



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN

Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**APROVECHAMIENTO DE NOPAL Y TUNA EN LA ALIMENTACIÓN DE
OVINOS**

TESIS

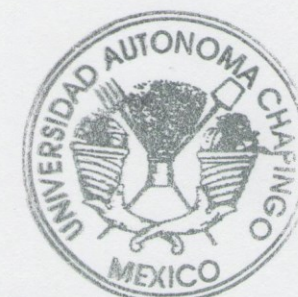
Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

PAULINA VAZQUEZ MENDOZA

Bajo la supervisión de: LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO, Dr.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



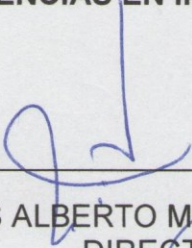
Chapingo, Estado de México

JUNIO 2016

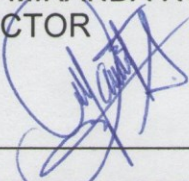
**APROVECHAMIENTO DE NOPAL Y TUNA EN LA ALIMENTACIÓN DE
OVINOS**

Tesis realizada por **PAULINA VAZQUEZ MENDOZA** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

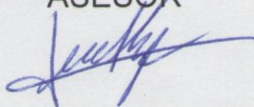
DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA



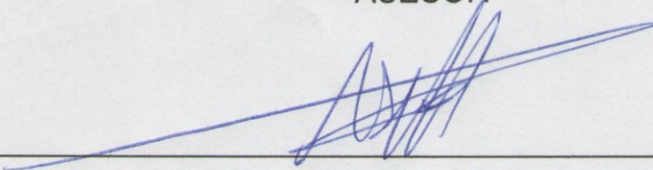
DR. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO
DIRECTOR



DR. GILBERTO ARANDA OSORIO
ASESOR



DR. JUAN ANDRÉS BURGUEÑO FERREIRA
ASESOR



DR. ABDELFAHATTAH ZEIDAN MOHAMED SALEM
LECTOR EXTERNO

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante el proyecto de tesis doctoral

A la Universidad Autónoma Chapingo a través del Departamento de Investigación y Servicio en Zootecnia y el Posgrado en Producción Animal por la formación.

Al comité tutorial por los grandes aportes y tiempo dedicado para la realización de esta investigación.

A la Agointegradora Poblana de Tuna y Nopal S. A de C.V. por aportar parte del material evaluado en la presente investigación.

A los profesores y alumnos del Posgrado en Producción Animal y personal de laboratorio que contribuyeron en el desarrollo del presente trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Paulina Vazquez Mendoza

Fecha de nacimiento: 20 de octubre de 1986

Lugar de nacimiento: Almoloya de Juárez, México

CURP: VAMP861020MMCZNL03



Desarrollo académico

Licenciatura: Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad Autónoma del Estado de México (Cédula profesional: 6054140). Agosto 2003 a julio 2008.

Maestría: Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México (Cédula profesional: 7561888). Agosto 2008 a julio 2010.

Doctorado: Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo. Enero 2012 a diciembre 2015.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
1.3. Estructura de la tesis y objetivos particulares	3
1.3.1. Aporte nutricional y utilización de nopal en la alimentación de ovinos y caprinos.....	3
1.3.2. Evaluation of eleven Mexican cultivars of prickly pear cactus trees for possibly utilization as animal fed: <i>in vitro</i> gas production	3
1.3.3. Composición química, fermentación ruminal y digestibilidad <i>in vitro</i> de tres cultivares de tuna	4
1.3.4. Contenido de nutrientes, fermentación <i>in vitro</i> y consumo de ensilados de nopal y nopal-tuna por ovinos	4
1.3.5. Morfología de nopal forrajero cv Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck) en sistemas de cultivo en el agreste de Pernambuco, Brasil	4
1.4. Literatura citada	4
2. APOORTE NUTRICIONAL Y UTILIZACIÓN DE NOPAL EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS Y CAPRINOS	7
2.1. Resumen	8
2.2. Introducción	8
2.3. Aporte nutricional del nopal	10
2.4. Formas de utilización del nopal en la alimentación animal	14
2.5. Respuesta productiva de ovinos y caprinos alimentados con nopal	15
2.6. Conclusiones	17
2.7. Literatura citada	17

3. EVALUACIÓN DE ONCE CULTIVARES DE NOPAL MEXICANO PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN COMO ALIMENTO ANIMAL: PRODUCCIÓN DE GAS <i>IN VITRO</i>	23
3.1. Resumen	24
3.2. Introducción	24
3.3. Material y métodos	26
3.3.1. Material vegetal	26
3.3.2. Análisis químico	26
3.3.3. Fermentación y digestibilidad <i>in vitro</i>	27
3.3.4. Análisis estadístico	28
3.4. Resultados.....	28
3.5. Discusión	32
3.5.1. Composición química	32
3.5.2. Producción de gas y digestibilidad <i>in vitro</i>	34
3.6. Conclusión	35
3.7. Agradecimientos	36
3.8. Literatura citada	36
4. COMPOSICIÓN QUÍMICA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD <i>IN VITRO</i> DE TRES CULTIVARES DE TUNA.....	41
4.1. Resumen	42
4.2. Introducción	42
4.3. Material y Métodos	44
4.3.1. Material vegetal	44
4.3.2. Análisis químico	44
4.3.3. Fermentación y digestibilidad <i>in vitro</i>	45
4.3.4. Análisis estadístico	46
4.4. Resultados y Discusión.....	46

4.4.1. Análisis químico	46
4.4.2. Composición mineral	48
4.4.3. Fermentación y digestibilidad <i>in vitro</i>	50
4.5. Conclusión	53
4.6. Agradecimientos	54
4.7. Literatura citada	54
5. CONTENIDO DE NUTRIENTES, FERMENTACIÓN <i>IN VITRO</i> Y CONSUMO DE ENSILADOS DE NOPAL Y NOPAL-TUNA POR OVINOS	58
5.1. Resumen	59
5.2. Introducción	60
5.3. Material y Métodos	61
5.3.1. Localización.....	61
5.3.2. Tratamientos	61
5.3.3. Manejo alimenticio de ovinos	63
5.3.4. Fermentación y degradación <i>in vitro</i> de la materia seca	64
5.3.5. Análisis estadístico	66
5.4. Resultados y Discusión.....	66
5.5. Conclusiones	75
5.6. Literatura citada	76
6. MORFOLOGÍA DE NOPAL FORRAJERO cv MIÚDA (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck) EN SISTEMAS DE CULTIVO EN EL AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL	81
6.1. Resumen	82
6.2. Introducción	83
6.3. Material y Métodos	84
6.3.1. Sitio experimental	84
6.3.2. Descripción de los tratamientos	85

6.3.3. Variables evaluadas	86
6.4. Resultados y Discusión.....	87
6.5. Conclusiones	92
6.6. Literatura citada	93

LISTA DE CUADROS

2. APOORTE NUTRICIONAL Y UTILIZACIÓN DE NOPAL EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS Y CAPRINOS

Cuadro 1. Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibras detergente neutro y ácido (FDN y FDA), digestibilidad de la materia seca (DMS), ceniza (CE) y energía (E) en cladodios de nopal.....11

Cuadro 2. Contenido de Ca, P, K, Na y Mg en cladodios de nopal.....13

Cuadro 3. Consumo y ganancia de peso de ovinos y caprinos al incluir nopal en su dieta.....16

3. EVALUACIÓN DE ONCE CULTIVARES DE NOPAL MEXICANO PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN COMO ALIMENTO ANIMAL: PRODUCCIÓN DE GAS *IN VITRO*

Cuadro 1. Composición química (g kg^{-1} MS) de cultivares de cladodios de nopal podado.....29

Cuadro 2. Concentración mineral (g kg^{-1} MS) de cultivares de cladodios de nopal podado30

Cuadro 3. Variables de producción de gas, cinética de fermentación (V_m , V_{f0-8} , V_{f8-24} , V_{f24-50} , S y L), digestibilidad *in vitro* y tasa potencial de emisión de gases de fermentación en cultivares de cladodios de nopal podado.....31

4. COMPOSICIÓN QUÍMICA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE TRES CULTIVARES DE TUNA

Cuadro 1. Contenido nutrimental en pulpa, cáscara y tuna completa de tres cultivares de *Opuntia ficus-indica* (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.....47

Cuadro 2. Contenido mineral en pulpa, cáscara y tuna completa de tres cultivares de *Opuntia ficus-indica* (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.....49

Cuadro 3. Fracción de fermentación rápida (FR), media (FM), lenta (FL), total (FT) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) de los componentes de tuna de tres cultivares (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.....51

5. CONTENIDO DE NUTRIENTES, FERMENTACIÓN *IN VITRO* Y CONSUMO DE ENSILADOS DE NOPAL Y NOPAL-TUNA POR OVINOS

Cuadro 1. Composición de dietas formuladas sin (SE) o con la inclusión de ensilado de maíz (EMZ), ensilado de nopal (EN) o ensilado de nopal-tuna (ENT).....62

Cuadro 2. pH, materia seca (MS), proteína (PC), fibra (FDN), carbohidratos solubles (CS), ácido láctico (AL) y nitrógeno amoniacal (NH₃) de ensilados a cero y 120 días de ensilaje.....67

Cuadro 3. Fracciones de fermentación rápida (FR), media (FM), lenta (FL), total (FT), volumen máximo (Vm), tasa de producción de gas (S) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) de ensilados de 120 días68

Cuadro 4. Materia seca (MS), ceniza (Ce), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra y acida (FDN, FDA) de dietas con la inclusión de ensilados69

Cuadro 5. Fracciones de fermentación rápida, media, lenta y total de alimento ofrecido (O), alimento rechazado (R) y heces (H) de ovinos alimentados con dietas incluyendo ensilados.....70

Cuadro 6. Digestibilidad aparente, degradación *in vitro* (D/VMS) y desaparición de la fracción total fermentable (DFT) de dietas sin ensilado (SE) o con ensilado de maíz (EMZ), ensilado de nopal (EN) o ensilado de nopal-tuna (ENT).....72

Cuadro 7. Volumen máximo (Vm) de gases *in vitro*, alimento ofrecido, alimento rechazado, heces excretadas e índice de emisión de gases de fermentación (IEGF), por ovinos alimentados con la dieta respectiva75

6. MORFOLOGÍA DE NOPAL FORRAJERO cv MIÚDA (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) EN SISTEMAS DE CULTIVO EN EL AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL

Cuadro 1. Características químicas del suelo del área experimental en Caruaru, Agreste de Pernambuco, Brasil; antes de la fertilización.....85

LISTA DE FIGURAS

4. COMPOSICIÓN QUÍMICA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE TRES CULTIVARES DE TUNA

Figura 1. Producción de gas de fermentación *in vitro* de cáscara de tres cultivares de tuna (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.....50

Figura 2. Volumen de gas de fermentación de pulpa, cáscara y tuna completa, a fracciones de tiempo de incubación (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.....52

5. CONTENIDO DE NUTRIENTES, FERMENTACIÓN *IN VITRO* Y CONSUMO DE ENSILADOS DE NOPAL Y NOPAL-TUNA POR OVINOS

Figura 1. Cinética de producción de gas de fermentaciones *in vitro* de alimento ofrecido (O), alimento rechazado (R) y heces (H) excretadas por ovinos alimentados con dieta sin ensilado (SE) o con ensilado de maíz (EMZ), ensilado de nopal (EN) o ensilado de nopal-tuna (ENT)73

6. MORFOLOGÍA DE NOPAL FORRAJERO cv MIÚDA (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) EN SISTEMAS DE CULTIVO EN EL AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL

Figura 1. Precipitación (mm) mensual en Caruaru, Agreste de Pernambuco, de junio 2011 a junio 2013.....84

Figura 2. Arreglo de tratamientos de nopal forrajero cv Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck), con parcelas subsubdivididas en bloques al azar; N: Nitrógeno en forma de urea, aplicada en kg ha ⁻¹	86
Figura 3. Longitud y anchura del cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck) fertilizado con estiércol bovino (Agreste de Pernambuco, Brasil).....	88
Figura 4. Perímetro de cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck) por efecto de la fertilización orgánica, mineral y frecuencia de recolección (Agreste de Pernambuco, Brasil).....	89
Figura 5. Índice de área de cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck), por efecto de la fertilización orgánica (Agreste de Pernambuco, Brasil).....	91
Figura 6. Índice de área de cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck), por efecto de la frecuencia de recolección (Agreste de Pernambuco, Brasil).....	92

APROVECHAMIENTO DE NOPAL Y TUNA EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS

RESUMEN

Una práctica agrícola común en los sistemas de producción intensiva de nopal y tuna, es la poda de cladodios. Éstos junto con la tuna que no se comercializa, podrían ser utilizados como alimento alternativo para rumiantes. Sin embargo, para utilizarlos de forma apropiada es necesario conocer su aporte nutrimental, la asimilación ruminal y el desempeño productivo de rumiantes que los consuman. El Capítulo 1 de este documento presenta una revisión de literatura de la composición nutrimental del nopal, su inclusión en dietas y efecto en el comportamiento productivo de ovinos y caprinos. La revisión mostro variabilidad en la composición nutrimental del nopal con respecto a la edad, cultivar y manejo del cultivo, observándose resultados favorables respecto al desempeño productivo de ovinos y caprinos. En los Capítulos 2 y 3 se muestran resultados de composición química, fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro* de cladodios maduros de once cultivares de nopal y de tres cultivares de tuna. La composición química de cladodios y tunas varió entre cultivares. La digestibilidad de cladodios y tunas fue superior a 80 %, por lo que ambos pueden utilizarse como ingrediente alimenticio en la dieta de ovinos. En el Capítulo 4 se presenta un estudio del efecto de la inclusión de ensilados de nopal y nopal-tuna, en el aporte de nutrientes, fermentación y digestibilidad *in vitro*, así como en el consumo y digestibilidad aparente en ovinos. El aporte de nutrientes fue similar para las dietas formuladas con ensilados de nopal y nopal-tuna vs una dieta convencional. No hubo diferencia ($P>0.05$) en el consumo y digestibilidad aparente por ovinos. Se concluyó que es factible la inclusión de ensilados de nopal y nopal-tuna en dietas para ovinos. Sin embargo, debido a la variabilidad en el contenido de nutrimentos, fermentación y digestibilidad *in vitro* entre cultivares, es necesario caracterizarlos antes de incluirlos en la dieta para ovinos. El capítulo 5 muestra resultados sobre la morfología de nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) en diferentes sistemas de cultivo en el agreste de Pernambuco, Brasil. Las características morfológicas de los cladodios de nopal forrajero cv Miúda son afectadas escasamente por la fertilización con urea. Sin embargo, la fertilización con estiércol bovino incrementa la anchura, longitud y el índice del área de cladodio.

Palabras clave: *Opuntia ficus indica*, composición química, fermentación ruminal, consumo, digestibilidad.

ABSTRACT

A common agricultural practice in intensive production systems of prickly pear and its fruit, is the pruning of cladodes. These and unsold prickly pear fruits could be used as an alternative feedstuff for ruminants. However, in order to use them properly, it is necessary to know their nutritional contribution, ruminal assimilation, and productive performance of ruminants that consume prickly pear cladodes and fruit in their diets. Chapter 1 of this thesis provides a literature review about nutritional composition of the prickly pear, its inclusion in ruminant rations and the productive performance of sheep and goats consuming prickly pears. The reviewed information showed variability in the nutritional composition of prickly pears depending on age, cultivar and crop management, and favorable results on productive performance when given to sheep and goats. Chapters 2 and 3 show results of chemical composition, ruminal fermentation and *in vitro* digestibility of mature cladodes of eleven cultivars of prickly pear, and three cultivars of prickly pear fruit. The chemical composition of cladodes and fruits varied among cultivars. The digestibility of cladodes and fruits was higher than 80 %, suggesting that both products could be used as feed ingredient in sheep rations. Chapter 4 reports a study about the effect of including silage of cladodes and cladodes-fruits on nutrient contribution, fermentation and *in vitro* digestibility, as well as consumption and apparent digestibility in sheep. Nutrient contribution was similar between diets formulated with silage of cladode and cladode-fruits vs a conventional diet. No differences were found ($P>0.05$) in intake and apparent digestibility in sheep. It was concluded that the inclusion of silage of prickly pear cladode and cladodes-fruits in sheep rations is feasible. However, given the variability in nutrient content, fermentation and *in vitro* digestibility between cultivars, it is necessary to characterize it before including it in sheep rations. Chapter 5 shows results of the morphology of prickly pear cactus cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) forage for different cropping systems in the agreste area of Pernambuco, Brazil. The morphological characteristics of Miúda forage are only slightly affected by fertilization with urea; however, cattle manure fertilization increases cladode width, length and area index.

Keywords: *Opuntia ficus indica*, chemical composition, ruminal fermentation, intake, digestibility.

1. INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia* spp.) es una cactácea endémica de América con 258 especies identificadas, cien de las cuales se encuentran en México (Rodríguez *et al.*, 2009). El nopal es considerado una planta xerófila debido al proceso fotosintético que presenta, denominado metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). Las plantas que presentan este metabolismo abren sus estomas para captar CO₂ atmosférico durante la noche, cuando la temperatura es menor y la humedad relativa del aire es superior a la del día, para reducir la pérdida de agua por el ambiente; esto le permite una eficiencia de uso de agua hasta once veces mayor que cultivos con metabolismo C3 (Fisher y Tuner, 1978). El metabolismo en las cactáceas está generalmente asociado a adaptaciones anatómicas, morfológicas y fisiológicas tales como cutículas espesas y cerosas, estomas de tamaño reducido y con menor frecuencia de apertura, y cladodios suculentos (Nobel, 1995). Debido a estas adaptaciones, el nopal sobrevive en regiones con escasez de agua, alta temperatura y suelos pobres (Fuentes-Rodríguez, 1997; Luttge, 2004; De Waal *et al.*, 2006).

El nopal se cultiva en regiones de Sudáfrica, Israel, Italia, Estados Unidos, México, Brasil y Chile (Flores-Valdez *et al.*, 1995). En Italia se usa para producir el fruto del nopal, la tuna destinada al consumo humano; en Brasil se cultiva *Opuntia* sp. y *Nopalea* sp. exclusivamente para forraje y, en México se cultiva esta cactácea para producir principalmente cladodios tiernos (nopalitos) y tuna, como verdura y fruta fresca respectivamente; aunque existen plantaciones de nopal y comunidades silvestres con fines forrajeros (Felker *et al.*, 2006). La superficie en México sembrada con nopal es de 835,585 km², a partir de la cual se producen anualmente 12,038 t de nopal, 55,254 t de tuna y 16,266 t de nopal forrajero (SIAP, 2015).

En los sistemas de producción intensiva de tuna y nopalito, una de las labores culturales que se realiza es la poda de cladodios maduros, con el fin de estimular la producción de renuevos, facilitar el manejo durante la cosecha, o bien con fines sanitarios (Granados y Castañeda, 1996); como resultado de ésta práctica se

generan residuos que por lo general se dejan descomponer en la misma plantación, lo que crea contaminación y el desarrollo de plagas y enfermedades, si no se les da un tratamiento adecuado (CONAZA, 1994).

En años recientes se ha evaluado la utilización de estos residuos en la alimentación de ovinos (Muciño, 2014), debido a la importancia de esta especie animal en la zona central del país (Querétaro, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Morelos y México), pues se estima que su producción en ésta zona es de 45,910 t anuales de carne en canal, que representan el 79 % de la producción nacional (SIAP, 2015). Aguilar-Yañez *et al.* (2011) y Muciño (2014) evaluaron la inclusión de nopal seco y molido en la dieta de ovinos en finalización y encontraron un comportamiento productivo similar al obtenido con una dieta formulada con ingredientes convencionales, cuando la inclusión de harina fue hasta 25 %, indicando que la utilización de harina de nopal en dietas para ovinos es viable, por su parte, Mejía *et al.* (2011), indicaron que la inclusión de nopal fermentado en bloques multinutricionales no afectó el comportamiento de ovinos en crecimiento.

Çürek y Özen (2004), evaluaron la calidad de ensilado de cladodios jóvenes y viejos para ser utilizados en la alimentación animal, encontrando que la cantidad de materia seca y proteína cruda (20 y 2.1 %) fue menor al de ensilado de maíz (26 y 6 %), pero no realizaron pruebas de consumo y respuesta productiva. Los cladodios deben considerarse sólo como un ingrediente alimenticio al igual que otros alimentos debido a que debe mezclarse con fuentes de fibra, proteína y energía, para obtener una dieta balanceada para pruebas de comportamiento productivo.

El contenido de materia seca en los cladodios puede variar entre 12 y 18 %, la proteína cruda entre 4.4 y 8.3 %, las cenizas entre 8.1 y 27.5 %, el calcio entre 1.8 y 4.5 % y el fósforo entre 0.1 y 0.3 % (Gebremariam *et al.*, 2006; Batista *et al.*, 2009), por lo que los autores lo consideran como un forraje de valor nutritivo bajo, principalmente por su contenido de proteína; sin embargo, presentan valores de digestibilidad superiores al 80 % (Batista *et al.*, 2003).

1.1. Objetivos

Determinar la composición química, fermentación y digestibilidad *in vitro* de once cultivares de nopal y tres cultivares tuna de desecho.

Evaluar la composición química, fermentación, digestibilidad *in vitro* de ensilados de nopal y nopal-tuna, así como determinar el consumo y digestibilidad aparente de los ensilados por ovinos.

1.2. Hipótesis

La composición química, fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro* de cladodios de nopal y tuna varían con base en el cultivar.

La composición química, fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro* de ensilados de nopal y nopal-tuna son similares al ensilado de maíz, por lo que el comportamiento de ovinos alimentados con ensilados de nopal y nopal tuna es similar al observado con dietas convencionales.

1.3. Estructura de la tesis y objetivos particulares

1.3.1. Aporte nutricional y utilización de nopal en la alimentación de ovinos y caprinos

El objetivo fue realizar una revisión sobre estudios relacionados con la composición y aporte de nutrientes de nopal, así como su uso en la alimentación y productividad de ovinos y caprinos.

1.3.2. Evaluation of eleven Mexican cultivars of prickly pear cactus trees for possibly utilization as animal fed: *in vitro* gas production

El objetivo de este estudio fue estimar el contenido de nutrientes, cinética de fermentación y digestibilidad *in vitro* de cladodios de poda de once cultivares de nopal de la comunidad de San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla, México.

1.3.3. Composición química, fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro* de tres cultivares de tuna

El objetivo de la investigación fue determinar el contenido nutrimental, parámetros de fermentación y digestibilidad *in vitro* de la pulpa, cáscara y tuna completa de tres cultivares de tuna de la comunidad de San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla.

1.3.4. Contenido de nutrientes, fermentación *in vitro* y consumo de ensilados de nopal y nopal-tuna por ovinos

El objetivo de la investigación fue determinar el aporte de nutrientes, fermentación y digestibilidad *in vitro*, consumo y digestibilidad aparente de ensilados de nopal y nopal-tuna, por ovinos.

1.3.5. Morfología de nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) en sistemas de cultivo en el agreste de Pernambuco, Brasil

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral, así como la frecuencia de recolección de cladodios sobre las características morfológicas del nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) cultivado en el Agreste de Pernambuco, Brasil.

1.4. Literatura citada

- Aguilar-Yáñez, M. I., O. Hernández-Mendo, I. Guerrero-Legarreta, J. E. Ramírez-Bribiesca, G. Aranda-Osorio, y M. M. Crosby-Galván. 2011. Productive response of lambs fed with fresh or dehydrated spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 13: 23–35.
- Batista, A. M., A. F. Mustafa, T. McAllister, Y. Wang, H. Soita, and J. J. McKinnon. 2003. Effect of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 440-445.
- Batista, A. M. V., A. C. Ribeironeto, R. B. Lucena, D. C. Santos, J. B. Dubeux Jr., and A. F. Mustafa. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology and Management* 62: 297-301.

- CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas). 1994. Nopal tunero (*Opuntia* spp.), cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Saltillo, Coah. México. 61 p.
- De Waal, H. O., C. D. Zeeman, and J. W. Combrinck. 2006. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. *South African Journal of Animal Science* 36: 10-13.
- Felker, P., A. Paterson, and M. Jenderek M. 2006. Forage potential of *Opuntia* clones maintained by the USDA National Plant Germplasm System (NPGS) collection. *Crop Science* 46: 2161-2168.
- Fisher, R. A., y N. C. Tuner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology* 29: 277-317.
- Flores-Valdez, C., J. De Luna-Esquivel, P. Ramírez-Moreno. 1995. Mercado mundial de la tuna. ASERCA y CIESTAAM-UACH. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 175 p.
- Fuentes-Rodríguez, J. 1997. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in northern Mexico. I. Goats. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2: 23-25.
- Gebremariam, T., S. Melaku, and A. Yami. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Animal Feed Science and Technology* 131: 42-51.
- Granados S., D., y A. Castañeda P. 1996. El Nopal: Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Editorial Trillas. México. 227 p.
- Luttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany* 93: 629-652.
- Mejía H., J., J. L. Delgado H., I. Mejía H., I. Guajardo H., y M. Posadas V. 2011. Efectos de la suplementación con bloques multinutricionales a base de nopal fermentado sobre la ganancia de peso de ovinos en crecimiento. *Acta Universitaria* 21: 11-16.
- Muciño, C., G. 2014. Evaluación nutricional de harina de nopal en dietas para borregos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 57 p.
- Nobel P. S. 1995. Environmental biology. *In: Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*. Barbera, G., P. Inglese, and E. Pimienta (eds). FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, pp. 36-48.
- Rodríguez F., H., M. A. López J., J. Rodríguez A., y G. Jiménez G. 2009. Cultivo Orgánico del Nopal. Editorial Trillas. México. 68 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2015. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/>. Consultada el 05 de enero de 2016.

Çürek, M., and N. Özen. 2004. Feed value of cactus and cactus silage. Turkey Journal of Veterinary Animal Science 28: 633-639.

2. APOORTE NUTRICIONAL Y UTILIZACIÓN DE NOPAL EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS Y CAPRINOS

Paulina Vazquez Mendoza¹, Luis A. Miranda Romero¹, Gilberto Aranda Osorio¹,
Juan Andrés Burgueño Ferreira²

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. CP 56230.
Chapingo, Estado de México, México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán. CP 56237
Texcoco, Estado de México, México.

APORTE NUTRICIONAL Y UTILIZACIÓN DE NOPAL EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS Y CAPRINOS

Paulina Vazquez Mendoza¹, Luis A. Miranda Romero¹, Gilberto Aranda Osorio¹,
Juan Andrés Burgueño Ferreira²

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. CP 56230.
Chapingo, Estado de México, México.

² Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán. CP 56237
Texcoco, Estado de México, México.

2.1. Resumen

El nopal (*Opuntia* spp.) es una cactácea endémica de América, por su metabolismo es considerada una planta xerófila, característica que le permite sobrevivir y desarrollarse en condiciones de escasez de agua, alta temperatura y suelos pobres. Durante décadas se han realizado estudios científicos sobre el aporte nutricional del nopal, así como su uso en dietas para animales, por lo que el objetivo de esta revisión fue compilar y analizar la información de estudios relacionados con la composición y aporte de nutrientes de nopal, así como su uso en la alimentación y productividad de ovinos y caprinos. Se ha reportado que el nopal es una excelente fuente de agua debido a que su contenido de MS es cercano al 10%, pero es pobre en proteína y fibra detergente neutro (59 y 276 g kg⁻¹ MS). La digestibilidad de los cladodios que varía entre 581 y 814 g kg⁻¹ MS, es superior a la de gramíneas forrajeras tropicales, lo cual se puede atribuir al contenido alto de carbohidratos solubles en el cladodio. El contenido mineral es variable, aunque la proporción de calcio siempre es alta (48 g kg⁻¹ MS). El comportamiento productivo de ovinos y caprinos alimentados con dietas en las que se incluyó cladodios de nopal ha sido favorable, incluso comparables a dietas formuladas con ingredientes convencionales para la producción intensiva de ovinos; además se ha reportado una disminución de grasa en la canal de cabritos alimentados con nopal.

Palabras clave: *Opuntia* spp., composición química, productividad, alimentación

2.2. Introducción

El nopal (*Opuntia* spp.) es una cactácea endémica de América con 258 especies identificadas, cien de las cuales se encuentran en México (Rodríguez *et al.*, 2009). Debido al proceso fotosintético que presenta y denominado metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC), el nopal es considerado una planta xerófila. Estas plantas abren sus estomas durante la noche para captar el CO₂

atmosférico, cuando la temperatura es menor y la humedad relativa del aire es superior a la del día, para reducir la pérdida de agua por evotranspiración y hacer más eficiente el uso de agua, hasta once veces mayor que los cultivos con metabolismo C3 (Fisher y Tuner, 1978). El metabolismo en las cactáceas esta generalmente asociado a adaptaciones anatómicas, morfológicas y fisiológicas tales como cutículas espesas y cerosas, estomas de tamaño reducido y con menor frecuencia de apertura, y cladodios succulentos (Nobel, 1995). Debido a estas adaptaciones el nopal sobrevive y desarrolla en regiones con escasez de agua, alta temperatura y suelos pobres (Fuentes-Rodríguez, 1997; Luttge, 2004; De Waal *et al.*, 2006).

Por otro lado, la baja productividad en algunos sistemas pecuarios se debe a la escasez en la disponibilidad de alimentos, principalmente en aquellas zonas susceptibles a sequías (Tegegne *et al.*, 2007). En regiones semiáridas, el nopal (*Opuntia* sp.) es estratégicamente usado como forraje (Costa *et al.*, 2012) y como una fuente de agua, vitaminas, carbohidratos y calcio, para rumiantes (Rodríguez-García *et al.*, 2007). Los cladodios de nopal contienen entre 12 y 18 % de materia seca, de 4.4 a 8.3 % de proteína cruda, entre 8.1 y 27.5 % de cenizas, de 1.8 a 4.5 % de Ca y entre 0.01 y 0.03 % de P (Gebremariam *et al.*, 2006; Batista *et al.*, 2009). Para determinar el valor nutritivo de los cladodios se requiere conocer su contenido nutrimental, su asimilación y, el desempeño productivo de rumiantes alimentados con ésta cactácea. La información científica publicada al respecto es escasa y dispersa, por lo que es conveniente acopiar y analizar la información disponible, para conocer el estado actual del conocimiento en el uso de cladodios de nopal en la alimentación de rumiantes, y las estrategias para mejorar la eficiencia en el uso de este recurso forrajero. El objetivo de esta revisión fue compilar y analizar la información de estudios relacionados con la composición y aporte de nutrientes de nopal, así como su uso en la alimentación y productividad de ovinos y caprinos.

2.3. Aporte nutricional del nopal

Conocer la composición nutrimental de un alimento es de suma importancia para la formulación de dietas. El agua es considerada un nutriente en el sentido real de la palabra, todas las reacciones bioquímicas e interconversiones que tienen lugar en un animal necesitan agua (Church, 1993). Los forrajes frescos contienen una alta proporción de agua (65 a 70 %), a partir de los cuales se pueden cubrir los requerimientos de agua de una oveja (Church, 1993). En este contexto, el alto contenido de agua en el nopal (cercano al 90 %) más que una limitante es un nutriente importante en regiones secas donde escasea el agua (Ben Salem *et al.*, 1996). Además, el nopal (*Opuntia* spp.) es una fuente de nutrientes orgánicos y minerales en las zonas áridas y semiáridas del mundo (Felker and Inglese, 2003; Costa *et al.*, 2012). Entre los nutrientes que contienen los cladodios de nopal se encuentran: compuestos nitrogenados, carbohidratos, lípidos, vitaminas, calcio y sílice (McDonald *et al.*, 2006; Batista *et al.*, 2009). En los cladodios de nopal, el contenido de materia seca oscila entre 58 y 180 g kg⁻¹ (Cuadro 1). Como en la mayoría de los forrajes frescos, la proteína aportada por los cladodios de nopal es rápidamente degradada por los microorganismos del rumen a péptidos, aminoácidos y amonio (Minson, 1990), los cuales son asimilados por los microorganismos ruminales, principalmente el amonio, para la síntesis de proteína microbiana (Minson, 1990) de alto valor nutritivo (Owen y Zinn, 1993). La deficiencia de amoniaco en el rumen, limita la actividad microbiana, la síntesis de proteína y la tasa de digestión, que a su vez reduce el consumo del pienso y de energía, ocasionando una reducción de la producción de carne, leche o lana (Owen y Zinn, 1993). De acuerdo al NRC (2007) el requerimiento de proteína para un ovino adulto en mantenimiento es de 79 g día⁻¹. El contenido de proteína en los cladodios de nopal oscila entre 20 y 130 g kg⁻¹ MS (Cuadro 1), con lo cual difícilmente podrían cubrirse los requerimientos de proteína de un ovino, si la dieta consistiera en solo nopal.

Cuadro 1. Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA), digestibilidad de la materia seca (DMS), ceniza (CE) y energía (E) en cladodios de nopal

Género	MS	PC	FDN	FDA	DMS	CE	E	Referencia
	-----g kg ⁻¹ MS-----						Mcal kg ⁻¹ MS	
<i>Opuntia ficus indica</i>	92	111	nd	nd	729 [†]	87	3.2 [§]	Tegegne, 2002
<i>Opuntia ficus indica</i>	120	83	392	263	nd	275	nd	Gebremariam <i>et al.</i> , 2006
<i>Opuntia ficus indica</i>	122	51	239	162	nd	199	2.1 [□]	Tegegne <i>et al.</i> , 2007
<i>Opuntia ficus indica</i>	128	44	259	180	nd	224	nd	Abidi <i>et al.</i> , 2009a
<i>Opuntia ficus indica</i>	127	38	251	nd	587 [†]	317	nd	Abidi <i>et al.</i> , 2009b
<i>Opuntia ficus indica</i>	79	48	290	257	nd	109	nd	Costa <i>et al.</i> , 2009
<i>Opuntia ficus indica</i>	58	137	250	183	748 [†]	211	3.2 ^b	Pinos-Rodríguez <i>et al.</i> , 2010
<i>Opuntia ficus indica</i>	95	58	298	184	nd	nd	nd	Barbosa <i>et al.</i> , 2012
<i>Opuntia ficus indica</i>	108	39	312	217	nd	118	2.2 [□]	Costa <i>et al.</i> , 2012
<i>Opuntia ficus indica</i>	94	60	294	171	nd	131	nd	Kamel <i>et al.</i> , 2012
<i>Opuntia</i> sp.	144	64	281	173	814 [†]	146	nd	Batista <i>et al.</i> , 2003
<i>Opuntia</i> sp.	153	44	248	179	712 [¶]	81	nd	Batista <i>et al.</i> , 2009
<i>Opuntia amyclae</i>	112	57	250	181	nd	259	nd	Abidi <i>et al.</i> , 2009a
<i>Nopalea cochenillifera</i>	116	27	274	100	nd	141	nd	Costa <i>et al.</i> , 2012
<i>Nopalea</i>	120	62	269	160	789 [¶]	186	nd	Batista <i>et al.</i> , 2003
<i>Nopalea</i>	187	33	241	148	711 [¶]	81	nd	Batista <i>et al.</i> , 2009

[†]= digestibilidad *in vitro* de la materia seca, [¶]= digestibilidad *in situ* de la materia seca, [§]= energía digestible, ^b= energía bruta, [□]= energía metabolizable. nd= variable no determinada.

Se ha estimado que el contenido energético de los cladodios de nopal es de 2.1 Mcal de EM kg⁻¹ MS (Tegegne *et al.*, 2007). Los carbohidratos son la principal fuente de energía para los microorganismos ruminales (Fahey y Berger, 1993), quienes los fermentan a ácidos grasos volátiles (AGV), y éstos a su vez aportan entre el 70 y 80 % de los requerimientos energéticos del rumiante (Fahey y Berger, 1993). Los carbohidratos pueden ser agrupados en fibrosos (CF) y no fibrosos (CNF). Éstos últimos están compuestos por azúcares solubles y almidón (Van Soest, 1994) por su parte, los CF se componen de celulosa, hemicelulosa y

pectina embebidos en una matriz de lignina (Van Soest, 1994). La lignina es un compuesto fenólico no digerible en rumen (McDonald *et al.*, 2006). Las fracciones de los alimentos insolubles en detergente neutro (FDN) y detergente ácido (FDA), obtenida con el sistema de detergentes de Van Soest (1994), contienen los CF y la lignina. En el nopal la FDN y FDA varían de 230 a 390 y de 100 a 260 g kg⁻¹ MS (Gebremariam *et al.*, 2006; Tegegne *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2012). Lo anterior implica que los cladodios de nopal contienen una alta proporción de compuesto solubles (71 a 77 %), entre los más abundantes se encuentra el mucílago, polisacárido compuesto de azúcares como arabinosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico (Nobel *et al.*, 1992).

La digestibilidad de un alimento tiene una relación estrecha con su composición nutritiva. La cantidad y composición de la fibra de los forrajes determina en gran manera la digestibilidad del alimento (McDonald *et al.*, 2006). Los cladodios de nopal tienen una digestibilidad de la materia seca (580 a 800 g kg⁻¹ MS) mayor al de pastos tropicales (450 a 650 g kg⁻¹ MS; Minson, 1990).

Por otro lado, el contenido de cenizas y su composición mineral en los forrajes es importante debido a las funciones que tienen como cofactores en las reacciones enzimáticas, en los procesos de transporte y las estructuras celulares (McDonald *et al.*, 2006), lo que puede determinar su fermentación y digestibilidad ruminal (Sandoval *et al.*, 2013). Además, la eficacia con la que los minerales son absorbidos influye en los requerimientos del animal (Kincaid, 1993). Los cladodios de nopal contienen entre 80 y 317 g kg⁻¹ MS de cenizas (Cuadro 1) y, dentro de los minerales más abundantes se encuentran el calcio (Ca; 9 a 85 g kg⁻¹ MS), el potasio (K; 3 a 35 g kg⁻¹ MS) y el fósforo (P; 0.7 a 6.0 g kg⁻¹ MS; Cuadro 2).

Aunque ciertas investigaciones no encuentran diferencias en la composición nutritiva debida al cultivar de nopal (Batista *et al.*, 2003), en general se reconoce que la cantidad de componentes nutritivos en los cladodios de nopal, varía en función la región, tipo de suelo y la edad de la planta (Pérez *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Contenido de Ca, P, K, Na y Mg en cladodios de nopal

Genero	Ca	P	K	Na	Mg	Referencia
	-----g kg ⁻¹ MS-----					
<i>Opuntia ficus indica</i> f. <i>inermis</i>	85.0	0.8	34.8	24.0	10.5	Abidi <i>et al.</i> , 2009a
<i>Opuntia amyclae</i>	84.0	0.7	35.5	27.1	1.2	
<i>Opuntia ficus indica</i>	70.2	1.8	4.4	6.7	0.4	Abidi <i>et al.</i> , 2009b
<i>Opuntia</i> sp.	41.0	5.0	nd	nd	13.0	Batista <i>et al.</i> , 2003
<i>Nopalea</i> sp.	24.0	1.2	8.6	0.1	10.1	
<i>Opuntia</i> sp.	18.0	1.3	8.5	0.1	8.9	Batista <i>et al.</i> , 2009
<i>Nopalea</i> sp.	57.0	6.0	nd	nd	17.0	
<i>Opuntia ficus indica</i>	45.0	2.6	nd	nd	nd	Gebremariam <i>et al.</i> , 2006
<i>Opuntia ficus indica</i> f. <i>inermis</i>	9.0	2.7	3.0	0.5	2.0	Tegegne, 2002

nd= variable no determinada.

Además, autores como Batista *et al.* (2009), demostraron que el cultivar determina también la composición nutrimental y degradabilidad ruminal de cladodios de nopal en el nordeste de Brasil. Determinar el efecto de estos factores en el valor nutricional de los cladodios de nopal, es importante para inferir la respuesta productiva de los ovinos alimentados con nopal. Pinos-Rodríguez *et al.* (2010) demostraron que el contenido de FDN y FDA tienen una relación lineal positiva ($P < 0.05$) con la edad del cladodio (30 y 90 días), y una relación negativa con el contenido de proteína cruda, la cual disminuyó de 180 a 104 g kg⁻¹ MS. En esta misma investigación (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2010), la energía bruta mostró una relación cuadrática ($P > 0.01$), con respecto a la edad del cladodio, y se determinó que la energía bruta máxima (3.08 Mcal EB kg⁻¹ MS) a los 30 días, a partir del día 45 disminuyó y se mantuvo constante hasta el día 90 de crecimiento del cladodio. La edad del cultivar afecta también la digestibilidad de la materia seca de los cladodios, en especies como *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia rastrera*, la digestibilidad de los cladodios es mayor cuando el cultivar tiene un año de edad, con respecto a los de dos y tres años de edad (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006).

La humedad y fertilidad del suelo puede afectar el contenido de proteína, cenizas y composición mineral de los cladodios de nopal (Nobel, 2002; Dubeux Jr. *et al.*, 2006). La deficiencia de agua y el alto nivel de calcio como componentes del

suelo, favorecen la acumulación de calcio en los cladodios de nopal (Nobel, 2002). La fertilización y riego controlado incrementa hasta 18 % el nivel de proteína cruda en los cladodios de nopal de 30 días de edad (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2010).

La proporción de FDN en los forrajes se relaciona directamente con el pH ruminal, debido a que la FDN se fermenta con mayor lentitud que los CNE; además de que su fermentación ruminal produce menos AGV (Van Soest *et al.*, 1994), causantes de la disminución del pH. En dietas típicas para rumiantes, la mayor proporción de FDN la aportan los forrajes con lo que se promueve la masticación, la producción de saliva, el equilibrio en el pH ruminal y la salud digestiva del rumiante (NRC, 2001). Lo anterior no es característico de los cladodios de nopal como forraje, ya que la concentración de FDN en los cladodios de nopal es baja (Gebremariam *et al.*, 2006). En dietas a base de nopal, el nivel de fibra fue bajo y las cabras que las consumieron presentaron diarrea y disminución del consumo de materia seca (Vieira *et al.*, 2008).

2.4. Formas de utilización del nopal en la alimentación animal

Tradicionalmente los cladodios de nopal en la alimentación de rumiantes, se ofrecen directamente en el comedero en fresco y picado o bien en pastoreo quemando las espinas (Granados y Castañeda, 1996); ocasionalmente, los cladodios se ofrecen secos y molidos e incorporándolo a una dieta balanceada (Abidi *et al.*, 2009a; Aguilar-Yañez *et al.*, 2011). Otras alternativas de uso de los cladodios de nopal que puede mejorar su calidad, es el enriquecimiento proteico mediante fermentación con microorganismos inoculados. La inoculación con *Saccharomyces cerevisiae* incrementó el contenido de proteína cruda de 4.4 % al inicio a 10.4 % después de seis horas de incubación a temperatura ambiente (Araújo *et al.*, 2008). La inclusión de cladodios de nopal licuado y fermentado en bloques multinutricionales también es otra forma en que puede ser ofrecido a los rumiantes (Mejía *et al.*, 2011).

El ensilaje es otra de las alternativas de uso y conservación del nopal y tuna. Çürek y Özen (2004) evaluaron la calidad de ensilado de cladodios de nopales

jóvenes y viejos para ser utilizados en la alimentación animal, encontrando que la cantidad de materia seca y proteína cruda es menor (20 % MS y 2.1 % de PC) a los reportados para ensilado de maíz (26 % de MS y 6 % de PC y, concluyen que el ensilaje de cladodios puede ser una buena alternativa de uso en la nutrición del ganado. Díaz-Plascencia *et al.* (2012) realizaron un trabajo en el que probaron un inóculo de manzana para mejorar el valor nutritivo del nopal mediante una fermentación en estado sólido, y encontraron que la proteína se incrementó significativamente de 9.3 a 19.3 a las 12 horas de fermentación.

Las formas en las que se ha utilizado el nopal de forma tradicional ya se han probado en la productividad animal, sin embargo, existen pocos trabajos respecto a la utilización de nopal en forma seca y molida, como ensilado, en bloques multinutricionales o fermentado. La investigación en estas vertientes contribuirá significativamente al conocimiento sobre la utilización de nopal como alimento para rumiantes.

2.5. Respuesta productiva de ovinos y caprinos alimentados con nopal

Una recopilación de investigaciones referentes al comportamiento productivo de ovinos y caprinos alimentados con dietas conteniendo cladodios de nopal en diversas proporciones (2 a 71 %), presentaciones (deshidratado, fresco, bloque multinutricional) y cultivares (*Opuntia ficus indica*, *Nopalea cochenilifera*, *Opuntia amyclaea*, *Opuntia leucotrichia*, *Opuntia elator*) se muestra en el Cuadro 3. El consumo de materia seca de dietas con la inclusión de cladodios de nopal osciló entre 295 y 1550 g día⁻¹. La ganancia diaria de peso varió entre 0 y 260 g d⁻¹ y la conversión alimenticia fue variable, relacionado posiblemente con las distintas proporciones de nopal.

En un estudio donde se incluyeron proporciones crecientes (0, 25, 50, 70 y 100 % de la materia seca) de nopal (*Opuntia ficus indica*) fresco en sustitución de maíz molido en dietas de finalización de corderos, Costa *et al.* (2012a) reportaron que el consumo de MS, MO, PC, EE, FDN y EM fue cuadrático aumentando a medida que aumentó el nivel de inclusión hasta un 54 % en base seca, niveles superiores de inclusión hicieron que el consumo disminuyera, mientras el

consumo de minerales y FDN se incrementó linealmente con el aumento en el porcentaje de nopal en la dieta; el consumo de agua disminuyó de forma significativa (Costa *et al.*, 2012b); la ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia decrecieron linealmente con el aumento de nopal en la dieta, sin embargo, la conversión no se vio afectada.

Cuadro 3. Consumo y ganancia de peso de ovinos y caprinos al incluir nopal en su dieta

Especie	Variedad	Forma	ND %	CMS g día ⁻¹	GDP g día ⁻¹	CA	Referencia
Ovinos	<i>O. elator</i>	D	67	1550	145	11	Tien and Beynen, 2005
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	F	71	482	38	13	Gebremariam <i>et al.</i> , 2006
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	F	25	957	0	-	Misra <i>et al.</i> , 2006
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	F	60	907	28	32	Tegegne <i>et al.</i> , 2007
Caprinos	<i>N. cochenillifera</i>	D	30	733	126	6	Amorim <i>et al.</i> , 2008
Ovinos	<i>O. ficus indica</i> (<i>F. inermis</i>)	F	56	295	39	8	Abidi <i>et al.</i> , 2009b
Caprinos	<i>O. ficus indica</i> (<i>F. inermis</i>)	F	56	488	24	20	
Ovinos	<i>O. ficus indica</i> (Algerian)	D	36	1317	96	14	Einkamerer <i>et al.</i> , 2009
Ovinos	<i>O. leucotrichia</i>	F	40	982	227	4	Mendez-Llorent <i>et al.</i> , 2011
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	D	17	1130	260	4	Aguilar-Yañez <i>et al.</i> , 2011
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	F	17	1090	232	5	
Ovinos	<i>O. amyclaea</i>	BMN	2	1088	201	5	Mejía <i>et al.</i> , 2011
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	F	48	1095	47	23	Teklehaimanot and Tritschler, 2011
Ovinos	<i>O. ficus indica</i> (<i>L. Mill</i>)	F	28	1300	210	6	Costa <i>et al.</i> , 2012
Ovinos	<i>N. cochenillifera</i> (<i>Salm Dyck</i>)	F	54	1160	150	8	Costa <i>et al.</i> , 2012
Ovinos	<i>O. ficus indica</i>	D	40	1087	26	42	Kamel <i>et al.</i> , 2012

ND= nopal en la dieta; CMS= consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso, CA= conversión alimenticia, D= deshidratado, F=Fresco, BMN= bloque multinutricional.

Einkamerer *et al.* (2009) encontraron que dietas para corderos Dorper con 24 y 36 % de nopal deshidratado redujeron la ganancia diaria de peso en 1.4 y 22.2 g d⁻¹ respecto a los 117.8 g d⁻¹ obtenidos con una dieta comercial. Mahouachi *et al.* (2012) reportaron que al ofrecer nopal sin espinas *ad libitum* a cabras mantenidas en estabulación, y complementadas con 0.4 kg de heno de avena y 0.4 kg de concentrado, no hubo efecto ($P>0.05$) en la producción de leche respecto al control (407 vs 485 mL), sin embargo, la grasa en leche fue mayor ($P<0.05$) en

la dieta testigo (3.9 vs 3.7 %), mientras que no hubo variación en el contenido de proteína. Estos autores también reportaron que la ganancia diaria de peso en cabritos alimentados a libre acceso con nopal sin espinas, fue similar respecto a la dieta testigo (55 vs 35 g d⁻¹); la grasa en la canal fue menor (P<0.05) en animales alimentados con nopal; respecto a la composición de la grasa, los cabritos alimentados con nopal presentaron mayor contenido de C18: 2, ácido linoleico conjugado y alta proporción de ácidos grasos poli-insaturados.

