azúcar como forraje para el ganado. *Revista Técnica Pecuaria México*. 8(53).

- Thornton, R. F. and Minson, D. J. 1973. The relationship between apparent retention time in the rumen, voluntary intake and apparent digestibility of legume and grass diets in sheep. *Journal of Agricultural Research*. 24: 889-898.
- Torres, M. J. A. 2006. Uso de la caña de azúcar como parte de la ración para engorde de ganado. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica. San José, Costa Rica. 2: 865.
- Tokarnia, C. H., Dobereiner, J. y Canella, C. 1975. Intoxicación experimental en bovinos por hojas de *Ricinus communis*. *Revista Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 10 (8): 1-7.
- Van Damme, E. J., Hao, Q., Chen, Y., Barre, A., Vandebussche, F. and Desmyter, S. 2001. Ribosome-inactivating proteins: a family of plant proteins that do more than inactivate ribosomes. *Revista Crit Plant Science* 20: 395-465.
- Van Soest, P. J. 1961. New chemical procedures for evaluating forages, In Symposium on nutrition and forage and pastures. Ed. Amsterdam: 125-143.
- Van Soest, P., Wine, R. H. and Moore, L. A. 1966. Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. Proc. 10 th. Grasslands Congress. Helsinki. Finnish Grassland Association. 438-441.
- Villalba, J. J., Provenza, F. D. and Guo-dong H. 2004. Experience influences diet mixing by herbivores: implications for plant biochemical diversity. *Oikos*. 107: 100-109.
- Villalba, J. J., Provenza, F. D., Catanese, F. and Distel, R. A. 2015. Understanding and manipulating diet choice in grazing animals. *Animal production science*. 55: 261-271.
- Van-Lier, E. y Regueiro, M. 2008. Digestion en retículo-rumen. Disponible en web: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/AFA/TEORICOS/Repartido-Digestion-en-Reticulo-Rumen.pdf>. (Consultado Noviembre 2014).
- Van Soest, P. J. 1963. Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal Association Official Agricultural Chemists*. 46: 829-835.

- Villalobos, C., González, E. y Ortega, J. 2000. Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. *Revista Técnica Pecuaria en México*. 38 (2): 119-134.
- Worbs, S., Köhler, K., Pauly, D., Avondet, M. A., Schaer, M., Dorner, M. and Dorner, B.G. 2011. *Ricinus communis* Intoxications in Human and Veterinary Medicine A Summary of Real Cases. *Toxins*. 3: 1332-1372.
- Yousef, M. K. 1985. Heat production mechanism and regulation In: Yousef, K.J. (Ed) *Stress physiology in Livestock Vol 2. Basic Principles*. CRC. Press. p 175-194.
- Zeinsteger, P. A. y Gurni, A. A. 2004. Plantas tóxicas que afectan el aparato digestivo de caninos y felinos. *Revista Veterinaria*. 15 (1): 35-44.