2.6. Conclusiones

El nopal es un recurso forrajero que se ha utilizado en la alimentación animal desde hace décadas, se ha considerado como un forraje alternativo y de emergencia debido a que su contenido de nutrientes principalmente proteína y fibra no son suficientes para cubrir los requerimientos para mantenimiento de animales adultos, por lo que es necesario desarrollar alternativas de utilización para complementar sus deficiencias a través de biotecnologías como sopa de nopal enriquecida, bloques multinutricionales y ensilados.

La inclusión de nopal en dietas de ovinos y caprinos, ya sea en forma fresca o deshidratada ha mostrado resultados favorables incluso comparables a dietas convencionales, aunado a beneficios como la disminución de grasa en la canal de cabritos alimentados con nopal.

2.7. Literatura citada

- Abidi, S., H. Ben Salem, A. I. Martín-García, and E. Molina-Alcaide. 2009a. Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Animal Feed Science and Technology* 149: 333–340.
- Abidi, S., H. Ben Salem., V. Vasta, and A. Priolo. 2009b. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus* F. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research* 87: 9-16.
- Aguilar-Yáñez, M. I., O. Hernández-Mendo, I. Guerrero-Legarreta, J. E. Ramírez-Briebesca, G. Aranda-Ororio, y M. M. Crosby-Galván. 2011. Productive response of lambs fed with fresh or dehydrated spineless cactus (*Opuntia*

- ficus-indica* L.). Journal of the Professional Association for Cactus Development 13: 23–35.
- Amorim, L., G., A. M. V. Batista, F. F. R. de Carvalho, A. Guim, A. M. D. Cabral, and A. C. A. de Moraes. 2008. Substituição do milho por casca de soja: consumo, rendimento e características de carcaça e rendimento da buchada de caprinos. *Acta Scientific of Animal Science* 30: 41-49.
- Araújo F. L., F. L. H. Silva, E. A. Brito, S. Oliveira Jr., and E. S. Santos. 2008. Protein enrichment of cactus pear with *Saccharomyces cerevisiae* for ruminants feeding. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 60: 401-407.
- Batista, A. M., A. F. Mustafa, T. McAllister, Y. Wang, H. Soita, and J. J. McKinnon. 2003. Effect of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 440-445.
- Batista, A. M., A. C. Ribeironeto, R. B. Lucena, D. C. Santos, J. B. Dubeux Jr., and A. F. Mustafa. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology and Management* 62: 297-301.
- Barbosa, G. J., R. G. Costa, A. N. Medeiros, R. C. R. Egypto Queiroga, A. M. V. Batista, G. R. Medeiros, y E. M B. Filho. 2012. Use of different urea levels in the feeding of Alpine goats. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41: 1713-1719.
- Ben Salem, H., A. Nefzaoui, H. Abdouli, and E. R. Ørskov. 1996. Effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* var. *inermis*) on intake and digestion by sheep fed straw-based diets. *Animal Science* 62: 293–299.
- Church, D. C. 1993. *El Rumiente: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 641 p.
- Costa G. R., E. M. B. Filho., A. N. Medeiros., P. E. N. Givisiez., R. C. R. Egypto Queiroga, and A. A. S. Melo. 2009. Effect of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. *Small Ruminant Research* 82: 62-65.
- Costa G. R., I. H. Treviño., G. R. Medeiros, A. N. Medeiros, T. F. Pinto, and R. L. de Oliveira. 2012a. Effect of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Ines lambs. *Small Ruminant Research* 102: 13-17.
- Costa G. R., T. I. Hernandez, G. R. Medeiros, A. N. Medeiros, P. S. Azevedo, T. F. Pinto, y J. V. Delgado. 2012b. Consumo de agua en ovinos alimentados con diferentes niveles de nopal (*Opuntia ficus indica*) en Brasil. *Archivos de Zootecnia* 61: 301-304.
- Costa M., S. B., M. A. Ferreira, R. A. S. Pessoa, A. M. V. Batista, A. O. Ramos, M. G. da Conceição, and L. H. S. Gomes. 2012. Tifton hay, soybean hulls,

- and whole cottonseed as fiber source in spineless cactus diets for sheep. Tropical Animal Health and Production. DOI 10.1007/s11250-012-0169-2.
- De Waal, H. O., C. D. Zeeman., and J. W. Combrinck. 2006. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. South African Journal of Animal Science 36: 10-13.
- Díaz-Plascencia, D., C. Rodríguez-Muela, P. Mancillas-Flores, N. Ruíz-Holguín, S. Mena-Munguía, F. Salvador-Torres, y L. Duran-Meléndez. 2012. Fermentación *in vitro* de nopal forrajero con un inóculo de levadura *Kluyveromyces lactis* obtenida a partir de manzana de desecho. Revista Electrónica de Veterinaria 13: 1-11.
- Dubeux, J. C., M. V. F. Dos Santos, M. A. Lira, D. C. Dos Santos, I. Farias, L. E. Lima, and R. L. C. Ferreira. 2006. Productivity of *Opuntia ficus indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in North-East Brazil. Journal of Arid Environments 67:357–372.
- Einkamerer, O. B., H. O. de Waal., W. J. Combrinck., and M. D. Fair. 2009. Feed utilization and growth of Dorper wethers on *Opuntia*-based diets. South African Journal of Animal Science 39: 53-57.
- Fahey, G. C., y L. L. Berger. 1993. Los carbohidratos en la nutrición de los rumiantes. *In: El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Church, D. C. (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp 305-337.
- Felker, P. and P. Inglese. 2003. Short- term and long-term research needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. utilization in arid areas. Journal of the Professional Association for Cactus Development 5:131-152.
- Fisher, R. A., y N. C. Tuner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Annual Review of Plant Physiology 29: 277-317.
- Fuentes-Rodríguez, J. 1997. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in northern Mexico. I. Goats. Journal of the Professional Association for Cactus Development 2: 23-25.
- Gebremariam, T., S. Melaku., and A. Yami. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. Animal Feed Science and Technology 131: 42-51.
- Granados S., D., y A. Castañeda P. 1996. El Nopal: Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Editorial Trillas. México. 227 p.
- Kamel L. B., A. Dellal, M. Halbouche and K. Ghazi. 2012. Effect of incorporation of spineless *Opuntia ficus indica* in diets on biochemical parameters and its impact on the average weight of ewes during the maintenance. Global Veterinaria 8(4): 352-359.
- Kincaid, R. 1993. Macroelementos para los rumiantes. *In: El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Church, D. C. (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp 373-390.

- Luttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany* 93: 629-652.
- Mahouachi, M., N. Atti, and H. Haajji. 2012. Use of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) for dairy goats and growing kids: impacts on milk production, kid's growth, and meat quality. *The Scientific World Journal*. doi:10.1100/2012/321567.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan. 2006. *Nutrición Animal*. 6ª Edición. Editorial Acribia, Zaragoza España. 587 p.
- Mejía H., J., J. L. Delgado H., I. Mejía H., I. Guajardo H., y M. Valencia P. 2011. Efectos de la suplementación con bloques multinutricionales a base de nopal fermentado sobre la ganancia de peso de ovinos en crecimiento. *Acta Universitaria* 21(1): 11-16.
- Mendez-Llorent, F., R. G. Ramírez-Lozano, M. A. López-Carlos, H. Rodríguez-Frausto, C. F. Arechiga-Flores, A. Bonilla-Salazar, M. A. Núñez-González, y J. I. Aguilera-Soto. 2011. Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*). *Journal of Applied Animal Research* 39(3): 248-251.
- Minson, D. J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press Inc. San Diego CA. 483 p.
- Misra, A. K., A. S. Mishra, M. K. Tripathi, O. H. Chaturvedi, S. Vaithiyanathan, R. Prasad, and R. C. Jakhmola. 2006. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) with or without groundnut meal. *Small Ruminant Research* 63: 125-134.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National Academies Press, Washington, D.C. 246 p.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academies Press, Washington, D.C. pp: 36-40.
- Nobel P. S. 1995. Environmental biology. *In: Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*. Barbera, G., P. Inglese, and E. Pimienta. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, pp. 36-48.
- Nobel, P. S. 2002. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. *In: Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. Mondragon-Jacobo C, and S. Pérez-González. (eds). FAO Plant Protection and Production paper 169 Rome, Italy. pp: 13-20.
- Nobel, P. S., J. Cavalier, J. L. Andrade. 1992. Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance associated solutes, and influence on tissue water relations. *Journal Experimental Botany* 43: 641-648.
- Owens, F. N., y R. Zinn. 1993. Metabolismo de las proteínas en los rumiantes. *In: El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Church. D. C. (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp 255-303.

- Pérez, M. L., F. Tejera F., J. Darías M., E. M. Rodríguez R. y C. Díaz R. 2015. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. Food Chemistry 188: 393-398.
- Pinos-Rodríguez, J. M., R. Duque-Briones, J. A. Reyes-Agüero, J. R. Aguirre-Rivera, J. C. García-López, and S. González-Muñoz. 2006. Effect of species and age on nutrient content and digestibility of *Opuntia* spp. Journal of Applied Animal Research 30: 13–17.
- Pinos-Rodríguez, J. M., J. C. Velázquez., S. S. González., J. R. Aguirre., J. C. García., G. Álvarez., and Y. Jasso. 2010. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. South African Journal of Animal Science 40: 245-250.
- Rodríguez F., H., M. A. López J., J. Rodríguez A., y G. Jiménez G. 2009. Cultivo Orgánico del Nopal. Editorial Trillas. México. 68 p.
- Rodríguez-García, M. E., C. Lira, E. Hernández-Becerra, M. A. Cornejo-Villegas, A. J. Palacios-Fonseca, I. Rojas- Molina, R. Reynoso, L. C. Quintero, A. Real, A. Zepeda y C. Muñoz-Torres. 2007. Physicochemical characterization of Nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powder as a function of the maturation. Plant Foods for Human Nutrition 62(3): 107-112.
- Sandoval, L., L. A. Miranda, A. Lara, M. Huerta, M. Ortiz, M. Martínez y A. Reyes. 2013. Fermentación *in vitro* y correlación con el contenido nutrimental de *Leucaena leucocephala* y *Cynodon nlemfluensis*. In: Memorias de la XXIII Reunión de la ALPA y IV Congreso de Internacional de Producción Animal Tropical. La Habana, Cuba. 18-22 de noviembre. pp 1600.
- Tegegne, F. 2002. Fodder potential of *Opuntia ficus-indica*. Acta Horticulturae 581: 343-346.
- Tegegne, F., C. Kijora, and K. J. Peters. 2007. Study on the level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. Small Ruminant Research 72: 157-164.
- Teklehaimanot, H. S., and J. P. Tritschler. 2011. Evaluation of spineless cactus (*Opuntia ficus-indicus*) as an alternative feed and water source for animals during dry season in Eritrea. In: Sustainable Agricultural Development. M. Behnassi, S. A. Shahid y J. D'Silva. (eds). Springer. DOI 10.1007/978-94-007-0519-7_18. 245-252 p.
- Tien, D. V., and A. C. Beyen. 2005. Growth performance of lambs in Phangrang, Vietnam: Effect of dietary supplement containing prickly-pear cactus. Tropical Animal Health and Production 37: 237-244.
- Van Soest, P. L. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2^a Edition. Cornell University Press. 476 p.
- Vieira, E. L., A. M. V. Batista, A. Guim, F. F. R. Carvalho, A. C. Nascimento, R. F. S. Araújo, and A. F. Mustafa. 2008. Effects of hay inclusion on intake, in vivo nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless

cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. *Animal Feed Science and Technology* 141: 199–208.

Çürek, M., and N. Özen. 2004. Feed value of cactus and cactus silage. *Turkey Journal of Veterinary Animal Science* 28: 633-639.

3. EVALUACIÓN DE ONCE CULTIVARES DE NOPAL MEXICANO PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN COMO ALIMENTO ANIMAL: PRODUCCIÓN DE GAS *IN VITRO*

Paulina Vazquez-Mendoza¹, Luis A. Miranda-Romero¹, Gilberto Aranda-Osorio¹,
Juan A. Burgueño-Ferreira², Abdelfattah Z.M. Salem^{3*}

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5
Carretera México-Texcoco, CP 56230, Chapingo, México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CP 56237. El Batán,
Texcoco, Estado de México

³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del
Estado de México, Estado de México, México

Publicado en línea en el Journal of Agroforestry Systems

DOI 10.1007/s10457-016-9947-6

EVALUACIÓN DE ONCE CULTIVARES DE NOPAL MEXICANO PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN COMO ALIMENTO ANIMAL: PRODUCCIÓN DE GAS *IN VITRO*

Paulina Vazquez-Mendoza¹, Luis A. Miranda-Romero¹, Gilberto Aranda-Osorio¹, Juan A. Burgueño-Ferreira², Abdelfattah Z.M. Salem^{3*}

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Chapingo, México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CP 56237. El Batán, Texcoco, Estado de México

³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México.* asalem70@yahoo.com (A.Z.M. Salem)

3.1. Resumen

En los sistemas de producción de tuna y nopal verdura, se generan cantidades significativas de material podado, que podría ser utilizado como ingrediente en la alimentación animal. El objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido nutrimental, cinética de fermentación y digestibilidad *in vitro* de cladodios de once cultivares de nopal. La fermentación fue estimada indirectamente usando la técnica de producción de gas, 500 mg de MS de sustrato (nopal) se colocaron en frascos de 125 ml con 90 ml de inóculo ruminal, bajo un flujo continuo de CO₂. Los frascos fueron cerrados herméticamente con arillo de metal, y se mantuvieron en baño maría a 39 °C. La presión de fermentación de gas fue medida utilizando un manómetro a 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 38, 50 y 72 h de incubación. Los resultados muestran que la composición química, la materia seca osciló entre 64 y 160 g kg⁻¹ MS, la ceniza entre 137 a 293 g kg⁻¹ MS, la proteína cruda entre 52 a 101 g kg⁻¹ MS, extracto etéreo entre 3 a 22 g kg⁻¹ MS, la fibra detergente neutro y ácido con 251 a 393 y 132 a 192. El volumen de gas fue diferente ($p < 0.05$) entre cultivares, siendo el cultivar Rojo Vigor el de mayor volumen con 378 mL g⁻¹, durante las primeras 24 horas se da el mayor volumen de gas en promedio 67 % respecto al total producido. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca mostró valores hasta de 82 % en el cultivar Roja Pelota. Debido a las buenas características de fermentación, los cladodios de nopal de diferentes cultivares pueden ser utilizados en la alimentación animal.

Palabras clave: Fermentación, producción de gas, valor nutritivo, nopal

3.2. Introducción

El nopal (*Opuntia* spp.) es una cactácea endémica de América con 258 especies identificadas, cien de las cuales se localizan en México (Rodríguez *et al.*, 2009).

Esta planta crece en regiones con escasez de agua, altas temperaturas y suelos pobres (Fuentes-Rodríguez, 1997; Luttge, 2004; De Waal *et al.*, 2006). En las zonas áridas del norte de México, el nopal es utilizado para la alimentación animal como fuente de forraje, energía y agua, (Andrade-Montemayor *et al.*, 2011); mientras que en la región central de México se utiliza en la producción intensiva de tuna y nopal tierno para consumo humano, además en menor cantidad el nopal poco lignificado se usa como forraje para animales (Felker *et al.*, 2006). La producción del cultivo de nopal en el Distrito Federal y los estados de México y Puebla representa el 37 % de la producción total del país (SIAP, 2013). En estos sistemas de cultivo, la poda de cladodios es una práctica común en la cual se generan grandes cantidades de residuos que al manejarse de manera correcta pueden ser fuente de materia orgánica, sin embargo, sin el tratamiento adecuado pueden representar una fuente potencial de contaminación, plagas y enfermedades (CONAZA, 1992). Sin embargo, por su contenido de nutrimentos digestibles, los residuos de nopal podado, pueden ser aprovechados en la alimentación intensiva de rumiantes. Se ha demostrado que es factible incluir entre 17 y 25% de nopal forrajero seco y molido, en raciones totalmente mezcladas para la engorda de ovinos y alcanzar un comportamiento productivo similar al que se obtiene con dietas comerciales, por lo que el aprovechamiento del nopal es una estrategia viable para el productor (Aguilar-Yañez *et al.*, 2011, Muciño *et al.*, 2014). No obstante, la respuesta animal depende en mayor medida de la calidad nutritiva de los ingredientes de la dieta, y en el nopal el contenido de nutrientes puede ser muy variable (Granados y Castañeda, 1996). A la fecha no hay estudios del contenido de nutrientes de cladodios podados de desecho y su fermentación por consorcios microbianos del rumen de ovinos. Por lo que la presente investigación tuvo como objetivo determinar el contenido de nutrientes, cinética de fermentación y digestibilidad *in vitro* de cladodios de desecho, de once cultivares de nopal destinado a la producción de tuna y nopal, cultivados en la comunidad de San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla.

3.3. Material y métodos

3.3.1. Material vegetal

Durante marzo de 2013 se estudiaron once cultivares de nopal, diez muestras de material podado de entre 1 y 3 años por cultivar fueron tomadas al azar de parcelas de productores de la comunidad de San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla, localizada a 19° 03' 37'' de Latitud Norte, 97° 42' 58'' de Longitud Oeste y a 2232 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 17.9 °C y 674 mm, y suelo dominante tipo cambisol (García, 1988). Los cultivares para tuna fueron (*Opuntia ficus-indica* cv. Rojo vigor), (*Opuntia joconostle*), (*Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva), (*Opuntia ficus-indica* cv. Sangre de Cristo), (*Opuntia ficus-indica* cv. Burrón), (*Opuntia ficus-indica* cv. Cristalina), (*Opuntia ficus-indica* cv. Roja San Martín), (*Opuntia ficus-indica* cv. Ceniza Roja), (*Opuntia ficus-indica* cv. Roja Pelota), los cultivares para nopal verdura fueron (*Opuntia ficus-indica* cv. Atlxco) y (*Opuntia ficus-indica* cv. Milpa Alta).

3.3.2. Análisis químico

Los cladodios frescos de cada cultivar de nopal, fueron rebanados en rodajas finas, secados a 65 °C en estufa de aire forzado hasta obtener peso constante y molidos a 1 mm en un molino (Thomas Wiley® Mini-Mill, Texcoco, México). Una muestra compuesta de cada cultivar de nopal fue usada para determinar el contenido de proteína cruda (PC), ceniza (Ce), extracto etéreo (EE) (AOAC, 1990); fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991); Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe, Zn y Mn, por espectrofotometría de absorción atómica (AAnalyst 700; Perkin-Elmer, 1996; AOAC, 1990), y P por colorimetría (Espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 marca Perkin Elmer; AOAC, 1990).

Se calculó el contenido de carbohidratos totales (CT: Sniffen *et al.*, 1992), carbohidratos no fibrosos (CNF: NRC, 2001) y la hemicelulosa (HC) restando a la FDN la FDA (Van Soest *et al.*, 1991).

3.3.3. Fermentación y digestibilidad *in vitro*

La fermentación se midió indirectamente por la técnica de producción de gas (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994), para lo cual se colocaron 500 mg de Materia Seca de sustrato (cultivares de nopal) en frascos de vidrio color ámbar de 125 mL de capacidad y simultáneamente se les adicionó 90 mL de inóculo ruminal bajo un flujo continuo de CO₂. Los frascos fueron tapados herméticamente con un tapón de goma y aro metálico, y se colocaron en baño maría a 39 °C. La presión de gas de fermentación se midió con un manómetro (0 - 1 kg cm²; METRON® 51100, Texcoco, México) a las 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 38, 50 y 72 h de incubación. Las unidades de presión fueron transformadas a volumen con el modelo de regresión $V \text{ (mL)} = [P \text{ (kg cm}^2\text{)} + 0.0495]/0.0185$, este modelo se obtuvo midiendo la presión generada por volúmenes conocidos de gas inyectados a los frascos en las mismas condiciones de manejo. Se calculó el volumen fraccional de gas (mL g⁻¹ MS) para los intervalos de tiempo de 0 a 8 (V_{f0-8}), 8 a 24 (V_{f8-24}) y 24 a 50 (V_{f24-50}) horas de incubación. También fue medido el volumen acumulado para cada tiempo de medición el cual fue usado para estimar el volumen máximo (V_m; mL g⁻¹ MS), la tasa de producción de gas (S; mL h⁻¹) y la fase lag (L; h) de la producción de gas, los cuales fueron ajustados con el modelo logístico $V_0 = V_m / (1 + e^{(2.4 * S * (T - L))})$ (Pitt *et al.*, 1999).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) se calculó por diferencia entre el peso de la materia inicial antes de ser incubada y el peso de la MS residual después de 72 horas de incubación, y el índice de emisión potencial de gases de fermentación (IEPGF), se calculó dividiendo el volumen máximo de producción de gas de cada cultivar entre su valor de digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

El inóculo ruminal fue preparado de la siguiente manera: se obtuvo contenido ruminal de tres ovinos con cánula ruminal alimentados con ensilado y rastrojo de maíz (70:30). Al momento de muestrear el líquido ruminal, los ovinos estuvieron en ayuno por 12 h y el contenido ruminal de cada ovino se manejó por separado

de la siguiente manera: se filtraron a través de ocho capas de una gasa y se mezclaron con una solución mineral reducida en una proporción 1:9 (v/v). La solución mineral estuvo compuesta de K_2HPO_4 (0.45 g L^{-1}), KH_2PO_4 (0.45 g L^{-1}), $(NH_4)_2 SO_4$ (0.45 g L^{-1}), $Na Cl$ (0.90 g L^{-1}), $MgSO_4$ (0.18 g L^{-1}), $CaCl_2$ (0.12 g L^{-1}), Na_2CO_3 (4 g L^{-1}), la solución reductora estuvo compuesta de $NaOH$ (0.8 ml L^{-1}), Na_2S (0.2 g L^{-1}), L-cisteína (0.2 g L^{-1}) y 1 gota de rezarzurina (Cobos and Yokoyama, 1995).

3.3.4. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, usando el procedimiento GLM de SAS y la prueba de comparación de medias con LSMEANS, únicamente para las variables Vm, S, L, Vf₀₋₈, Vf₈₋₂₄, Vf₂₄₋₅₀, D/VMS₇₂ e IEPGF. Cuando se presentaron diferencias se utilizó la prueba de Tukey.

3.4. Resultados

El contenido nutrimental de los cladodios podados de los once cultivares de nopal se muestra en el cuadro 1. En general, los cladodios de nopal tuvieron un bajo contenido de MS y alto contenido de cenizas. Los cladodios del nopal se caracterizan por tener escasa cantidad de proteína cruda, la proteína cruda en los cultivares Roja San Martín, Atlixco y Cristalina varió entre 90 y 100 g kg^{-1} MS, los demás cultivares tuvieron un contenido menor a 60 g kg^{-1} MS.

El extracto etéreo fue menor a 22.15 g kg^{-1} MS y la FDN presentó una variación entre 251 a 383 g kg^{-1} MS; consecuentemente, la FDA fue baja (193 g kg^{-1} MS) para todos los cultivares. Dado el bajo contenido de FDA, se pudo determinar que la hemicelulosa representa una proporción alta de la FDN que varía de 36 a 65 %. Los cultivares con mayor proporción de hemicelulosa en la FDN fueron Rojo vigor (57 %) y Burrón (65 %).

Los carbohidratos totales en los cultivares oscilaron 598 y 763 g kg^{-1} MS, el contenido de carbohidratos no fibrosos en los cultivares oscilaron entre 283 y 427 g kg^{-1} MS y representan en promedio el 46 % del total de carbohidratos.

Cuadro 1. Composición química (g kg^{-1} MS) de cultivares de cladodios de nopal podado

Cultivares	Componente								
	MS	Ce	PC	EE	FDN	FDA	CT	CNF	HC
	g kg^{-1} MF					g kg^{-1} MS			
Rojo Vigor	160.00	137.03	86.29	12.80	379.50	161.83	763.88	384.38	217.67
Xoconostle	111.11	224.31	75.61	22.15	393.24	192.15	677.93	284.69	201.09
Villanueva	86.96	237.47	68.08	18.90	312.90	152.99	675.55	362.65	159.91
Sangre de Cristo	113.64	215.9	58.18	8.20	290.08	174.63	717.72	427.64	115.45
Milpa Alta	90.91	229.19	67.21	5.70	299.43	188.97	697.90	398.47	110.46
Burrona	113.64	278.18	52.48	3.00	383.27	133.40	666.34	283.07	249.87
Atlixco	69.44	286.8	96.16	10.95	288.87	178.15	606.09	317.22	110.72
Cristalina	64.81	293.61	89.01	18.60	251.88	155.87	598.78	346.90	96.01
Roja San Martin	75.76	268.05	101.77	11.20	277.36	134.72	618.98	341.62	142.64
Ceniza Roja	125.00	241.21	66.06	8.50	264.62	132.38	684.23	419.61	132.24
Roja Pelota	125.00	251.92	70.98	8.60	285.17	153.82	668.50	383.33	131.35
C.V.	27.78	17.97	20.82	50.92	16.11	13.46	7.29	13.83	33.09
D.E.	28.70	43.54	15.74	5.95	50.19	21.53	48.93	49.67	50.17

MS, materia seca; PC, proteína cruda; EE, extracto etéreo; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; CT, carbohidratos totales; CNF, carbohidratos no fibrosos; HC, hemicelulosa. C.V., coeficiente de variación, D.E., desviación estándar y MF, materia fresca.

La variabilidad en el contenido de minerales en los cladodios, también fue amplia (Cuadro 2). Entre los macrominerales el Ca, K y Mg fueron los que se encontraron en mayor cantidad; con valores que oscilaron de 11 a 41, 18 a 45 y 18 a 8 g kg^{-1} MS respectivamente; los de menor cantidad fueron el P y el Na con valores 0.9 a 2 y de 0.1 a 0.4 g kg^{-1} MS.

Los microminerales con mayor cantidad en los cladodios fueron el Mn con valores de 65 a 227 mg kg^{-1} MS, Zn con 20 a 358 mg kg^{-1} MS y hierro de 28 a 91 mg kg^{-1} MS, el Cu presentó cantidades bajas con 2 y 9 mg kg^{-1} MS.

Cuadro 2. Concentración mineral (g kg⁻¹ MS) de cultivares de cladodios de nopal podado

Cultivares	P	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
	(g kg ⁻¹ MS)					(mg kg ⁻¹ MS)			
Rojo Vigor	1.61	19.53	16.18	29.57	0.25	2.38	91.88	54.01	220.18
Xoconostle	1.06	24.18	14.63	34.61	0.27	4.78	46.27	109.56	144.30
Villanueva	2.48	26.31	10.54	45.18	0.46	2.32	60.15	59.19	128.38
Sangre de Cristo	0.99	33.56	14.60	28.32	0.16	7.11	30.59	65.04	131.08
Milpa Alta	1.14	27.23	16.90	23.29	0.16	14.20	28.65	75.68	65.31
Burrona	1.89	32.29	18.36	18.43	0.41	9.31	75.34	95.06	80.57
Atlixco	1.01	30.74	17.64	32.36	0.22	4.49	58.43	71.88	196.40
Cristalina	2.76	35.43	9.95	43.58	0.25	2.33	60.34	358.14	232.60
Roja San Martin	1.16	31.94	15.18	37.20	0.24	2.46	63.18	20.45	124.09
Ceniza Roja	1.24	40.10	13.24	29.47	0.27	3.59	77.11	329.15	227.14
Roja Pelota	1.27	13.13	8.23	18.20	0.23	4.79	46.36	52.49	145.42
C.V	40.66	26.66	23.43	30.19	34.82	70.47	33.31	97.52	37.38
D.E.	0.61	7.62	3.31	9.41	0.09	3.70	19.33	114.42	57.63

C.V., coeficiente de variación, D.E. desviación estándar.

Los valores de las variables para la cinética de producción de gas de fermentación (Vm, Vf₀₋₈, Vf₈₋₂₄, Vf₂₄₋₅₀, S y L) y digestibilidad *in vitro* de cladodios de once cultivares, así como el índice de emisión potencial de gas se muestran en el Cuadro 3. Se presentaron diferencias (p<0.05) entre cultivares. El cultivar Rojo Vigor tuvo el volumen máximo (Vm) de producción de gas mayor (p<0.05; 378 mL g⁻¹) con respecto a los otros diez cultivares, los cuales tuvieron un Vm entre 235 y 305 mL g⁻¹. En lo que se refiere al volumen de gas acumulado en las primeras ocho horas de incubación (Vf₀₋₈; Cuadro 3) los cultivares Milpa Alta, Atlixco y Roja San Martin produjeron el menor volumen (p<0.05) en comparación al cultivar Villanueva.

Existió mayor diversidad en el volumen de gas acumulado entre las ocho y 24 horas de incubación (Vf₈₋₂₄), siendo los cultivares Ceniza Roja, Cristalina y Milpa Alta las que produjeron menor Vf₈₋₂₄ (p<0.05) con respecto a los cultivares Xoconostle, Villanueva y Rojo Vigor.

Cuadro 3. Variables de producción de gas, cinética de fermentación (V_m , V_{f0-8} , V_{f8-24} , V_{f24-50} , S y L), digestibilidad *in vitro* e índice de emisión potencial de gases de fermentación en cultivares de cladodios de nopal podado

Cultivares	V_m -----	V_{f0-8} mL g ⁻¹ MS	V_{f8-24} -----	V_{f24-50} -----	S (mL h ⁻¹)	L (h)	D/VMS (%)	IEPGF (mL g ⁻¹ MSD)
Rojo Vigor	378.33 ^a	132.63 ^{ab}	167.03 ^a	84.91 ^a	0.0400 ^{abc}	2.83 ^a	76.19 ^{bc}	496.99 ^a
Xoconostle	289.90 ^b	102.60 ^{ab}	129.22 ^b	63.93 ^{ab}	0.0406 ^{abc}	2.72 ^a	75.55 ^{bc}	384.08 ^b
Villanueva	305.03 ^b	134.25 ^a	123.02 ^{bc}	59.10 ^b	0.0456 ^a	1.85 ^{abc}	78.46 ^{ab}	388.84 ^b
Sangre de Cristo	266.33 ^b	102.79 ^{ab}	99.66 ^{bcde}	65.49 ^{ab}	0.0353 ^{bc}	0.86 ^{bcd}	72.30 ^{cd}	369.07 ^b
Milpa Alta	244.40 ^b	93.91 ^b	83.09 ^{de}	65.39 ^{ab}	0.0320 ^c	0.28 ^d	69.82 ^d	350.12 ^b
Burrona	254.93 ^b	111.53 ^{ab}	93.96 ^{cde}	55.27 ^b	0.0410 ^{abc}	0.94 ^{bcd}	71.58 ^{cd}	356.32 ^b
Atlixco	241.20 ^b	86.54 ^b	97.29 ^{cde}	59.10 ^b	0.0356 ^{bc}	1.82 ^{abc}	69.76 ^d	347.34 ^b
Cristalina	244.80 ^b	105.49 ^{ab}	90.44 ^{de}	53.60 ^b	0.0383 ^{abc}	0.79 ^{cd}	72.47 ^b	339.44 ^b
Roja San Martín	235.13 ^b	97.12 ^b	98.72 ^{bcde}	45.43 ^b	0.0426 ^{ab}	1.86 ^{abc}	72.94 ^{bcd}	322.04 ^b
Ceniza Roja	248.00 ^b	111.65 ^{ab}	80.91 ^e	56.22 ^b	0.0360 ^{bc}	0.00 ^d	73.69 ^{bcd}	336.70 ^b
Roja Pelota	271.77 ^b	101.92 ^{ab}	112.94 ^{bcd}	61.36 ^b	0.0400 ^{abc}	1.99 ^{ab}	82.78 ^a	328.30 ^b
EEM	14.29	6.38	6.15	4.49	0.0017	0.22	3.21	20.06

V_m , volumen máximo a 72 h de incubación; V_{f0-8} , volumen acumulado de 0 a 8 h; V_{f8-24} , volumen acumulado de 8 a 24 h; V_{f24-50} , volumen acumulado de 24 a 50 h; S , tasa de producción de gas; L , tiempo lag; D/VMS , digestibilidad *in vitro* de la materia seca; IEPGF, índice de emisión potencial de gases de fermentación; MSD, materia seca digerida. EEM, error estándar de la media; Literales diferentes en columnas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En el volumen de gas acumulado durante la fracción de tiempo de 24 a 50 h de incubación (V_{f24-50}), los cultivares de menor V_{f24-50} ($p < 0.05$) fueron Burrona, Atlixco, Cristalina, Rojo San Martín, Roja Ceniza y Roja Pelota (61 mL g⁻¹ MS), en comparación al cultivar Rojo Vigor (84 mL g⁻¹ MS). Respecto a la tasa de producción de gas, el cultivar Villanueva tuvo la mayor tasa (0.0456 h⁻¹; $p < 0.05$) de producción de gas (S) en comparación a la variedades Milpa Alta, Sangre de Cristo, Atlixco y Roja Ceniza. La fase lag (L) fue corta pues está fue igual o menor a 2.83 h. Respecto a la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) se observó variación entre 69 y 82 %. El índice de emisión potencial de gases de fermentación (mL g⁻¹ de MS digerida) osciló entre 322 y 496 mL, el cultivar Rojo

Vigor con el mayor índice de emisión fue 29 % superior respecto al promedio de los demás cultivares.

3.5. Discusión

3.5.1. Composición química

La composición del nopal varia en relación a los factores a los que está expuesto (Granados y Castañeda, 1996), algunos de ellos pueden ser el cultivar, estado de madurez, humedad, composición de nutrientes en el suelo, fertilización y prácticas agronómicas (Dubeux *et al.*, 2006). Los cultivares evaluados mostraron bajos contenidos de materia seca y extracto etéreo, similares a los encontrados por Batista *et al.* (2003; 2009) y Pinos-Rodríguez *et al.* (2010) y en cultivares Gigante, IPA-20 Algeria y forrajero, respectivamente. La proteína presentó valores bajos, parecidos a los reportados por Tegegne *et al.* (2007) y Tegegne *et al.* (2001), bajo condiciones sin fertilización, sin embargo, este componente puede ser afectado por la humedad del suelo y la fertilización como lo demuestran Pinos- Rodríguez *et al.* (2010), al evaluar el efecto del riego y fertilización en la composición de cladodios a diferentes edades, encontrando una relación lineal entre la edad y el contenido de proteína, a medida que aumenta la edad el contenido de proteína disminuye. Los valores reportados son moderados y van de 18 a 10 % a los 30 y 90 días respectivamente, comparados a los contenidos de proteína en alfalfa y maíz.

Respecto a su contenido de fibra (FDN y FDA), Pinos-Rodríguez *et al.* (2010) también encontraron una relación lineal en el incremento de fibra a medida que aumenta la edad del nopal. Los valores de FDN y FDA obtenidos en esta investigación para los cultivares de nopal, fueron similares a los reportados por otros autores (Gebremariam *et al.*, 2006, Batista *et al.*, 2009, Costa *et al.*, 2009 y Barbosa *et al.*, 2012). El contenido de hemicelulosa en este estudio osciló en rangos de 96 a 249 g kg⁻¹ MS, valores similares a los reportados en trabajos como el de Batista *et al.* (2003) y Abidi *et al.* (2009) donde al estimar por

diferencia entre FDN y FDA los valores fueron en promedio de 102 y 123 respectivamente.

El contenido de carbohidratos totales en promedio fue de 670 g kg⁻¹ MS, valores inferiores a los reportados por Batista *et al.* (2003), quien encontró en promedio 751 g kg⁻¹ MS de carbohidratos totales en tres cultivares de nopal. Silva *et al.* (2012) mencionan que el nopal se destaca por un alto contenido de carbohidratos no fibrosos con 49.7 % valor superior al de granos de sorgo, por su parte Batista *et al.* (2003) reportaron que la fracción de carbohidratos de mediana y rápida fermentación constituyen el 19 y 42 % respectivamente del total, debido al alto contenido de estos componentes y bajos niveles de lignina, el nopal puede ser considerado como una buena fuente de carbohidratos fermentables para rumiantes (Batista *et al.*, 2009).

El contenido de cenizas de entre 137 a 293 g kg⁻¹ MS, en los cultivares investigados fue menor al reportado por Ben Salem *et al.* (2002) para el cultivar Inermis y superior al reportado por Rodríguez-García *et al.* (2007) para el cultivar Redonda. La cantidad de minerales en el nopal puede estar determinado por el contenido mineral del suelo (Nobel, 2002). La deficiencia de agua y el alto nivel de minerales en el suelo, hacen que el nopal acumule cantidades altas de Ca (Nobel, 2002). McConn y Nakata (2004), encontraron 18 g kg⁻¹ MS, Rodríguez-García *et al.* (2007) hallaron entre 15 a 37 g kg⁻¹ MS, de acuerdo al estado de madurez del cladodio; y Batista *et al.* (2003) 70 g kg⁻¹ MS, de Ca. Este último valor fue muy superiores al encontrado en esta investigación (13 a 40 g kg⁻¹ MS). El Ca es un elemento esencial en la nutrición animal; sin embargo, a pesar de que los cultivares de nopal tuvieron contenidos altos de Ca, esto no asegura que sean una fuente de Ca ya que, éste se encuentra en forma de cristales de oxalato de calcio (McConn y Nakata, 2004), de baja disponibilidad (Nefzaoui y Ben Salem, 2002). Por otro lado, Rodríguez-García *et al.* (2007) indican que el contenido de oxalatos de calcio disminuye conforme avanza la edad del cladodio, esto puede suceder para los cladodios podados, como los usados en esta investigación.

El P con rangos de 0.9 a 2.7 g kg⁻¹ MS fue inferior a lo reportados por Batista *et al.* (2003) con valores en promedio de 5.6 en tres variedades de nopal, y se mantiene dentro de los valores reportados por Tegegne, (2002; 2.3 g kg⁻¹ MS) y Rodríguez-García *et al.* (2007; 1.8 g kg⁻¹ MS), quienes encontraron que contrariamente al caso del Ca, a medida que aumenta la edad del cladodio la concentración de P disminuye. El contenido de K entre 18 y 45 g kg⁻¹ MS fue menor a lo reportado por McConn y Nakata, (2004), en cladodios de diferentes edades, Kafkafi y Xu, (1999) mencionan que el nivel de potasio varió en los diferentes órganos de las plantas, concentrándose en flores y frutos y que este disminuye a medida que avanza la edad en los cladodios. Tegegne, (2002) reporta valores de K de 1.7 g kg⁻¹ MS muy por debajo de los encontrados en este trabajo. Por su parte el contenido de Mg de 8 a 18 g kg⁻¹ MS en el trabajo fue superior en algunos cultivares a lo reportado por McConn y Nakata, (2004) de 10 g kg⁻¹ MS y Rodríguez-García *et al.* (2007) con 6 g kg⁻¹ MS, mientras que el Na en los cladodios de nopal fue bajo (Nefzaoui y Ben Salem, 2002). Tegegne, (2002) reportó valores de Na de 0.5 g kg⁻¹ MS, superiores a lo encontrado en este trabajo, Rodríguez-García *et al.* (2007) mencionan que el contenido de Na en el nopal está en función de la edad. El contenido de Cu, Fe, Zn y Mn, concuerdan con lo reportado por Batista *et al.* (2003), a excepción de algunos valores de zinc 20 a 358 mg kg⁻¹ MS y manganeso 65 a 220 mg kg⁻¹ MS que fueron superiores en la presente investigación.

3.5.2. Producción de gas y digestibilidad *in vitro*

Respecto al gas liberado como producto de la fermentación de los componentes del nopal, en este estudio se presentaron valores máximos con rangos de 235 a 378 ml g⁻¹ MS a 72 horas de incubación similares a los reportados por Abidi *et al.* (2009) con 290 ml g⁻¹ MO al evaluar una variedad de nopal espinosa. La producción de gas durante las primeras ocho horas fue en promedio de 107 ml g⁻¹ MS en este trabajo, por su parte Batista *et al.* (2003) y Abidi *et al.* (2009) reportan valores inferiores con 87 y 75 ml g⁻¹ MS durante las primeras ocho horas de incubación. El gas producido en 24 horas fue en promedio de 106 ml g⁻¹ MS

valor superior al encontrado por Batista *et al.* (2003; 72 ml g⁻¹ MS), pero inferiores a los encontrados por Abidi *et al.* (2009) con 110 ml g⁻¹ MO y Ben Salem *et al.* (2002), con 134.5 ml g⁻¹ MS. Ben Salem *et al.* (2002), mencionan que la mayor producción de gas se da durante las primeras 24 horas de incubación sin incrementos significativos el tiempo restante, lo que coincide con los datos de este trabajo donde el 67 % de la producción total de gas se da durante las primeras 24 horas de incubación, a 48 horas de incubación el gas producido disminuye drásticamente con sólo un 16 % del volumen total de gas, en promedio de la hora 24 a la hora 50 se produjeron solo 60 ml g⁻¹ MS, sin embargo los valores fueron superiores a los reportados por Batista *et al.* (2003; 35 ml g⁻¹ MS), Abidi *et al.* (2009; 39 ml g⁻¹ MS) y Ben Salem *et al.* (2002; 15.5 ml g⁻¹ MS). La tasa de degradación fue inferior a los reportados por Çürek y Özen (2004), con 0.067 h⁻¹. El tiempo Lag fue en promedio de 1.45 h, valores superiores a los reportados por Batista *et al.* (2003; 0.63 h y 2009; 0.13 h). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca osciló en rangos de 69 a 82 %, valores que coinciden con Çürek y Özen (2004; 64 %), Tegegne *et al.* (2002; 69 %), Araujo *et al.* (2008; 78%), Blakenship *et al.* (1982; 65 %), y Batista *et al.* (2009; 70 %). La alta degradabilidad del nopal es debida a la cantidad de carbohidratos no estructurales (en promedio 68 %) y bajos contenidos de lignina.

3.6. Conclusión

El contenido de nutrientes fue variable en los cultivares, cantidades bajas de materia seca, alta en cenizas, moderada en proteína cruda y fibras fueron encontrados. Los cultivares presentaron durante las primeras 24 horas más del 50 % del total de gas producido, y digestibilidades en algunos casos superiores a 80 %. Debido a las buenas características de fermentación, los cladodios de nopal de diferentes cultivares pueden ser utilizados en la alimentación animal.

3.7. Agradecimientos

Este trabajo fue parte de la tesis de doctorado de la primera autora, bajo la supervisión del Dr. Luis Alberto Miranda Romero. Los autores agradecen el financiamiento de CONACYT y la Universidad Autónoma Chapingo.

3.8. Literatura citada

- Abidi, S., H. Ben Salem, A. I. Martín-García, and E. Molina-Alcaide. 2009a. Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Animal Feed Science and Technology* 149: 333–340.
- Aguilar-Yáñez, M. I., O. Hernández-Mendo, I. Guerrero-Legarreta, J. E. Ramírez-Bribiesca, G. Aranda-Osorio, and M. M. Crosby-Galván. 2011. Productive response of lambs fed with fresh or dehydrated spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *Journal of Professional Association Cactus and Development* 13: 23–35.
- Andrade-Montemayor, H. M., A. V. Córdova-Torres, T. García-Gasca and J. R. Kawas. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and Nopal (*Opuntia* spp.) *Small Ruminant Research* 98: 83-92.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th. ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC. 2000 p.
- Araújo F. L., F. L. H. Silva., E. A. Brito., S. Oliveira Júnior, and E. S. Santos. 2008. Protein enrichment of cactus pear with *Saccharomyces cerevisiae* for ruminants feeding. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 60: 401-407.
- Barbosa, G., J., R. G. Costa., A. N. Medeiros, R. C. R. Egypto Queiroga, A. M. V. Batista, G. R. Medeiros, and E. M. B. Filho. 2012. Use of different urea levels in the feeding of Alpine goats. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41(7): 1713-1719.
- Batista, A. M. V., A. C. Ribeironeto, R. B. Lucena, D. C. Santos, J. B. Dubeux Jr., and A. F. Mustafa. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology and Management* 62:297-301.
- Batista, A. M., A. F. Mustafa, T. McAllister, Y. Wang, H. Soita, and J. J. McKinnon. 2003a. Effect of variety on chemical composition, *in situ* nutrient

- disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. Journal of the Science of Food and Agriculture 88: 440-445.
- Ben Salem, H., A. Nefzaoui, and L. Ben Salem. 2002b. Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus indica* f. *inermis* and *Atriplex nummularia* L) on digestibility and growth in sheep. Animal Feed Science and Technology 96: 15–30.
- Blakenship, L. H., L.W. Varner, and G. W. Lynch. 1982. *In vitro* digestibility of South Texas range plants using inoculum from four ruminant species. Journal of Range Manage 35: 664-666.
- Cobos, M. A., and M. T. Yokoyama. 1995. *Clostridium paraputrificum* var *ruminantum*: colonization and degradation of shrimp carapaces *in vitro* observed by scanning electron microscopy. In: Rumen Ecology Research Planning. Wallas, R. J., and A. Lahlou-Kassi (eds.). Proceedings of a Workshop, Addis Abeba, Ethiopia. International Livestock Research Institute. pp: 151-161.
- Costa, G., R., E. M. B. Filho, A.P N. Medeiros, P. E. N. Givisiez, R. C. R. Egypto Queiroga, and A. A. S. Melo. 2009. Effect of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. Small Ruminant Research 82: 62-65.
- CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas). 1994. Nopal tunero (*Opuntia* spp.), cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Saltillo, Coah. México. 61 p.
- De Waal, H. O., D. C. Zeeman, and J. W. Combrinck. 2006. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. South African Journal of Animal Science 36: 10-13.
- Dubeux, Jr. C., M. V. F. Santos, M. A. Lira, D. C. Santos, I. Farias, L. E. Lima, and R. L. C. Ferreira. 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.). Miller under different N and P fertilization and plant population in North-East Brazil. Journal of Arid Environments 67: 357–372.
- Felker, P., A. Paterson, and M. Jenderek M. 2006. Forage potential of *Opuntia* clones maintained by the USDA National Plant Germplasm System (NPGS) collection. Crop Science 46: 2161-2168.
- Fuentes-Rodríguez, J. 1997. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in Northern Mexico. I. Goats. Journal of the Professional Association for Cactus Development 2: 23-25.

- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4 ed. México Distrito Federal. 217 p.
- Gebremariam, T., S. Melaku, and A. Yami. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Animal Feed Science and Technology* 131: 42-51.
- Granados S., D., y A. Castañeda P. 1996. El Nopal: Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Editorial Trillas. México. 227 p.
- Kafkafi, U., and G. H. Xu. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. *In: Frontiers in Potassium Nutrition: New Perspectives on the Effects of Potassium on Physiology of Plants*. Oosterhuis, D. M and G. Berkowitz. (eds). Georgia, USA. pp: 133-142.
- Luttge U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany* 93: 629-652.
- McConn, M. M., and P. A. Nakata. 2004. Oxalate reduces calcium availability in the pads of the prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 1371-1374.
- Menke, K. H., and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*. 28: 7-55.
- Muciño-Castillo, G., L. A. Miranda-Romero, S. González-Muciño, R. Bárcena-Gama, and M. M. M. Crosby-Galván. 2014. Efecto de la inclusión de harina de nopal en dietas en la fermentación *in vitro* y engorda de corderos. *In Memorias of the XLI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A. C. y VII Reunión Nacional de Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Mérida, Yucatán. pp: 340-345.
- Nobel, P. S. 2002. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. *In: Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. Mondragon-Jacobo C., and S. Perez-González. (eds). FAO Plant Protection and Production Paper 169, Rome, Italy. pp: 13-20.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: seventh revised edition. National Academies Press, Washington, D.C. 408 p.
- Pinos-Rodríguez, J. M., J. C. Velázquez, S. S. González, J. R. Aguirre, J. C. García, G. Álvarez, and Y. Jasso. 2010. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. *South African Journal of Animal Science* 40: 245-250.

- Pitt, R., E., T. L. Cross, A. N. Pell, P. Shofield, and P. H. Doane. 1999. Use of *in vitro* gas production models in ruminal kinetics. *Mathematical Biosciences* 159: 145-163.
- Rodríguez F., H., M. A. López J., J. Rodríguez A., and G. Jiménez G. 2009. *Cultivo Orgánico del Nopal*. Editorial Trillas. México. 68 p.
- Rodríguez-García, M. E., C. Lira, E. Hernández-Becerra, M. A. Cornejo-Villegas, A. J. Palacios-Fonseca, I. Rojas-Molina, R. Reynoso, L. C. Quintero, A. Real, T. A. Zepeda, and C. Muñoz-Torres. 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods for Human Nutrition* 62: 107-112.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2010. www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=3. Consultada el 17 de mayo de 2013.
- Silva, V. L., L. S. Costa, M. P. V. Bastos, L. M. A. M. Facuri, N. O. Rego Júnior, and M. V. Silva. 2011. Caracterização físico-química e bioquímica do farelo de palma forrageira redonda (*Opuntia ficus*) utilizado na alimentação de ruminantes. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia* 5(2): 1-13.
- Sniffen, C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox, and J. B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* 70: 3562-3577.
- Tegegne, F. 2002. Fodder potential of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Horticulturae* 581: 343-346.
- Tegegne, F., C. Kijora, and K. J. Peters. 2007. Study on the level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research* 72: 157-164.
- Tegegne, F. 2001. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as ruminant feed in Ethiopia. In: *Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. Mondragon-Jacobo C and S. Perez- Gonzalez (eds). FAO Plant Production and Protection Paper 169. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. pp 91-99.
- Theodorou, M., K., B. A. Williams, M. S. Dhanoa, A. B. McAllan, and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Feed Science and Technology* 48: 185-197.

- Van Soest, P., J., B. Robertson J., A. Lewis B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Çürek, M., and N. Özen. 2004. Feed value of cactus and cactus silage. *Turkey Journal of Veterinary Animal Science* 28: 633-639.

4. COMPOSICIÓN QUÍMICA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE TRES CULTIVARES DE TUNA

Paulina Vazquez Mendoza¹, Luis A. Miranda Romero¹, Gilberto Aranda
Osorio^{1*}, Juan Andrés Burgueño Ferreira²

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. CP 56230.
Chapingo, Estado de México, México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán. CP 56237
Texcoco, Estado de México, México.

*garanda@correo.chapingo.mx

COMPOSICIÓN QUÍMICA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE TRES CULTIVARES DE TUNA

Paulina Vazquez Mendoza¹, Luis A. Miranda Romero¹, Gilberto Aranda Osorio^{1*}, Juan Andrés Burgueño Ferreira²

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. CP 56230. Chapingo, Estado de México, México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán. CP 56237 Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: garanda@correo.chapingo.mx

4.1. Resumen

Se determinó el contenido nutrimental, digestibilidad y fermentación *in vitro* de tuna proveniente de tres cultivares de *Opuntia ficus indica* cv: Villanueva, Cristalina y Roja San Martín. Las variables evaluadas fueron: materia seca (MS), cenizas (Ce), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA), carbohidratos totales y no fibrosos (CT y CNF), hemicelulosa (HC), Ca, Mg, K, Cu, Fe, Zn, digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de la pulpa, cáscara y tuna completa; fermentación *in vitro*, fracciones de rápida, media, lenta y fermentación total. La pulpa, cáscara y tuna completa del cultivar Cristalina tuvo mayor ($P<0.05$) EE que los otros dos cultivares. La misma tendencia se encontró con la PC. La concentración de FDN fue mayor ($P<0.05$) en la pulpa y tuna completa, para los cultivares Villanueva y Cristalina en comparación con Roja San Martín, pero éste cultivar tuvo mayor ($P<0.05$) contenido de CT y CNF en pulpa y tuna completa. El Ca fue mayor ($P<0.05$) en la pulpa del cultivar Cristalina respecto a los otros cultivares (38 g kg^{-1} MS vs 3.6 y 2.7 g kg^{-1} MS, respectivamente). El volumen de gas y fracción fermentable total fue superior ($P<0.05$) en el cultivar Roja San Martín y Villanueva. No se presentaron diferencias ($P>0.05$) en la DIVMS en los diferentes componentes ni entre los cultivares. Por su composición nutricional y digestibilidad, las tunas completas o sus componentes pulpa y cáscara pueden incluirse en raciones completas para animales, pero puesto que el cultivar Roja San Martín presentó el mayor contenido de CT, CNF y fracción total fermentable son apropiadas para utilizarse como fuente de carbohidratos para el ensilaje o dietas para rumiantes.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*, composición nutricional, producción de gas.

4.2. Introducción

El nopal (*Opuntia* sp.) es una cactácea endémica de América (Rodríguez *et al.*, 2009) y se cultiva en México, Perú, Brasil, Argentina, Chile, Estados Unidos, Italia, Israel, y algunos países de Sudáfrica (Flores-Valdez *et al.*, 1995), en

regiones de suelos pobres, temperaturas moderadas y poca agua (Fuentes-Rodríguez, 1997; Luttge, 2004; De Waal *et al.*, 2006). En México, se tienen nopaleras silvestres y nopaleras cultivadas, en las primeras su principal utilización es como forraje para el ganado en la época de secas, y en las segundas son fundamentalmente para consumo humano en la forma de verdura (cladodios tiernos) y fruta fresca (tuna) o como condimento (xoconostle), y en menor proporción para uso forrajero (Aranda *et al.*, 2009). El 95 % de la producción intensiva de tuna se obtiene en la región centro-norte de México, cuya producción alcanza las 568,404.90 t año⁻¹ (SIAP, 2015). México es el mayor productor de tuna en el mundo, aunque Italia es el principal exportador de éste fruto con 21,000 de las 70,000 t año⁻¹ de tuna cosechadas. Esto se atribuye a que México carece de tecnología para la cosecha, desespinado, empaquetado y un apropiado sistema de comercialización tanto nacional como internacional (Flores-Valdez *et al.*, 1995; Callejas-Juárez *et al.*, 2009). Debido a esto, en algunas regiones como Zacatecas se comercializa tan solo el 40 % de la producción de tuna, una parte del excedente se industrializa mientras que la mayoría se desecha o se deja en el plantío (Higareda, 1994). La industrialización o transformación de la tuna madura excedente para producir licores (Corrales-García *et al.*, 2015) o como alimento para animales (Ortíz-Heredia *et al.*, 2013; Vazquez-Mendoza *et al.*, 2015), es una alternativa para darle valor agregado a tales desperdicios de tuna, lo cual permitiría mayor sustentabilidad del sistema de producción. En cladodios de nopal se ha encontrado un contenido de proteína cruda entre 4 y 8 %, fibra detergente neutro entre 23 y 39 %, digestibilidad entre 58 y 81 % y energía de 2.1 Mcal EM kg⁻¹ MS (Batista *et al.*, 2003; Gebremariam *et al.*, 2006; Tegegne *et al.*, 2007; Abidi *et al.*, 2009,); sin embargo, respecto al contenido nutrimental los estudios son escasos (Díaz *et al.*, 2007; Chiteva and Wairagu, 2013), respecto a fermentabilidad y digestibilidad de la tuna no existen estudios. Se sabe que la tuna es una excelente fuente de carbohidratos, los cuales pueden representar del 12 al 15 % del peso fresco de la tuna (Sawaya *et al.*, 1983). Cada 100 g de pulpa de tuna puede aportar 47.3 kcal (Hernández *et al.*, 1987), valor comparable al de frutas como pera, naranja y manzana que han

sido utilizadas favorablemente en ensilados para rumiantes (Anrique y Dossow, 2003). El objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido nutrimental, producción de gas y digestibilidad *in vitro* de los componentes de la tuna (pulpa, cáscara y fruto completo) de tres cultivares (Villanueva, Cristalina, Roja San Martín) de *Opuntia ficus-indica*.

4.3. Material y Métodos

4.3.1. Material vegetal

En verano (julio de 2013), se cosecharon muestras de tuna madura de *Opuntia ficus-indica* cv: Villanueva, Cristalina y Roja San Martín. Se seleccionaron cinco parcelas por cultivar y cinco sitios de muestreo al azar por parcela, estas plantaciones son de tipo comercial de la comunidad de San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla, la cual se localiza a 19° 03' 37'' Latitud Norte, 97° 42' 58'' Longitud Oeste y a 2,232 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 17.9 °C y 674 mm, y suelo dominante tipo cambisol (García, 1988).

4.3.2. Análisis químico

Posterior a la cosecha, las tunas fueron pesadas y se separaron en sus dos componentes: pulpa y cáscara. Después se secaron a 65 °C en estufa de aire forzado hasta obtener peso constante, posteriormente se molieron (≤ 1 mm) en un molino (Thomas Wiley® Mini-Mill). Una muestra compuesta por cultivar y por parcela de cada componente: pulpa, cáscara y tuna completa se usó para determinar el contenido de proteína cruda (PC), ceniza (Ce), extracto etéreo (EE) (AOAC, 1990). Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) acorde a la metodología desarrollada por Van Soest *et al.* (1991); además del contenido de Ca, Mg, K, Cu, Fe y Zn, por espectrofotometría de absorción atómica (AOAC, 1990; Analyst 700, Perkin-Elmer, 1996). El contenido de carbohidratos totales (CT), carbohidratos no fibrosos (CNF) de acuerdo con Sniffen *et al.*, (1992) y NRC (2001). La hemicelulosa (HC) se obtuvo restando por diferencia de FDN menos FDA (Van Soest *et al.*, 1991).

4.3.3. Fermentación y digestibilidad *in vitro*

La fermentación se midió indirectamente por la técnica de producción de gas (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994). Se colocaron 500 mg de muestra de pulpa, cáscara o tuna completa por cultivar y parcela, en frascos de vidrio color ámbar de 125 mL de capacidad. Posteriormente se les adicionó 90 mL de inóculo ruminal y un flujo continuo de CO₂. Los frascos fueron tapados herméticamente con un tapón de goma y aro metálico, y se colocaron en baño maría a 39 °C. Se midió la presión (P) generada por el gas de fermentación, con un traductor de presión de un kg cm⁻² (METRON® 51100) a las 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 38, 50 y 72 h de incubación. Los valores de presión fueron transformados a volumen (V) de gas con el modelo de regresión: $V \text{ (mL)} = [P \text{ (kg cm}^2\text{)} + 0.0495]/0.0185$; $R^2=0.98$, el cual se obtuvo midiendo la presión generada por volúmenes conocidos de gas inyectados a los frascos, en las mismas condiciones de manejo. Con los valores de volumen (mL g⁻¹ de sustrato) se calculó el volumen fraccional de gas para los intervalos de 0 a 8 (Vf₀₋₈), 8 a 24 (Vf₈₋₂₄) y 24 a 50 (Vf₂₄₋₅₀) horas de incubación; éstos valores fueron transformados a g kg⁻¹ de fracción de rápida (FR), media (FM) y lenta (FL) fermentación, de acuerdo a los modelos Vf₀₋₈=0.4266*(mg FR); Vf₈₋₂₄=0.6152*(mg FM), y Vf₂₄₋₇₂=0.3453*(mg FL) (Miranda *et al.*, 2015).

El volumen acumulado para cada tiempo de medición se usó para estimar el volumen máximo (Vm; mL g⁻¹ MS), la tasa (S; mL h⁻¹) y la fase lag (L; h) de la producción de gas con el modelo logístico $V_0 = V_m / (1 + e^{(2.4 * S * (T - L))})$ (Pitt *et al.*, 1999).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) se calculó por diferencia entre el peso de la MS inicial antes de ser incubada y el peso de la MS residual después de 72 horas de incubación.

El inóculo ruminal fue preparado con una muestra de contenido ruminal de tres ovinos con cánula ruminal, alimentados con ensilado y rastrojo de maíz (70:30) y 12 h de ayuno al momento del muestreo. El líquido ruminal de cada ovino se manejó por separado de la siguiente manera: se filtró a través de cuatro capas

de una gasa y se mezcló en una proporción 1:9 (v/v), con una solución mineral reducida. Cada litro de solución mineral estuvo compuesto de K_2HPO_4 (0.45 g), KH_2PO_4 (0.45 g), $(NH_4)_2SO_4$ (0.45 g), NaCl (0.90 g), $MgSO_4$ (0.18 g), $CaCl_2$ (0.12 g), Na_2CO_3 (4 g) y solución reductora (20 mL L^{-1}). Cada 100 mL de solución reductora estuvo compuesto de NaOH (0.8 ml 2N), Na_2S (0.2 g), L-cisteína (0.2 g) y 1 gota de resazurina (Cobos and Yokoyama, 1995).

4.3.4. Análisis estadístico

El diseño fue completamente al azar con cinco repeticiones y arreglo de tratamientos factorial 3x3 correspondientes a tres cultivares (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) y tres componentes de tuna (pulpa, cáscara y completa). Se utilizó el procedimiento GLM de SAS y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$).

4.4. Resultados y Discusión

4.4.1. Análisis químico

Las proporciones en materia seca de los componentes para el cultivar Villanueva fueron de 60 y 40 % para pulpa y cáscara respectivamente, de 70 y 30 % para el cultivar Cristalina y de 59 y 41 % para el cultivar Roja San Martín. El contenido de MS y Ce en pulpa, cáscara y tuna completa para cada cultivar, fueron similares ($P > 0.05$; Cuadro 1). El fruto del cultivar Cristalina tuvo mayor ($P < 0.05$) contenido de EE en pulpa y tuna completa, respecto al cultivar Roja San Martín. En la cáscara el EE fue similar ($P > 0.05$) en los cultivares Villanueva y Cristalina, pero en ambos fue superior ($P < 0.05$) al cultivar Roja San Martín. El Kossori *et al.* (1998) encontraron valores de EE superiores a los de la presente investigación, en la cáscara de *Opuntia ficus-indica* sp. (24.3 g kg^{-1} MS).

Los valores de PC fueron mayores ($P < 0.05$) en pulpa que en cáscara e intermedios para la tuna completa (Cuadro 1). El cultivar Cristalina mostró el mayor ($P < 0.05$) contenido de PC en pulpa, cáscara y tuna completa, respecto a los cultivares Villanueva y Roja San Martín, no habiendo diferencias ($P > 0.05$)

entre éstas últimas. El Kossori *et al.* (1998) determinaron valores de PC para cáscara de 83 g kg⁻¹ MS, superior al intervalo (41 a 56 g kg⁻¹ MS) encontrado en esta investigación, del mismo modo, Chiteva y Wairagu (2013) reportaron valores inferiores (10.3 g kg⁻¹ MS) en tuna completa a los aquí encontrados, lo que indica que este nutrimento es muy variable debido a la influencia de factores como el tipo de suelo, edad del fruto y tipo de cultivar, entre otros (Díaz *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Contenido nutrimental en pulpa, cáscara y tuna completa de tres cultivares de *Opuntia ficus-indica*

Componente	Cultivar	MS	Ce	EE	PC	FDN	FDA	CT	CNF	HC
		g kg ⁻¹ MF	-----g kg ⁻¹ MS-----							
Pulpa	Villanueva	135.5	229.5	32.1 ^b	61.4 ^{ab}	334.3 ^a	181.0 ^a	665.6 ^b	375.6 ^b	153.3 ^{ab}
	Cristalina	151.6	254.2	48.1 ^a	73.4 ^a	317.3 ^a	155.6 ^a	682.6 ^b	306.8 ^b	161.7 ^a
	Roja San Martín	153.1	214.3	15.1 ^c	47.8 ^b	177.7 ^b	86.3 ^b	822.2 ^a	543.7 ^a	91.4 ^b
	EEM	12.2	20.7	2.4	4.1	13.0	9.5	13.0	19.8	16.3
	CV	18.6	19.8	17.2	15.0	10.2	14.8	4.0	9.9	26.3
Cáscara	Villanueva	108.1	265.3	15.1 ^a	45.5 ^b	331.6	204.9	668.3	364.8	126.7
	Cristalina	86.9	286.1	15.5 ^a	56.3 ^a	438.2	302.3	561.7	217.0	165.8
	Roja San Martín	113.6	290.8	9.8 ^b	41.7 ^b	335.0	210.8	664.9	323.8	120.0
	EEM	8.5	15.7	1.1	1.4	34.7	28.0	33.1	39.6	13.2
	CV	18.6	11.2	16.6	6.8	21.2	26.5	11.7	26.8	23.3
Tuna Completa	Villanueva	126.8	254.4	27.8 ^b	55.0 ^b	340.2 ^a	195.3	659.7 ^b	340.1 ^b	144.9 ^a
	Cristalina	132.4	262.9	38.4 ^a	67.6 ^a	347.0 ^a	196.3	646.8 ^b	280.8 ^b	153.9 ^a
	Roja San Martín	137.5	246.6	12.9 ^c	45.6 ^b	238.3 ^b	142.1	761.6 ^a	452.7 ^a	96.3 ^b
	EEM	9.5	14.7	1.5	2.9	16.0	15.7	14.2	21.1	10.1
	CV	16.0	11.5	13.1	10.6	10.1	17.2	4.7	12.0	16.9

MS= materia seca, Ce= cenizas, PC= proteína cruda, EE= extracto etéreo, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácido, CT= carbohidratos totales, CNF= carbohidratos no fibrosos, HC= hemicelulosa, C.V= coeficiente de variación, EEM= error estándar de la media y MF= materia fresca. Literales diferentes en columnas por componente indican diferencias (P<0.05).

La concentración de los otros componentes (FDN, FDA, CT, CNF y HC) en cáscara, no fueron diferentes (P>0.05). Sin embargo, la FDN y FDA en la pulpa

y tuna completa de los cultivares Villanueva y Cristalina, fueron mayores ($P<0.05$) en comparación con la Roja San Martín, y esta tuvo un mayor ($P<0.05$) contenido de carbohidratos totales (CT) y no fibrosos (CNF) en la pulpa y tuna completa que los cultivares Cristalina y Villanueva. La concentración de hemicelulosa (HC) fue menor ($P<0.05$) en Roja San Martín comparada con los cultivares Villanueva y Cristalina.

El Kossori *et al.* (1998) cuantificaron un contenido de 408 g kg^{-1} MS de fibra cruda en la cáscara de *Opuntia ficus-indica* sp, valor parecido al determinado en ésta investigación a FDA.

4.4.2. Composición mineral

Respecto a la composición de macrominerales (Cuadro 2), el cultivar Cristalina tuvo una mayor ($P<0.05$) concentración de Ca y Mg en la pulpa, pero el cultivar Villanueva, la tuvo en la cáscara. Estos valores son superiores a los encontrados por El Kossori *et al.* (1998; 20.9 g kg^{-1} MS). En tuna completa, el cultivar Cristalina y Villanueva mantuvieron un contenido mayor ($P<0.05$) de Ca respecto al cultivar Roja San Martín. Chiteva y Wairagu (2013) encontraron concentraciones muy inferiores (3.16 g kg^{-1} MS) a los encontrados en esta investigación. Respecto al Mg, El Kossori *et al.* (1998) cuantificó valores de 0.7 y 2.0 g kg^{-1} MS en pulpa y semilla de tuna, mientras que en cáscara reportó 3.2 g kg^{-1} MS, superior a 0.63 g kg^{-1} MS reportados por Chiteva y Wairagu (2013).

En tuna completa, el mayor contenido de K (7.05 g kg^{-1} MS) se encontró en el cultivar Roja San Martín ($P<0.05$) en comparación a Villanueva y Cristalina. Ésta cantidad se deposita mayormente en la pulpa y menor en cáscara (Cuadro 2). Por el contrario, en el cultivar Cristalina el K se depositó mayormente en la cáscara y en menor proporción en la pulpa. Aun así, los valores de K son menores a los reportados por El Kossori *et al.* (1998), y superiores a 1.08 g kg^{-1} MS que encontraron Chiteva y Wairagu (2013).

Cuadro 2. Contenido mineral en pulpa, cáscara y tuna completa de tres cultivares de *Opuntia ficus-indica* (Villanueva, Cristalina y Rojas San Martín) en Villanueva, Puebla.

Componente	Cultivar	Ca	Mg (g kg ⁻¹ MS)	K	Cu (mg kg ⁻¹ MS)	Fe (mg kg ⁻¹ MS)	Zn
Pulpa	Villanueva	3.6 ^b	2.6 ^b	6.2 ^b	5.0 ^b	15.5	8.9
	Cristalina	38.5 ^a	16.9 ^a	2.1 ^c	10.1 ^a	17.1	7.0
	Roja San Martín	2.7 ^b	3.8 ^b	10.8 ^a	2.8 ^c	18.8	9.1
	EEM	1.3	0.9	0.7	0.5	1.6	0.7
	CV	19.3	23.1	26.5	18.0	22.0	17.8
Cáscara	Villanueva	59.9 ^a	17.2 ^a	3.0 ^b	8.2 ^a	16.0 ^a	7.0
	Cristalina	3.3 ^c	1.5 ^b	9.7 ^a	3.5 ^b	7.9 ^b	7.3
	Roja San Martín	32.5 ^b	14.7 ^a	1.6 ^c	7.7 ^a	8.8 ^b	10.5
	EEM	1.2	2.8	0.1	0.9	1.3	1.1
	CV	10.2	55.8	5.2	26.2	25.2	27.0
Tuna completa	Villanueva	27.4 ^a	12.6	5.0 ^b	5.9 ^b	15.5	8.2
	Cristalina	27.9 ^a	11.7	4.4 ^b	8.2 ^a	15.2	7.1
	Roja San Martín	14.9 ^b	8.3	7.0 ^a	5.1 ^b	15.2	9.6
	EEM	1.5	0.9	0.4	0.3	1.2	1.1
	CV	15.3	18.3	18.4	12.9	17.8	24.2

C.V= coeficiente de variación y EEM= error estándar de la media. Literales diferentes en columnas por componente indican diferencias (P<0.05).

Con relación a la composición de microminerales (Cu, Fe y Zn) en tuna completa, solo el Cu fue diferente (P<0.05). El cultivar Cristalina tuvo el mayor contenido de Cu (8.2 mg kg⁻¹ MS), el cual se depositó en mayor parte en la pulpa en comparación a la cáscara, lo contrario sucedió con los cultivares Roja San Martín y Villanueva (Cuadro 2). El Kossori *et al.* (1998) encontró una proporción de Cu similar (8.5 mg kg⁻¹ MS) en cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica* sp). No se encontró diferencia (P>0.05) en el contenido de Zn, mientras que el Fe sólo fue diferente en la cáscara de los cultivares, el cual fue mayor para la cáscara del cultivar Villanueva, aunque muy inferior a lo reportado por El Kossori *et al.* (1998; 83.1 g kg⁻¹ MS).

4.4.3. Fermentación y digestibilidad *in vitro*

La cinética de producción de gas de fermentación descrita por los parámetros V_m , S y L , mostró la misma tendencia para la pulpa, cáscara y tuna completa, como se observa para el componente cáscara en la Figura 1. De Waal *et al.* (2015), indican que los azúcares encontrados en pulpa y cáscara de tuna funcionan como sustrato para la fermentación microbiana. En los cultivares Roja San Martín y Villanueva el volumen máximo generado por la fermentación fue mayor ($P < 0.05$) al encontrado para el cultivar Cristalina, lo que indica un potencial de fermentación mayor, en particular para la cáscara y tuna completa, con una tasa (S) de 0.0439 h^{-1} .

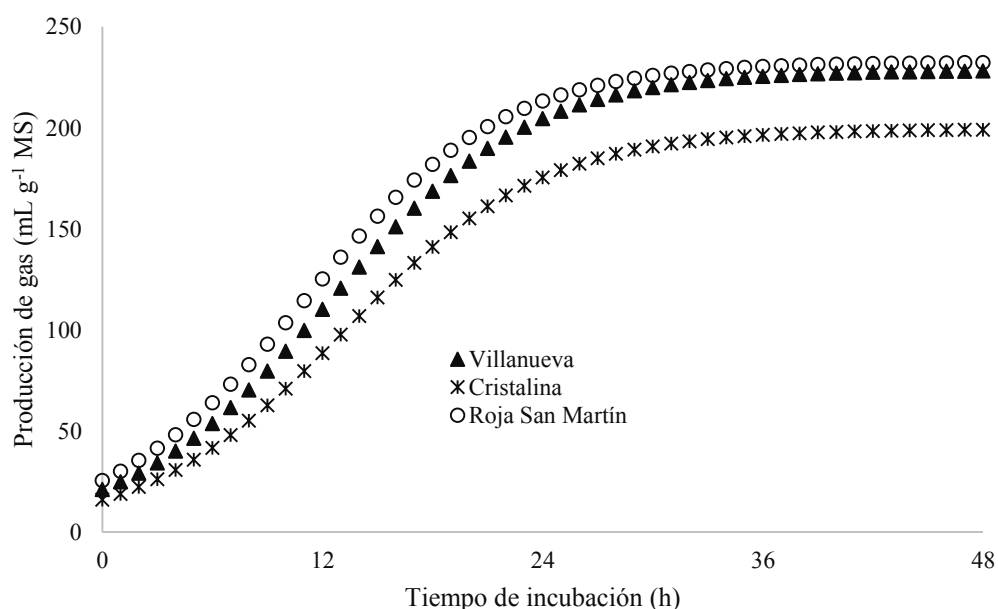


Figura 1. Producción de gas de fermentación *in vitro* de cáscara de tres cultivares de tuna (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.

El porcentaje de las fracciones de fermentación rápida (FR), media (FM) y lenta (FL); así como la fracción total fermentable (FT) de pulpa, cáscara y tuna completa, calculados a partir de los volúmenes fraccionales (V_{f0-8} , V_{f8-24} , V_{f24-50}) de acuerdo con Miranda *et al.* (2015), se muestran en el Cuadro 3. Se encontró interacción cultivar x componente para FR y FM ($P < 0.01$), una tendencia de

interacción ($P=0.0120$) en FL y no hubo interacción ($P=0.65$) en FT. Ésta última fracción fue mayor ($P<0.01$) en los cv Roja San Martín y Villanueva que en el cv Cristalina (43.9, 41.7 y 35.9 %). La cáscara tuvo mayor FT que la pulpa y la tuna completa (48.2, 37.7 y 35.7 %). La digestibilidad no mostro diferencias ($P>0.05$) entre los componentes de los cultivares.

Cuadro 3. Fracción de fermentación rápida (FR), media (FM), lenta (FL), total (FT) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) de los componentes de tuna de tres cultivares (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.

Tuna		Fracción de carbohidratos fermentables								
Cultivar	Componente	FR		FM		FL		FT		D/VMS
		%	EE	%	EE	%	EE	%	EE	
Villanueva	Pulpa	19.1	1.0	10.5	0.4	9.8	0.1	39.4	1.4	50.1
	Cáscara	20.5	1.0	17.8	0.4	11.2	0.2	49.5	1.2	72.1
	Completa	6.1	0.9	14.9	0.9	15.1	1.4	36.1	2.3	69.5
Cristalina	Pulpa	15.0	1.6	8.9	0.6	8.6	0.3	32.5	2.4	45.2
	Cáscara	15.6	0.8	16.7	0.3	10.4	0.2	43.7	1.1	68.3
	Completa	7.4	0.8	13.8	0.4	11.5	0.9	32.6	0.8	65.1
Roja San Martin	Pulpa	17.9	1.9	11.5	0.2	11.6	0.6	41.0	1.4	53.9
	Cáscara	25.0	1.0	15.8	0.3	11.5	0.1	52.4	1.1	66.8
	Completa	5.1	0.6	16.3	0.3	16.9	0.5	38.4	0.6	76.5
Factor		-----Valor de <i>p</i> -----								
Cultivar		0.0012		0.0004		0.0001		0.0001		0.0042
Componente		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001
Cultivar*Componente		0.0001		0.0004		0.012		0.6519		0.0310

Las fracciones se estimaron por la técnica de producción de gas y usando como carbohidratos de referencia glucosa (GL), almidón (AL) y celulosa (CE), con los modelos de regresión $V_{fCS}=0.4266*(mg\ GL)$, $R^2=0.9441$; $V_{fCR}=0.06152*(mg\ AL)$, $R^2=0.998$; y $V_{fCE}=0.3453*(mg\ CE)$, $R^2=0.9653$. Donde: V_{fCS} , V_{fCR} , V_{fCE} , corresponden al volumen de gas producido en los periodos de 0-8, 8-24 y 24 a 72 h de incubación. EE= error estándar.

La interacción cultivar x componente en la fracción de fermentación rápida (FR), no mostró diferencias ($P>0.05$) en la pulpa de los tres cultivares, sin embargo, esta fue mayor ($P<0.05$) en cáscara del cultivar Roja San Martín respecto al cultivar Cristalina, pero en la cáscara el cultivar Villanueva tuvo mayor ($P<0.05$) FM que el cultivar Cristalina. Finalmente, para la fracción de fermentación lenta (FL), ésta fue igual para los tres cultivares, en tanto que en la pulpa y la tuna

completa el cultivar Roja San Martín tuvo mayor cantidad que la Cristalina ($P < 0.05$; Cuadro 3).

En la Figura 2, se muestra el comportamiento general de la producción de gas de fermentación a los tiempos definidos para su medición. Se observa que la tuna completa produce menos Vf_{0-8} , lo que indica que presentó menor cantidad de la fracción FR; sin embargo, contrario a la pulpa, produce más Vf_{8-24} y Vf_{24-50} que corresponden a las fracciones FM y FL. Por su parte la cáscara produce alto Vf_{0-8} y Vf_{8-24} indicando un alto contenido de las fracciones FR y FM.

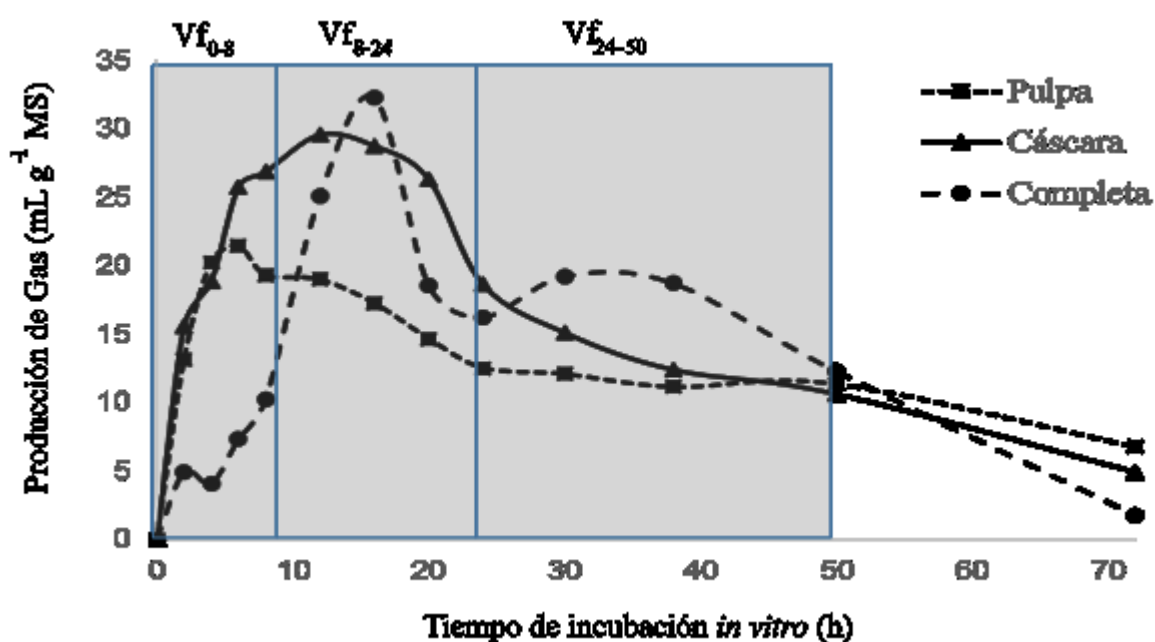


Figura 2. Volumen de gas de fermentación de pulpa, cáscara y tuna completa de tres cultivares de tuna (Villanueva, Cristalina y Roja San Martín) en Villanueva, Puebla.

Cada punto es el promedio de cinco valores obtenidos de tres cultivares y cinco repeticiones por cultivar. Los cultivares fueron Cristalina, Rojo San Martín y Villanueva.

Vf_{0-8} , Vf_{8-24} y Vf_{24-50} : corresponden al volumen acumulado de gas producido de 0 a 8, 8 a 24 y 24 a 50 h de incubación.

Al relacionar mediante una regresión lineal la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) y la fracción total fermentable, se observó que en pulpa y cáscara la relación es baja ($R^2 = 0.1698$ y 0.2552), y con tuna completa la relación es mayor ($FT = 11.6 + 0.354(D/VMS)$; $R^2 = 0.4303$).

Normalmente un solo alimento (forraje, grano o subproducto) es insuficiente para cubrir los requerimientos nutritivos y de salud del rumen de un animal para obtener un óptimo desempeño productivo, y la tuna completa, su pulpa o cáscara no son la excepción. Debido a la característica de alta humedad (cercana a 90 %), la tuna, o sus componentes pulpa y cáscara puede ser considerada un nutriente valioso en regiones donde escasea el agua (Ben Salem *et al.*, 1996). El contenido de proteína en tuna y sus componentes entre cultivares difirió, sin embargo, de acuerdo al NRC (2007) los requerimientos de proteína para mantenimiento de un ovino adulto son de 79 g día⁻¹ por lo que la proteína aportada por la tuna o sus componentes no cubren dichos requerimientos, debido a ello, esta tendría que ir acompañada de ingredientes fuentes de proteína.

Los carbohidratos para rumiantes son importantes puesto que son su principal fuente de energía (Fahey y Berger, 1993). En tuna y sus componentes pulpa y cáscara se presentó una alta cantidad de carbohidratos no fibrosos; carbohidratos de rápida fermentación en el rumen, como se observó para la fracción de rápida fermentación que fue superior a la de mediana y lenta fermentación. Por su parte el contenido de FDN en la tuna y sus componentes fue baja, similar a la reportada para cladodios de nopal, por lo que debe ir acompañada de alguna fuente de fibra para evitar problemas de diarreas y disminución del consumo como lo reportó Vieira *et al.* (2008).

4.5. Conclusión

El aporte nutricional en los componentes entre cultivares fue variable, el cultivar Cristalina obtuvo los mejores contenidos de PC, EE y FDN, mientras que el cultivar Roja San Martín presentó el mayor contenido de carbohidratos totales, no fibrosos y fracción de fermentación total. Los frutos completos de tuna o sus componentes pulpa y cáscara pueden ser incluidas en la ración de animales cuando vayan acompañados de otras fuentes de fibra y nitrógeno.

4.6. Agradecimientos

Al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo brindado para la realización de los estudios de doctorado de la primera autora, al CONACYT por el financiamiento y a la Agointegradora Poblana de Tuna y Nopal S.A de C.V. por el material donado para la investigación.

4.7. Literatura citada

- Abidi, S., H. Ben Salem., V. Vasta, and A. Priolo. 2009. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research* 87: 9-16.
- Anaya-Pérez. M. A. y R. Bautista-Zane. 2008. El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5(2): 167-183.
- Anrique G. R., y C. Dossow C. 2003. Efectos de la pulpa de manzana ensilada en la ración de vacas lecheras sobre el consumo, la tasa de sustitución y la producción de leche. *Archivo de Medicina Veterinaria* 35: 13-22.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th. ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC. 2000 p.
- Aranda, O., G., C. A. Flores V., L. A. Miranda R. y M. Cruz M. 2009. El nopal como forraje. *Revista Extensión al Campo*. Universidad Autónoma Chapingo. pp 23-27.
- Batista, A. M., A. F. Mustafa, T. McAllister, Y. Wang, H. Soita, and J. J. McKinnon. 2003. Effect of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 440-445.
- Batista, A. M., A. C. Ribeironeto, R. B. Lucena, D. C. Santos, J. B. Dubeux Jr., and A. F. Mustafa. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology and Management* 62:297-301.
- Ben Salem, H., A. Nefzaoui, H. Abdouli, and E. R. Ørskov. 1996. Effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* var. *inermis*) on intake and digestion by sheep fed straw-based diets. *Animal Science* 62: 293–299.
- Callejas-Juárez N., J. A. Matus-Gardea, J. A. García-Salazar, M. A. Martínez-Damián, J. M. Salas-González. 2009. Present situation and market perspectives for prickly pear, nopalito and derivates in the state of México, 2006. *Agrociencia* 43: 73-82.

- Chiteva R., y N. Wairagu. 2013. Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus-indica* (L). African Journal of Biotechnology 12(21): 3309-3312.
- Cobos, M. A., and M. T. Yokoyama. 1995. *Clostridium paraputrificum* var *ruminantum*: colonization and degradation of shrimp carapaces *in vitro* observed by scanning electron microscopy. In: Rumen Ecology Research Planning. Wallas, R. J., and A. Lahlou-Kassi (eds.). Proceedings of a Workshop, Addis Abeba, Ethiopia. International Livestock Research Institute. pp: 151-161.
- Corrales-García J., F. Esparza- Torres, D. Jiménez-Montoya, L. A. Miranda-Romero and M. R. García-Mateos. 2015. Quality and safety of wine made from intact and peeled fruits of cactus pear (*Opuntia* spp.). Acta Horticulturae 1067:103-110.
- De Waal, H. O., D. C. Zeeman, and J. W. Combrinck. 2006. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. South African Journal of Animal Science 36:10-13.
- De Waal, H. O., and H. J. Fouche. 2015. Preserving mashed cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit with wheat straw, maize hay or Lucerne Hay. In: Proceedings VIII International Congress on Cactus Pear and Cochineal. Inglese P., I. Chessa, and G. Liguori. (eds). Acta Horticulturae 1067: 167-172.
- Díaz, M. E. M., E. M. Rodríguez R., and C. Díaz R. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. Food Chemistry 103: 38-45.
- El Kossori, R. L., C. Villaume, E. El Boustani, Yves Sauvaire, and L. Mejean. 1998. Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus-indica* sp.) Plants Foods for Human Nutrition 52: 263-270.
- Fahey, G. C., y L. L. Berger. 1993. Los carbohidratos en la nutrición de los rumiantes. In: El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición. Church, D. C. (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp 305-337.
- Flores-Valdez C., J. De Luna-Esquivel, P. Ramírez-Moreno. 1995. Mercado mundial de la tuna. ASERCA-CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Fuentes-Rodríguez, J. 1997. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in Northern Mexico. I. Goats. Journal of the Professional Association for Cactus Development 2:23-25.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4 ed. México Distrito Federal. 217 p.
- Gebremariam, T., S. Melaku., and A. Yami. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body

- weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Animal Feed Science and Technology* 131: 42-51.
- Higareda, R. A. 1994. Industrialización integral del nopal y de la tuna; algunas alternativas para su transformación y conservación. *In: Memorias sobre aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en zacatecas*. Esparza F. G., y S. J. Méndez G. (eds). Morelos, Zacatecas. México. pp 83-86.
- Hernández M., A. Chávez, y H. Burges. 1987. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos. Tablas de uso práctico. Instituto Nacional de Nutrición. México. 34 p.
- Luttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany* 93: 629-652.
- Menke, K. H., and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development* 28: 7-55.
- Miranda-Romero L. A., L. Sandoval-González, R. Améndola-Massiotti. 2015. Producción de gas como método para estimar in vitro la concentración de carbohidratos fermentables en rumen. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile, 9 al 13 de noviembre de 2015. p 474.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh revised edition. National Academies Press, Washington, D.C. 408 p.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academies Press, Washington, D.C. 246 p.
- Ortíz-Heredia M., L. Miranda-Romero, A. Lara-Bueno, P. Martínez-Hernández, C. Sánchez del Real, G. Aranda-Osorio. 2013. Comportamiento productivo de corderos con dietas de harina de nopal y ensilado nopal-tuna. Memorias, XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C. Mayo 22 al 24, Villahermosa, Tabasco. 445-448 p.
- Pitt, R., E., T. L. Cross, A. N. Pell, P. Shofield, and P. H. Doane. 1999. Use of *in vitro* gas production models in ruminal kinetics. *Mathematical Biosciences* 159: 145-163.
- Rodríguez F., H., M. A. López J., J. Rodríguez A., y G. Jiménez G. 2009. Cultivo Orgánico del Nopal. Trillas. México. 68 p.
- Sawaya, W. N., H. A. Khatchadourian, W. M. Safi y H. M. Al-Muhamed. 1983. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and

manufacturing of prickly pear jam. Journal of Food and Technology 18: 183-193.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2015. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> .
- Sniffen, C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox, and J. B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. Journal of Animal Science 70: 3562-3577.
- Tegegne, F., C. Kijora, and K. J. Peters. 2007. Study on the level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. Small Ruminant Research 72: 157-164.
- Theodorou, M., K., B. A. Williams, M. S. Dhanoa, A. B. McAllan, and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Feed Science and Technology 48: 185-197.
- Van Soest, P., J., B. Robertson J., A. Lewis B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74: 3583-3597.
- Vazquez-Mendoza P., L. A. Miranda-Romero, G. Aranda-Orsorio, J. Burgueño-Ferreira, O. V. Vazquez-Mendoza. 2015. Contenido nutrimental, digestibilidad y fermentación *in vitro* de ensilados de nopal como alimento para rumiantes. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile, 9 al 13 de noviembre de 2015. p 314.
- Vieira, E. L., A. M. V. Batista, A. Guim, F. F. R. Carvalho, A. C. Nascimento, R. F. S. Araújo, and A. F. Mustafa. 2008. Effects of hay inclusion on intake, in vivo nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. Animal Feed Science and Technology 141: 199–208.

5. CONTENIDO DE NUTRIENTES, FERMENTACIÓN *IN VITRO* Y CONSUMO DE ENSILADOS DE NOPAL Y NOPAL-TUNA POR OVINOS

Paulina Vazquez Mendoza¹, Luis Alberto Miranda Romero¹, Gilberto Aranda
Osorio¹, Juan Andrés Burgueño Ferreira²

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. CP 56230.
Chapingo, Estado de México, México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán. CP 56237
Texcoco, Estado de México, México.

CONTENIDO DE NUTRIENTES, FERMENTACIÓN *IN VITRO* Y CONSUMO DE ENSILADOS DE NOPAL Y NOPAL-TUNA POR OVINOS

Paulina Vazquez Mendoza¹, Luis Alberto Miranda Romero¹, Gilberto Aranda Osorio¹, Juan Andrés Burgueño Ferreira²

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Chapingo Estado de México, México

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán. CP 56237 Texcoco, Estado de México, México.

5.1. Resumen

Se determinó el valor nutritivo del ensilado de nopal y ensilado de nopal-tuna en dietas para ovinos, para lo cual se cuantificó el contenido de nutrientes, la fermentación *in vitro* y consumo voluntario por ovinos, de cuatro dietas balanceadas: sin ensilado (SE), con ensilado de maíz (EMZ), con ensilado de nopal (EN) o con ensilado de nopal-tuna (ENT). Se utilizaron ocho ovinos (Rambouillet/criollo) de 23 ± 3 kg de peso vivo, distribuidos al azar a una de las dietas. El EN se compuso de 74 % de cladodios, 19 % de rastrojo de maíz y 7 % de melaza; en tanto que el ENT estuvo compuesto de 44 % de cladodios, 30 % de tunas, 23 % de rastrojo de maíz y 3 % de melaza. Los ensilados EN y ENT tuvieron mayor ($P < 0.05$) cantidad de materia seca (3 % más) respecto al EMZ, mientras que el EMZ presentó el mayor ($P < 0.05$) contenido de proteína y digestibilidad (80 g kg^{-1} MS y 60 % vs 50 g kg^{-1} MS y 50 %) respecto al EN y ENT; sin embargo, las dietas con EN y ENT presentaron mayor ($P < 0.05$) contenido de PC (160 g kg^{-1} MS) al encontrado para las dietas SE y con EMZ (150 g kg^{-1} MS). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de la dieta SE fue superior a las demás dietas; aunque no se presentaron diferencias en el consumo de materia seca de las dietas, ni en la digestibilidad aparente de la MS y FDA. La digestibilidad de FDN fue mayor en las dietas que contenían ensilados. Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que el contenido de nutrientes y fermentación ruminal *in vitro* en ENT y EN fue similar al EMZ a excepción del contenido de PC. En dietas SE, con EMZ, EN y ENT el contenido de nutrientes, la fermentación, consumo y digestibilidad aparente de la MS fue similares, lo que implica que la inclusión de ensilados de nopal en dietas para ovinos, tiene potencial como ingrediente alimenticio para la producción de ovinos.

Palabras clave: *Opuntia* spp., tuna, producción de gas, digestibilidad aparente, ovinos

5.2. Introducción

El nopal (*Opuntia* sp.) es una cactácea de importancia forrajera en regiones adversas (Fuentes-Rodríguez, 1997; Luttge, 2004), se cultiva en Argelia, Túnez, India, España, Italia, México, Argentina y Brasil (Granados y Castañeda, 1996). En algunos países como Italia el nopal se destina mayormente a la producción de tuna para consumo humano; mientras que en otros como Brasil la producción es únicamente para forraje. En México, el cultivo intensivo del nopal se enfoca a la producción de cladodios tiernos y tuna para consumo humano y existen pocas plantaciones para uso forrajero. Se estima que en México se producen al año 600 mil toneladas de cladodio tierno de nopal (Anaya-Pérez y Bautista-Zane, 2008) y de 568 mil toneladas de tuna (SIAP, 2015); en 27 estados del país, donde los sistemas de producción son intensivos y, la poda de cladodios maduros es una práctica de manejo común que se realiza con la finalidad de mantener joven la planta, estimular la producción de renuevos o con fines sanitarios (Granados y Castañeda, 1996). La poda genera cantidades variables de cladodios de nopal maduro de desecho que podrían representar una fuente de contaminación, de plagas y de enfermedades (CONAZA, 1994), sumando a ello la tuna que no logra ser comercializada. La utilización de estos residuos en la alimentación animal (Ortiz-Heredia *et al.*, 2013; Vazquez-Mendoza *et al.*, 2015) puede ser una alternativa alimenticia para la producción de rumiantes y para reducir el impacto ambiental que se genera sin un tratamiento adecuado; sin embargo, su contenido de humedad cercano al 90 % (Granados y Castañeda, 1993), hace de los cladodios y tuna un material altamente perecedero, el cual puede ser conservado a través del proceso de ensilaje (Hiriart, 2008). Algunos cultivares de nopal son espinosos, no obstante la fermentación y la producción de ácidos durante el ensilaje las suaviza (Fuentes, 1997) y no representan un problema para que el ganado pueda consumirlo. Respecto a la composición de ensilados, Çürek y Özen (2004) reportaron 20 % de materia seca y 2.1 % de proteína cruda en ensilados de cladodios jóvenes y viejos premarchitos de *Opuntia ficus-indica*, pero no existe resultados respecto al aporte de nutrientes, digestibilidad, parámetros de fermentación ruminal *in vitro* y consumo de ensilados de nopal,

por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido de nutrientes, fermentación *in vitro* y consumo de ensilados de nopal y nopal-tuna por ovinos para generar información que permita la utilización de ensilados de nopal.

5.3. Material y Métodos

5.3.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el Módulo de Pastoreo para Producción de Leche, el Módulo de Ovinos de la Granja Experimental y el Laboratorio de Microbiología Pecuaria de la Universidad Autónoma Chapingo, localizados entre las coordenadas 19° 29' latitud norte, 98° 54' longitud oeste, y a 2,240 msnm, con una temperatura media anual de 15.9 °C y una precipitación media anual de 645 mm (García, 1988).

5.3.2. Tratamientos

Consistieron en cuatro dietas isoproteicas (15 % PC) e isoenergéticas (2.7 Mcal EM; Cuadro 1); la dieta testigo (SE) fue formulada con ingredientes convencionales sin incluir ensilado, las tres dietas restantes contuvieron 25 % de ensilado de maíz (EMZ), 23 % de ensilado de nopal (EN), o 20 % de ensilado de nopal-tuna (DENT) para cubrir los requerimientos de ovinos en engorda con una ganancia diaria esperada de 300 g d⁻¹, de acuerdo a NRC (2007). Como referencia se utilizó ensilado de maíz (EMZ), realizado previamente y obtenido en un silo tipo trinchera de 90 t. Para el ensilado de nopal (EN) y el ensilado de nopal-tuna (ENT) se cosecharon cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Rojo Vigor) de dos y tres años de edad, y tunas (*Opuntia ficus indica* cv. Cristalina) maduras, de la nopalera Facundo Barrientos de la Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 1. Composición de dietas formuladas sin (SE) o con la inclusión de ensilado de maíz (EMZ), ensilado de nopal (EN) o ensilado de nopal-tuna (ENT) para ovinos

Ingrediente (%)	Dieta			
	SE	EMZ	EN	ENT
Rastrojo o paja	20.0	-	-	-
Ensilado de maíz	-	25.0	-	-
Ensilado de nopal-tuna	-	-	-	20.2
Ensilado de nopal	-	-	23.4	-
Maíz molido	15.0	15.0	15.0	16.7
Pasta de soya	16.3	12.3	14.6	13.2
Sorgo en grano	38.3	30.1	37.0	40.0
Salvado de trigo	-	7.6	-	-
Melaza de caña	6.0	6.0	6.0	6.0
Grasa de sobrepaso*	1.6	0.2	0.2	0.2
Minerales**	2.3	3.3	3.3	3.2
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5
Aporte nutrimental†				
MS %	88.6	73.9	74.7	76.5
PC %	15.0	15.0	15.0	15.0
EM (Mcal/kg)	2.7	2.7	2.7	2.7
FDN %	23.5	23.9	20.5	20.4
Relacion Ca/P	2.5	2.0	2.4	2.4

*By Fat: grasa bruta, 84 %; cenizas, 16 %; calcio, 9 %.

**Vitalis ovino plus: calcio, 24 %; fósforo, 3 %; magnesio, 2 %; sodio, 8 %; cloro, 12 %; potasio, 0.5 %; azufre, 0.5 %; antioxidante, 0.5 %; lasolacida, 2000 ppm; cromo, 5 ppm; manganeso, 4000 ppm; hierro, 2,000 ppm; cinc, 5,000 ppm; yodo, 100 ppm; selenio, 30 ppm; cobalto, 60 ppm; vit. A, 500, 000 UI; vit. D, 150, 000 UI; vit. E, 1, 000 UI.

† Calculado de valores tabulares del NRC (2007).

El EN se compuso de 74 % de cladodio, 19 % de rastrojo de maíz y 7% de melaza; en tanto que el ENT estuvo compuesto de 44 % de cladodios, 30 % de tuna, 23 % de rastrojo de maíz y 3 % de melaza. Las proporciones de ingredientes se definieron de acuerdo a determinaciones previas de laboratorio para obtener 300 y 80 g de materia seca y carbohidratos solubles por kg de materia seca a ensilar (Hiriart, 2008). Los cladodios se picaron (≤ 3 cm) con una picadora (PD 65 Boomeri®) y se mezclaron con el rastrojo de maíz picado (≤ 1 cm) y la melaza; posteriormente, el material se ensiló y compacto por triplicado en contenedores

de plástico de 200 litros de capacidad. Una vez llenos y cerrados herméticamente con fleje los contenedores, se midió la densidad a partir del volumen de los contenedores (52 cm de diámetro y 95 cm de altura) y el peso del material compactado, buscando obtener una densidad mínima de 600 kg m³.

El proceso de ensilaje se mantuvo por 120 días en los EN y ENT únicamente ya que el EMZ que se utilizó como referencia tenía 135 días de ensilado. En los EN y ENT se tomaron tres submuestras por contenedor durante su llenado (D₀) y a la apertura al final del ensilaje (D₁₂₀), para determinarles el pH con un potenciómetro (PH212, Hanna Instruments®) (Cherney y Cherney, 2003), el contenido de carbohidratos solubles (Dubois *et al.*, 1956), nitrógeno amoniacal (McCullough, 1967) y ácido láctico (Taylor, 1996).

La materia seca (MS) se determinó por desecación en estufa a 80°C, y la pérdida de compuestos volátiles se corrigió mediante la ecuación % MSC= 3.96 + 0.94MSE (CSIRO, 2007) para muestras de 120 días de ensilaje (D₁₂₀); dónde MSC es el porcentaje de materia seca corregida y MSE es el contenido de materia seca obtenida por secado en estufa a 80 °C.

A las muestras de ensilados y dietas con la inclusión de ensilados, se les determinó su contenido de proteína cruda (AOAC, 1990), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA; Van Soest *et al.*, 1991), al igual que la fermentación y degradación *in vitro* (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994).

5.3.3. Manejo alimenticio de ovinos

Se utilizaron ocho ovinos machos de la craza Rambouillet/criollo de 23 ± 3 kg de peso vivo, los cuales fueron alojados en corraletas individuales (2.5 x 1.5 m) equipadas con comederos y bebederos automáticos. Al inicio del experimento fueron identificados, desparasitados (Ivermectina y Clorsulom 1 mL/25 kg PV; Iverfull F®) y vitaminados (vitamina A, D, y E 1 mL/animal; Vigantol ADE®). El periodo de alimentación tuvo una duración de 60 días, dividido en cuatro periodos de 15 días. En el primer período los ovinos fueron asignados al azar a una de las

cuatro dietas experimentales (dos ovinos por dieta); los primeros 12 días fueron para adaptación a la dieta y en los tres días restantes se realizaron los muestreos de alimento ofrecido, alimento rechazado y heces excretadas por día, estas últimas fueron colectadas en arneses y pesadas en fresco; una submuestra homogénea de heces se usó para los análisis químicos. En los siguientes tres períodos se rotaron las dietas a fin de que cada ovino recibiera las cuatro dietas en período distinto, el manejo en cada período fue el mismo. La cantidad de alimento ofrecido fue ajustado diariamente para permitir un rechazo aproximado del 10 %, y se ofreció dos veces al día: 50 % del alimento a las 8:00 y el otro 50 % a las 16:00 horas.

El consumo de alimento se estimó diariamente por diferencia de la materia seca del alimento ofrecido y la materia seca del alimento rechazado. A las muestras de dietas de cada período se les determinó el contenido de MS, cenizas (Ce), PC, EE (AOAC, 1990), y junto con las heces se determinó el contenido de FDN y FDA (Van Soest *et al.*, 1991), para estimar la digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), fibra detergente neutro, (DAFDN) y de fibra detergente ácido (DAFDA) de acuerdo con Church (1993).

Además, a las muestras de dietas, rechazos y heces por período se les determinó la cinética de fermentación y degradación de la materia seca *in vitro* (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994).

5.3.4. Fermentación y degradación *in vitro* de la materia seca

La fermentación de los sustratos (ensilados, dietas, rechazos y heces) se midió indirectamente por la técnica de producción de gas (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994). Se colocaron 500 mg de materia seca de sustrato en frascos de vidrio color ámbar de 125 mL de capacidad y simultáneamente se les adicionó 90 mL de inóculo ruminal y un flujo continuo de CO₂. Los frascos fueron tapados herméticamente con un tapón de goma y aro metálico, y se colocaron en baño maría a 39°C. La presión de gas de fermentación se midió con un manómetro (0 - 1 kg cm²; METRON® 51100) a las 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h de incubación. Las unidades de presión fueron

transformadas a volumen con el modelo de regresión $V \text{ (mL)} = [P \text{ (kg cm}^2) + 0.0495]/0.0185$, $R^2 = 0.98$ este modelo se obtuvo midiendo la presión generada por volúmenes conocidos de gas inyectados a los frascos en las mismas condiciones de manejo.

El inóculo ruminal fue preparado con una muestra de contenido ruminal de ovinos (obtenido por sonda), alimentados durante 15 días con las dietas correspondientes a cada uno de los tratamientos. Al momento del muestreo los ovinos estuvieron en ayuno por 12 h. El contenido ruminal de los ovinos de cada tratamiento se manejó por separado de la siguiente manera: se filtraron a través de cuatro capas de gasa y se mezclaron con una solución mineral reducida en una proporción 1:9 (v/v). La solución mineral estuvo compuesta de K_2HPO_4 (0.45 g L⁻¹), KH_2PO_4 (0.45 g L⁻¹), $(NH_4)_2SO_4$ (0.45 g L⁻¹), NaCl (0.90 g L⁻¹), $MgSO_4$ (0.18 g L⁻¹), $CaCl_2$ (0.12 g L⁻¹), Na_2CO_3 (4 g L⁻¹) y solución reductora (20 mL L⁻¹). Cada 100 mL de solución reductora estuvo compuesta de NaOH (0.8 mL L⁻¹), Na_2S (0.2 g L⁻¹), L-cisteína (0.2 g L⁻¹) y 1 gota de rezarzurina (Cobos and Yokoyama, 1995).

Con los valores de volumen (mL g⁻¹ de sustrato) se obtuvo el volumen fraccional de gas para los intervalos de 0 a 8 (V_{f0-8}), 8 a 24 (V_{f8-24}) y 24 a 48 (V_{f24-48}) horas de incubación; éstos valores fueron transformados a g kg⁻¹ de fracción de rápida (FR), media (FM) y lenta fermentación (FL), respectivamente, de acuerdo a los modelos $V_{f0-8} = 0.4266 * (\text{mg FR})$; $V_{f8-24} = 0.6152 * (\text{mg FM})$, y $V_{f24-72} = 0.3453 * (\text{mg FL})$ (Miranda-Romero *et al.*, 2015).

El volumen acumulado para cada tiempo de medición se usó para estimar el volumen máximo (V_m ; mL g⁻¹ MS), la tasa de producción de gas (S ; mL h⁻¹) y la fase lag (L ; h) de la producción de gas con el modelo $V_0 = V_m / (1 + e^{(2.4 * S * (T - L))})$ (Pitt *et al.*, 1999) y estos se analizaron datos con ayuda del paquete estadístico SAS (SAS 9.0; 2002).

El V_m de dietas ofrecidas, alimento rechazado y heces excretadas, se utilizaron para estimar la emisión potencial de gases de fermentación (EPGF; dL ovino⁻¹ día⁻¹), de acuerdo a la siguiente fórmula: $EPGF = [(PGo * Ao) - (PGr * Ar)] - PGh * H$;

donde PGo, PGr y PGh son el volumen máximo de gas (mL g^{-1}) producido por la fermentación *in vitro* del alimento ofrecido, alimento rechazado y heces excretadas, y Ao, Ar y H son la cantidad ($\text{g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$) de alimento ofrecido, alimento rechazado y heces excretadas.

5.3.5. Análisis estadístico

Las variables de composición química, fracciones de fermentación, digestibilidad y producción de gas de ensilados fueron analizados mediante un diseño completamente al azar, en tanto que en las variables de composición química de dietas, fracciones de fermentación, producción de gas e índice de emisión de gases de fermentación de dietas, rechazos y heces, así como el consumo y digestibilidades aparentes se utilizó un diseño cuadro latino 4 x 4 replicado. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

5.4. Resultados y Discusión

La densidad del material ensilado en promedio de los tres contenedores por tratamiento fue de 815.6 y 718.9 kg m^3 para el ENT y EN respectivamente, estos valores son cercanos a los recomendados por Johnson *et al.* (2001) para ensilados de maíz (750 kg m^3), densidades que aseguran un medio anaerobio donde los nutrientes son preservados. El contenido de MS fue mayor ($P < 0.05$) para el EN y ENT en comparación al EMZ (Cuadro 2), aunque cercanos a 30 % apropiado para reducir pérdidas de nutrientes por efluentes y lixiviados (McDonald, 1981). Tanto la densidad como el contenido de MS logrados en los ensilados son apropiados para un buen proceso de ensilaje.

Los valores de pH difirieron ($P < 0.05$) entre ensilados. El pH inicial para los ensilados de nopal y nopal-tuna fueron 5.5 y 5.6 (Cuadro 2), valor característico del nopal (Sáenz y Berger, 2006). A los 120 días de ensilaje, el ensilado de maíz tuvo el valor de pH más bajo (3.7; Cuadro 2) que el ensilado de nopal (4.6) o nopal-tuna (4.1), lo cual puede ser atribuido al alto contenido inicial de carbohidratos solubles en el maíz (McDonald *et al.*, 1991).

Cuadro 2. pH, materia seca (MS), proteína (PC), fibra (FDN), carbohidratos solubles (CS), ácido láctico (AL) y nitrógeno amoniacal (NH₃) de ensilados a cero y 120 días de ensilaje

Ensilado	Días de ensilaje	pH	MS g kg ⁻¹ MF	PC ----g kg ⁻¹ MS----	FDN	CS -----% MS-----	AL	NH ₃
EN	0	5.6 ^a	335.2 ^a	48.0 ^c	486.3 ^b	5.6 ^b	nd	nd
ENT	0	5.5 ^a	329.7 ^a	46.7 ^c	537.0 ^a	9.0 ^a	nd	nd
EMZ	120	3.7 ^d	284.7 ^b	82.1 ^a	538.1 ^a	1.3 ^c	8.0	1.3 ^a
EN	120	4.6 ^b	312.9 ^a	52.7 ^b	508.9 ^{ab}	1.1 ^c	7.7	1.0 ^b
ENT	120	4.1 ^c	317.4 ^a	58.9 ^b	537.3 ^a	1.2 ^c	8.0	0.9 ^b
EEM		0.04	5.8	0.9	10.6	0.3	0.4	0.03

EMZ= ensilado de maíz, EN= ensilado de nopal, ENT= ensilado de nopal-tuna, EEM= error estándar de la media, ^a, ^b, ^c. Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes (P<0.05), nd= no determinado.

El valor de pH reportado para maíces híbridos por Araújo *et al.* (2012) fue similar al encontrado en esta investigación. El ensilado de nopal-tuna mostró un pH menor que el ensilado de nopal, lo cual puede estar relacionado con la inclusión de tuna la cual aporte una cantidad extra de carbohidratos solubles (Cuadro 2). Çürek y Özen (2004) reportaron valores de pH menores para ensilados de cladodios viejos premarchitos. Valores de pH entre 3.8 y 5.0 para forrajes ensilados, es indicativo de la proliferación de bacterias ácido lácticas y por tanto ácido láctico, los cuales favorecen la preservación del forraje e inhiben algunos microorganismos indeseables (Díaz-Plascencia *et al.*, 2012; Garcés *et al.*, 2011). El contenido de ácido láctico para los tres ensilados fue similar (P>0.05; Cuadro 2), pero el pH en los ensilados de nopal y nopal-tuna fue más alto, lo que implica que éstos ensilados, tienen un mayor efecto tampón que el ensilado de maíz, posiblemente debido al tipo de fibra (Miranda-Romero *et al.*, 2004).

Respecto a los compuestos nitrogenados (PC y NH₄; Cuadro 2), el amonio fue mayor (P<0.05) en el ensilado de maíz que en los ensilados de nopal y nopal-tuna. Améndola y Topete (2013) reportaron contenidos de amonio menores en el ensilado de maíz. Pese a que el NH₄ se asocia a una mayor proteólisis, en el caso del ensilado de maíz, el contenido de PC fue mayor respecto a los ensilados que incluyeron nopal. La PC en éstos ensilados a los 120 días de ensilaje, se concentró (P<0.05) respecto a los mismo pero de cero días de ensilaje (Cuadro

2), lo cual debe estar asociado al consumo de carbohidratos solubles por parte de las bacterias fermentativas.

Respecto a las fracciones fermentables FR, FM y FL (Cuadro 3), éstas se asocian mayormente, pero no exclusivamente, a la fermentación de carbohidratos solubles, de reserva y estructurales respectivamente. De acuerdo con esto, se observó que tales fracciones fueron similares ($P>0.05$) entre los ensilados (Cuadro 3), pero la sumatoria de las tres fracciones considerada como la fracción total fermentable (FT) así como la D/VMS, fue mayor ($P<0.05$) para el ensilado de maíz, debido posiblemente, al mayor contenido de almidón y fibra digestible asociados a FM y FL; así como a una mayor proporción de PC (Cuadro 2).

Cuadro 3. Fracciones de fermentación rápida (FR), media (FM), lenta (FL), total (FT), volumen máximo (Vm), tasa de producción de gas (S) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (D/VMS) de ensilados de 120 días

Ensilado	FR	FM	FL	FT	Vm	S	D/VMS
	-----%-----				mL g ⁻¹ MS	mL h ⁻¹	%
EMZ	17.5	16.6	25.8	60.1 ^a	225.0	0.0215 ^{ab}	60.5 ^a
EN	15.8	11.2	21.0	48.1 ^b	231.6	0.0203 ^b	52.3 ^b
ENT	16.1	11.1	22.4	49.7 ^{ab}	271.1	0.0242 ^a	54.8 ^b
EEM	0.5	1.4	1.5	2.7	13.0	0.0009	11.6

EMZ= ensilado de maíz, EN= ensilado de nopal, ENT= ensilado de nopal, Vm= volumen máximo, S=tasa de producción de gas, D/VMS=digestibilidad *in vitro* de la materia seca, EEM= error estándar de la media, ^{a,b,c}. Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

Las fracciones se estimaron por la técnica de producción de gas y usando como carbohidratos de referencia glucosa, almidón y celulosa como FR, FM y FL, con los modelos de regresión $Vf_{0-8}=0.4266*(\text{mg FR})$, $R^2=0.9441$; $Vf_{8-24}=0.06152*(\text{mg FM})$, $R^2=0.998$; y $Vf_{24-72}=0.3453*(\text{mg FL})$, $R^2=0.9653$. Dónde: Vf_{CS} , Vf_{CR} , Vf_{CE} , corresponden al volumen de gas producido en los periodos de 0-8, 8-24 y 24 a 72 h de incubación.

No hubo diferencias ($P>0.05$) en el Vm de gas generado por la fermentación de los ensilados (Cuadro 3). La tasa de producción de gas (S) fue mayor ($P<0.05$) para el ensilado de maíz y de nopal-tuna (0.02 h⁻¹) respecto a que incluyó sólo nopal, lo cual se atribuyó a un mayor contenido de carbohidratos solubles (Cuadro 2) y mayor fracción total fermentable (Cuadro 3).

Respecto a las dietas usadas en la prueba *in vivo* con ovinos, la dieta testigo (SE) tuvo mayor ($P<0.05$) contenido de materia seca, debido a la humedad que aportan los ensilados en las otras tres dietas (Cuadro 4). Las dietas que incluían ensilado de nopal o de nopal-tuna, tuvieron mayor contenido de cenizas lo cual se atribuyó a la inclusión del nopal, pues se conoce este ingrediente contiene una alta cantidad de cenizas (26 % de la MS; Azócar, 2002), de hecho la inclusión de ensilado de nopal-tuna en la dieta, disminuyó el contenido de cenizas ($P<0.05$), comparado con la dieta con ensilado de nopal, debido a que las cenizas son menores en la tuna (4 % de la MS; Chiteva y Wairagu, 2013).

Cuadro 4. Materia seca (MS), ceniza (Ce), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra y ácida (FDN, FDA) de dietas con la inclusión de ensilados para ovinos

Dieta	MS	Ce	EE	PC	FDN	FDA
	g kg ⁻¹ ABH		-----g kg ⁻¹ MS-----			
SE	928.3 ^a	90.4 ^c	32.6	156.9 ^{ab}	292.4 ^{ab}	164.9 ^{ab}
EMZ	761.2 ^d	108.5 ^{bc}	28.2	151.6 ^b	302.3 ^a	214.9 ^a
EN	777.6 ^c	156.7 ^a	35.0	161.2 ^a	250.9 ^b	124.2 ^{bc}
ENT	798.7 ^b	130.4 ^b	27.7	160.2 ^a	331.4 ^a	111.2 ^c
EEM	3.6	5.7	3.9	2.1	11.9	12.5

SE= dieta sin ensilado, EMZ= dieta con ensilado de maíz ENT= dieta con ensilado de nopal-tuna, EN= dieta con ensilado de nopal, ABH= Alimento ofrecido base tal cual, EEM= error estándar de la media, ^{a,b,c}. Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes ($P<0.05$)

El extracto etéreo varió de 27.7 a 35.0 g kg⁻¹ MS sin ser diferente ($P>0.05$) entre dietas (Cuadro 4). Las dietas se formularon para ser isoproteicas (15 % PC), lo cual se logró para las dietas sin ensilado o con ensilado de maíz (Cuadro 4), pero para las dietas con EN o ENT la proteína fue mayor (16 %; $P<0.05$). Lo anterior se atribuyó a que durante el ensilaje la PC se concentró en estos dos ensilados (Cuadro 2) posiblemente a causa del consumo de carbohidratos solubles por parte de las bacterias fermentativas. El ensilado de maíz o el de nopal-tuna, aportaron mayor cantidad de FDN ($P<0.05$) a la dieta (Cuadro 4), en comparación a la dieta que contuvo ensilado de nopal ($P<0.05$). Es posible que gran parte de la FDN en la dieta con ensilado de nopal-tuna, provenga de la pectina que contiene la cáscara de tuna (Mercado, 2004) y del mucílago del cladodio

(Goycoolea y Cárdenas, 2003), lo cual se vio reflejado en un menor contenido de FDA en las dietas con ensilados de nopal y nopal-tuna ($P<0.05$, Cuadro 4).

En el Cuadro 5 se presenta el porcentaje de las fracciones de fermentación rápida, media lenta y total, calculados a partir del volumen de gas producido de 0 a 8, 8 a 24 y 24 a 72 h de fermentación de las dietas, y la sumatoria de éstas (Miranda *et al.*, 2015).

Cuadro 5. Fracción de fermentación rápida, media, lenta y total, de alimento ofrecido (O), alimento rechazado (R) y heces (H) de ovinos alimentados con dietas incluyendo ensilados

Dieta	&Fracciones de fermentación											
	Rápida (%)			Media (%)			Lenta (%)			Total (%)		
	O	R	H	O	R	H	O	R	H	O	R	H
SE	17.3 ^c	13.2 ^b	9.2 ^b	21.3	13.7	0.4 ^b	29.2	23.4	8.2	67.9	50.3 ^b	17.7 ^b
EMZ	20.7 ^b	17.9 ^b	9.8 ^{ab}	25.2	15.6	3.3 ^a	28.8	21.4	11.4	74.7	54.9 ^b	24.5 ^a
EN	25.3 ^a	29.1 ^a	13.7 ^a	23.3	18.2	0.0 ^b	29.8	28.8	7.3	74.2	76.1 ^a	21.0 ^{ab}
ENT	19.2 ^{bc}	19.2 ^b	13.1 ^{ab}	20.5	16.3	3.7 ^a	26.2	19.7	7.2	67.3	55.3 ^b	24.0 ^a

a,b,c, Medias con literales distintas en la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

*SE= dieta sin ensilado, EMZ= dieta con ensilado de maíz, EN= dieta con ensilado de nopal, ENT= dieta con ensilado de nopal-tuna.

&Las fracciones se estimaron por la técnica de producción de gas y usando como carbohidratos de referencia glucosa, almidón y celulosa como FR, FM y FL, con los modelos de regresión $Vf_{0-8}=0.4266*(mg\ FR)$, $R^2=0.9441$; $Vf_{8-24}=0.06152*(mg\ FM)$, $R^2=0.998$; y $Vf_{24-72}=0.3453*(mg\ FL)$, $R^2=0.9653$. Dónde: Vf_{CS} , Vf_{CR} , Vf_{CE} , corresponden al volumen de gas producido en los periodos de 0-8, 8-24 y 24 a 72 h de incubación.

La fracción fermentable total en la dieta sin ensilado, ensilado de maíz o ensilado de nopal-tuna, fue menor en el alimento rechazado respecto al alimento ofrecido (Cuadro 5), como resultado de la selectividad de los ovinos para consumir el alimento más fermentable y rechazar el alimento de menor fermentación (Kyriazakis y Oldham, 1997), lo cual se relaciona con el contenido energético de la dieta (Distel y Villalba, 2007). La selectividad en la dieta sin ensilado o con ensilado de maíz, pudo estar determinada por las tres fracciones fermentables (FR, FM y FL) puesto que éstas siguen el mismo patrón entre el alimento ofrecido y rechazado que presentó la fracción fermentable total (Cuadro 5). En la dieta con

ENT la selectividad pudo estar relacionada solo con las fracciones de media y lenta fermentación, pero no con la fracción de rápida fermentación, ya que ésta fue similar para el alimento ofrecido y el rechazado (Cuadro 5).

Al comparar las fracciones fermentables del alimento ofrecido con el de las heces (Cuadro 5), se encontró una disminución entre 82 y 100 % de la fracción de fermentación media, asociada principalmente a polisacáridos de reserva. El almidón de sorgo y maíz tienen una degradación aparente en el tracto digestivo total de los rumiantes de 99 % (Fahey y Berger, 1993), similar a la encontrada para la fracción de fermentación media. La fracción de fermentación rápida asociada a la fermentación de carbohidratos solubles, mostró una desaparición menor, entre 60.4 y 75.5 %. Se esperaba que la disminución en la FR fuese mayor que en la FM; sin embargo, resultó lo contrario debido muy posiblemente al material contaminante proveniente de descamaciones del epitelio y la flora microbiana del intestino (Merchen, 1993). La fracción de fermentación lenta tuvo una desaparición aún menor ($P < 0.05$) entre 31.8 y 52.7 %.

Al comparar entre tratamientos, las fracciones fermentables (Cuadro 5) se encontró que la fracción de lenta fermentación fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos, tanto para el alimento ofrecido, rechazado o heces. La fracción de fermentación media solo fue diferente ($P < 0.05$) para heces, donde las excretas de ovinos alimentados con ensilado de maíz o ensilado de nopal tuna, tuvieron una cantidad mayor de esta fracción, en comparación a las heces de ovinos alimentados con la dieta sin ensilado o con ensilado de nopal. La fracción de fermentación rápida difirió ($P < 0.05$) en los tres sustratos de acuerdo a la dieta. Respecto al alimento ofrecido y rechazado, la dieta con ensilado de nopal tuvo una mayor ($P < 0.05$) fracción de fermentación rápida que las dietas con ensilado de maíz o con ensilado de nopal-tuna; mientras que la dieta testigo tuvo la menor proporción de esta fracción (Cuadro 5). En heces la tendencia fue similar a la mostrada para ofrecido y rechazado, pero como se comentó anteriormente, esta fracción en heces se atribuyó más a contaminación por descamación epitelial y microbiano (Merchen, 1993) que al residuo de la dieta ofrecida.

Respecto a consumo, digestibilidad aparente, degradación *in vitro* y desaparición de la fracción fermentable total (Cuadro 6), el EN y ENT no afectaron ($P>0.05$) la digestibilidad aparente de la MS y de la FDA, respecto a la dieta sin ensilado o con EMZ, pero sí la digestibilidad aparente de la FDN (Cuadro 6). La digestibilidad aparente de la FDN en la dieta sin ensilado fue menor ($P<0.05$) a la de la dieta con ensilado de nopal-tuna, mientras que las de la dieta con ensilado de nopal o ensilado de maíz, tuvieron una digestibilidad aparente de la FDN media (Cuadro 6). La diferencia en la digestibilidad aparente puede estar relacionada al tipo de polisacáridos (mucilago y la pectina) que componen a los ensilados de nopal y de nopal-tuna (Zenteno-Ramírez *et al.*, 2014), polisacáridos más fermentables que la celulosa (Fuente *et al.*, 2009). La digestibilidad aparente de la MS tuvo alta correlación ($R=0.975$) con la degradación *in vitro* de la MS, pero en esta última los valores fueron mayores (Cuadro 6).

Cuadro 6. Consumo, digestibilidad aparente, degradación *in vitro* y desaparición de la fracción total fermentable de dietas sin ensilado (SE) o con ensilado de maíz (EMZ), ensilado de nopal (EN) o ensilado de nopal-tuna (ENT)

Dieta	CMS kg día ⁻¹	DAMS	DAFDN	DAFDA	DFT	D/VMS
			-----%	-----		
SE	1.3	74.1	58.3 ^b	46.8	73.9	81.3 ^a
EMZ	0.7	67.2	66.8 ^{ab}	44.4	67.2	76.1 ^c
EN	1.1	70.1	68.4 ^{ab}	50.3	71.6	77.9 ^{bc}
ENT	0.9	72.9	73.2 ^a	48.9	64.3	79.3 ^{ab}
EEM	0.1	2.7	2.7	3.0	2.2	0.7

CMS= consumo de materia seca, DAMS= digestibilidad aparente de la materia seca, DAFDN= digestibilidad aparente de la fibra detergente neutro, DAFDA= digestibilidad aparente de la fibra detergente ácida, DFT=desaparición de la fracción total fermentable, DIVMS=digestibilidad *in vitro* de la materia seca, ^{a,b,c}. Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes ($P<0.05$). EEM= error estándar de la media.

Por otro lado, si se calcula la desaparición a partir de la fracción fermentable total de la dieta y las heces (Cuadro 5) se encuentra una similitud con la digestibilidad aparente de la MS para las dietas sin ensilado, con ensilado de maíz y, con ensilado de nopal ($R=0.9601$), pero no con la dieta que contiene ensilado de

nopal-tuna ($R=0.2687$), lo cual pudo deberse al contenido de pectina de la tuna (Mercado, 2004).

La Figura 1 muestra la cinética de producción de gas de fermentación *in vitro*. Como se aprecia el V_m representado por la asíntota de la curva, siguió la tendencia siguiente: $V_{m_{heces}} < V_{m_{rechazo}} < V_{m_{ofrecido}}$; excepto para la dieta con ensilado de nopal donde el V_m fue igual para el ofrecido y para el rechazo.

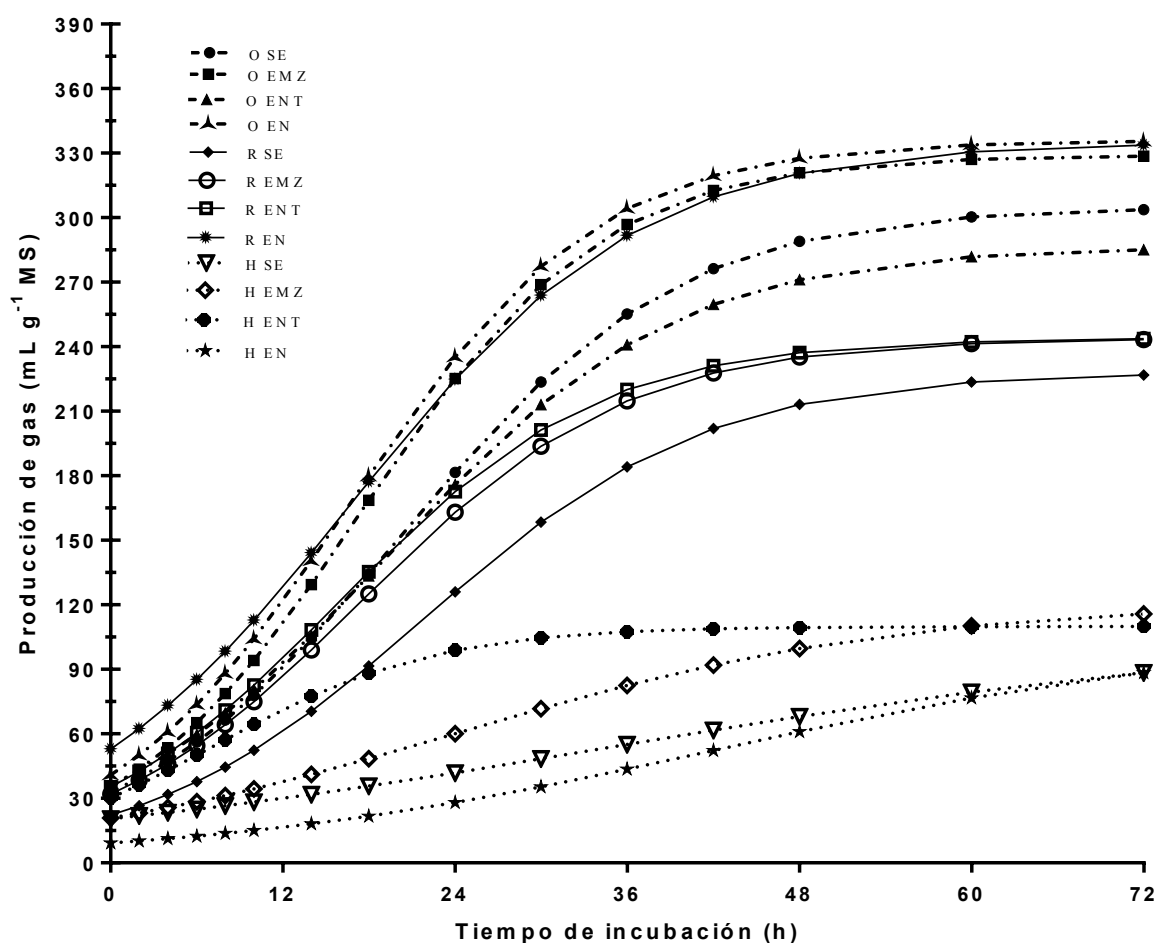


Figura 1. Cinética de producción de gas de fermentaciones *in vitro* de alimento ofrecido (O), alimento rechazado (R) y heces (H) excretadas por ovinos alimentadas con dieta sin ensilado (SE) o con ensilado de maíz (EMZ), ensilado de nopal (EN) o ensilado de nopal-tuna (ENT).

Como se comentó, una menor fermentación (mL g⁻¹ de gas) del rechazo en comparación al ofrecido implica un comportamiento selectivo de los ovinos por

consumir lo más fermentable de la dieta ofrecida, aspecto que se pierde con la inclusión de ensilado de nopal. Sin embargo, dentro de cada sustrato (alimento ofrecido, alimento rechazado, heces excretadas), el Vm fue igual ($P>0.05$) entre tratamientos, con excepción del rechazo de la dieta con ensilado de nopal que fue mayor ($P<0.05$) a los rechazos de las otras dietas.

Como resultado de la fermentación de carbohidratos estructurales y no estructurales por los microorganismos del rumen, se generan gases entre los que se encuentran principalmente CO_2 , CH_4 , y AGV (Beuvink y Spoelstra, 1992), estos últimos proporcionan de 70 a 80 % de las necesidades calóricas del animal hospedador (Fahey y Berger, 1993). Se considera que el volumen máximo de gas (Vm; mL g^{-1}) determina indirectamente el contenido potencial de energía del sustrato (López *et al.*, 2000). Este aspecto ha sido aplicado para estimar la EM de sustratos a partir de modelos matemáticos que incluyen la producción de gas *in vitro* (Williams, 2000). En el experimento de Chávez-Hernández y Martínez-Martínez (2014) y Miranda *et al.* (2015), se propuso utilizar la diferencia del Vm de gas producido del alimento ofrecido menos el de las heces para estimar la asimilación de la dieta *in vivo*. De acuerdo con esto, en el presente experimento la diferencia del Vm (mL g^{-1}) entre la dieta ofrecida y las heces excretadas por los ovinos alimentados con la dieta respectiva, obtenidos de los datos del Cuadro 7, es mayor para la dieta con ensilado de nopal (254.5 mL g^{-1}) seguido del ensilado de maíz (207.5 mL g^{-1}), sin ensilado (198.1 mL g^{-1}) y ensilado de nopal-tuna (170.8 mL g^{-1}). Esto implicaría que la dieta con ensilado de nopal fue asimilada mejor por los ovinos; sin embargo, debido a que se demostró selectividad por los ovinos, el Vm de la dieta ofrecida no representa el Vm de la dieta consumida, por lo que se decidió calcular un Índice de Emisión Potencial de Gases de Fermentación (IEPGF; Cuadro 7), donde se consideró la MS ofrecida, MS rechazada y MS excretada (heces) por día y por ovino.

No se presentaron diferencias ($P>0.05$) (cuadro 7) respecto al volumen de gas producido por la fermentación de los componentes del alimento, rechazos y heces, indicando que el comportamiento del animal respecto a las dietas fue similar independientemente de la dieta.

Cuadro 7. Volumen máximo (Vm) de gases *in vitro*, alimento ofrecido, alimento rechazado, heces excretadas e índice de emisión de gases de fermentación (IEGF), por ovinos alimentados con la dieta respectiva.

Dieta	Alimento Ofrecido		Alimento Rechazado		Heces		IEGF [†]
	Vm (mL g ⁻¹)	g día ⁻¹	Vm (mL g ⁻¹)	g día ⁻¹	Vm (mL g ⁻¹)	g día ⁻¹	dL ovino ⁻¹ día ⁻¹
SE	305.2	1289.0	228.3	19.7	107.1	336.1	35.3
EMZ	328.5	780.6	243.9	56.0	121.0	311.1	20.0
EN	360.0	1175.4	335.1	66.4	105.5	273.1	37.0
ENT	280.8	932.2	244.2	61.4	110.0	198.2	21.0
EEM	18.9	128.2	11.4	11.5	8.7	76.8	3.8

SE= dieta sin ensilado, EMZ= dieta con ensilado de maíz, EN= dieta con ensilado de nopal, ENT= dieta con ensilado de nopal-tuna, EEM= error estándar de la media. dL = decalitros.

[†]IEGF= (Vm*alimento consumido)-(Vm *alimento rechazado)-(Vm*heces).

5.5. Conclusiones

El contenido de nutrientes del EN y del ENT fue similar al encontrado en el EMZ, a excepción del contenido de PC y D/VMS. La inclusión de EMZ, EN y ENT en dietas balanceadas para ovinos no afectó el aporte de nutrientes ya que éste fue similar al obtenido en una dieta completa SE.

La fermentación ruminal *in vitro* y las FR, FM y FL en EMZ, EN y ENT así como en la dieta SE, con EMZ, EN y ENT fueron similares.

El gas generado por la fermentación de la dieta SE, con EMZ, EN y ENT, el rechazo correspondiente y las heces generadas por ovinos al consumirlas, podría ser una herramienta para determinar la asimilación real de una dieta y aplicarse en estudios *in vivo*.

El consumo y digestibilidad aparente de la materia seca de dieta con EMZ, EN y ENT fue similar al encontrado en una dieta SE, por lo que incluir EN y ENT en dietas balanceadas para ovinos es factible, ya que se esperarían comportamientos productivos comparables a los obtenidos con dietas sin ensilados, a reserva de realizar análisis económicos.

5.6. Literatura citada

- Améndola M., R. D., y P. Topete P. 2013. Ensilaje de Maíz. Universidad Autónoma Chapingo, México. 49 p.
- Anaya-Pérez, M. A., y R. Bautista-Zane. 2008. El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5(2): 167-183.
- Araújo, G. K., S. D. J. Villela, F. P. Leonel, P. M. Costa, L. O. Fernandes, W. P. Tamy y V. R. Andrade. 2012. Yield and quality of silage of maize hybrids. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41(6): 1539-1544.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th. ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC. 2000 p.
- Azócar, P. 2002. *Opuntia* use as feed for ruminants in Chile. *In: Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. Mondragon-Jacobo, C., and S. Perez-González. (eds). FAO Plant Protection and Production Paper 169, Rome, Italy. pp: 57–61.
- Beuvink, J. M., W., and S. F. Spoelstra. 1992. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 37: 505-509.
- Chávez-Hernández G., y L. Martínez-Martínez. 2014. Producción de gas in vitro como método para determinar la asimilación de dietas por corderos. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 55 p.
- Cherney, J. H., y D. J. R. Cherney. 2003. Assessing silage quality. *In: Silage Science and Technology*. Buxton D. R., R. E. Muck, and J. H. Harrison. (eds). Madison, Wisconsin, USA. pp 141-198.
- Chiteva R., y N. Wairagu. 2013. Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus-indica* (L). *African Journal of Biotechnology* 12(21): 3309-3312.
- Church, D. C. 1993. *El Rumiente: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 641 p.
- Cobos, M. A., and M. T. Yokoyama. 1995. *Clostridium paraputrificum* var *ruminantum*: colonization and degradation of shrimp carapaces *in vitro* observed by scanning electron microscopy. *In: Rumen Ecology Research Planning*. Wallas, R. J., and A. Lahlou-Kassi. (eds). Proceedings of a Workshop, Addis Abeba, Ethiopia. International Livestock Research Institute. pp: 151-161.

- CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas). 1994. Nopal tunero (*Opuntia* spp.), cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Saltillo, Coah. México. 61 p.
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 270 p.
- Díaz-Plascencia, D., C. Rodríguez-Muela, P. Mancillas-Flores, N. Ruíz-Holguín, S. Mena-Munguía, F. Salvador-Torres, y L. Duran-Meléndez. 2012. Fermentación *in vitro* de nopal forrajero con un inóculo de levadura *Kluyveromyces lactis* obtenida a partir de manzana de desecho. Revista Electrónica de Veterinaria 13: 1-11.
- Distel, R. A., y J. J. Villalba. 2007. Diversidad vegetal, selección de la dieta y producción animal. Revista Argentina de Producción Animal 27: 55-63.
- Dubois, M. K., A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28(3): 350-356.
- Fahey Jr., G. C. y L. L. Berger. 1993. Los carbohidratos en la nutrición de los rumiantes. *In*: El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición. Church, D. C. (ed). Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp 305-338.
- Fuente, G., A. Belanche, y M. Fondevila. 2009. Estudio *in vitro* de la fermentación ruminal de carbohidratos en cabra montés. Archivos de zootecnia 58: 357-362.
- Fuentes, R. J. 1997. El nopal: alternativa forrajera en las zonas áridas del norte de México. *In*: Memorias de VII Congreso Nacional y V Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. R. Vazquez A., C. Gallegos V., N. E. Treviño H., y Y. Díaz T. (eds). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L. México. pp 82-87.
- Fuentes-Rodríguez, J. 1997. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in Northern Mexico. I. Goats. Journal of the Professional Association for Cactus Development 2: 23-25.
- Garcés M., A. M., L. Berrio R., S. Ruiz A., J. G. Serna L. y A. F. Builes A. 2011. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación 1: 66-71.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4 ed. México Distrito Federal. 217 p.
- Goycoolea, F. M., y A. Cárdenas. 2003. Pectins from *Opuntia* spp.: A short review. Journal of the Professional Association for Cactus Development 5: 17-29.

- Granados S., D., y A. Castañeda P. 1996. El Nopal: Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Editorial Trillas. México. 227 p.
- Hiriart, L.M. 2008. Ensilados: Procesamiento y Calidad. 2ed. Editorial Trillas. México. 116 p.
- Johnson, L. M., J. H. Harrison, D. Davison, W. C. Mahanna, K. Schinners and D. Linders. 2001. Corn silage management: effect of maturity, inoculation and mechanical processing on pack density and aerobic stability. *Journal of Dairy Science* 85: 434-444.
- Kyriazakis, I., and J. D. Oldham. 1997. Food intake and diet selection in sheep: the effect of manipulating the rates of digestion of carbohydrates and protein of the foods offered as a choice. *British Journal of Nutrition* 77: 243-254.
- López S., J. Dijkstra and J. France. 2000. Prediction of energy supply in ruminants, with emphasis on forages. *In: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Givens, D. I., E. Owens, R. F. E. Axford and H. M. Omed (eds.). CABI publishing. pp 63-94.
- Luttge U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany* 93: 629-652.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clinica Chemical Acta* 17: 297-304.
- McDonald, P. 1981. The biochemistry of silage. Jhon Wiley. 128 p.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J.F.D Greenhalgh and C.A. Morgan. 1991. *Nutrición Animal*. 6ª ed. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España. 587 p.
- Menke, K. H., and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development* 28: 7-55.
- Mercado, E. 2004. Cultivos no tradicionales y su potencial de explotación como frutos mínimamente procesados, en México. *In: Memorias del Simposium Estado Actual del Mercado de Frutas y Vegetales Cortados en Iberoamérica*. San José de Costa Rica, Costa Rica. pp 101-113.
- Merchen N. R. 1993. Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. *In: El Rumiente: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Church, D. C. (ed). Editorial Acribia, Zaragoza España. pp 191-223.
- Miranda-Romero L. A., L. Sandoval-González, R. Améndola-Massiotti. 2015. Producción de gas como método para estimar *in vitro* la concentración de carbohidratos fermentables en rumen. *In: Memorias del XXIV Congreso de*

la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile, 9 al 13 de noviembre de 2015. p 474.

- Miranda R. L. A., G. Chávez H., L. Martínez M., C. Sánchez R., R. Améndola M. 2015. Asimilación de dietas por corderos estimada por la técnica de producción de gas *in vitro*. *In: Memorias del XXXIX Congreso Nacional e Internacional de Buiatría*. 30 y 31 de julio y 1° de agosto de 2015. Centro de Convenciones, Puebla, Puebla. p 295.
- Miranda-Romero L. A., J. M. Pinos-Rodríguez Juan M., G. Mendoza-Martínez, R. Bárcena-Gama, S. González-Muñoz, M. E. Ortega-Cerrilla. 2004. Capacidad buffer dietaria y tiempo de rumia de dietas para vacas lecheras con diferente nivel de fibra detergente neutro. *Veterinaria México* 35: 203-213.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National Academies Press, Washington, D.C. 362 p.
- Ortiz-Heredia M., L. Miranda-Romero, A. Lara-Bueno, P. Martínez-Hernández, C. Sánchez del Real, G. Aranda-Osorio. 2013. Comportamiento productivo de corderos con dietas de harina de nopal y ensilado nopal-tuna. *In: Memorias, XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria*, A. C. Mayo 22 al 24, Villahermosa, Tabasco. 445-448 p.
- Pitt, R., E., T. L. Cross, A. N. Pell, P. Shofield, and P. H. Doane. 1999. Use of *in vitro* gas production models in ruminal kinetics. *Mathematical Biosciences* 159: 145-163.
- Sáenz, C. and H. Berger. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 186 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2015. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultada el 05 de enero de 2016.
- Taylor, K. 1996. A simple colorimetric assay for muramic acid and lactic acid. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 56: 49-58.
- Theodorou, M., K., B. A. Williams, M. S. Dhanoa, A. B. McAllan, and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Feed Science and Technology* 48: 185-197.

- Van Soest, P., J., B. Robertson J., A. Lewis B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Vazquez-Mendoza P., L. A. Miranda-Romero, G. Aranda-Osorio, J. Burgueño-Ferreira, O. V. Vazquez-Mendoza. 2015. Contenido nutrimental, digestibilidad y fermentación in vitro de ensilados de nopal como alimento para rumiantes. *In: Memorias del XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal*. Puerto Varas, Chile, 9 al 13 de noviembre de 2015. p 314.
- Williams B. A. 2000. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. *In: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Givens D. I., E. Owen, H. M. Omed, and R. F. E. Axford. (eds). Wallingford (UK). CAB International. 475 p.
- Zenteno-Ramírez, G., B. I. Juárez-Flores, J. R. Aguirre-Rivera, M. D. Ortiz-Pérez, C. Zamora-Pedraza, y J. A. Rendón-Huerta. 2014. Evaluación de azúcares y fibra soluble en el jugo de variantes de tunas (*Opuntia* spp.). *Agrociencia* 48: 141-152.
- Çürek, M., and N. Özen. 2004. Feed value of cactus and cactus silage. *Turkey Journal of Veterinary Animal Science* 28: 633-639.

6. MORFOLOGÍA DE NOPAL FORRAJERO cv MIÚDA (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) EN SISTEMAS DE CULTIVO EN EL AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL

Paulina Vazquez Mendoza¹, Toni Carvalho de Souza², Mércia Virginia Ferreira dos Santos², Luis Alberto Miranda Romero^{1*}, José Carlos Batista Dubeux Júnior³, Mário de Andrade Lira², Ivan Ferraz⁴

¹Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, 56230, Texcoco, Estado de México, México.

²Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil.

³Assistant Professor University of Florida/UFL/NFREC. HWY 71, 32446, Marianna, FL, USA.

⁴ Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, Povoado Malhada de Pedra, Caruaru, 55100000, Pernambuco, Brasil.

Enviado a Agrociencia

MORFOLOGÍA DE NOPAL FORRAJERO cv MIÚDA (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) EN SISTEMAS DE CULTIVO EN EL AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL

Paulina Vazquez Mendoza¹, Toni Carvalho de Souza², Mércia Virginia Ferreira dos Santos², Luis Alberto Miranda Romero^{1*}, José Carlos Batista Dubeux Júnior³, Mário de Andrade Lira², Ivan Ferraz⁴

¹Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, 56230, Texcoco, Estado de México, México.

²Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil.

³Assistant Professor University of Florida/UFL/NFREC. HWY 71, 32446, Marianna, FL, USA.

⁴ Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, Povoado Malhada de Pedra, Caruaru, 55100000, Pernambuco, Brasil.

6.1. Resumen

Las características morfológicas de las plantas forrajeras presentan diferentes respuestas según el manejo que se les dé, el estudio de estas características se realiza debido a la relación que existe entre ellas y la producción de un cultivo. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica (0, 10, 20 y 30 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de estiércol bovino) o mineral (0, 120, 240 y 360 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ utilizando urea) y la frecuencia de recolección (anual y bianual) en la longitud, anchura, perímetro y el Índice del Área de Cladodio (IAC) del nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). El diseño experimental fue de bloques al azar, con el arreglo de parcelas sub-sub-divididas, y en cuatro repeticiones. La fertilización con 30 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de estiércol de bovino incrementó la anchura y longitud de cladodio del nopal de 9.8 a 17.8 % con respecto al tratamiento testigo. El perímetro de cladodio se incrementó proporcionalmente cuando se aumentó la fertilización orgánica. El IAC fue 68.29 % mayor (con 25.97 Mg ha⁻¹) respecto al tratamiento testigo. La fertilización mineral sólo afectó el perímetro de cladodio en la recolección anual con dosis de 120, 240 y 360 Mg ha⁻¹ y el IAC fue mayor en la recolección bianual. De ello se concluyó que la fertilización con urea tuvo poco impacto en las características morfológicas de los cladodios de nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) sin embargo, la fertilización con estiércol bovino incrementó la anchura, longitud e IAC. De igual manera, con la recolección bianual, este índice se incrementó.

Palabras clave: nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), Índice de Área de Cladodio (IAC), fertilización, frecuencia de recolección.

6.2. Introducción

La región nordeste de Brasil representa el 18.27 % del territorio nacional, del cual el 62.11 % es semiárido (Ministério da Integração Nacional, 2005). En esta región, la distribución anual de lluvias es irregular lo que ocasiona una fuerte escasez de forraje para la alimentación de rumiantes. El nopal (*Opuntia* sp. y *Nopalea* sp.) es una planta adaptada para desarrollarse en condiciones de escasez de agua, altas temperaturas y suelos pobres (Fuentes-Rodríguez, 1997; Luttge, 2004; De Waal *et al.*, 2006), por lo cual es una alternativa valiosa para alimentación de los animales, especialmente en el período de secas. *Opuntia ficus-indica* Mill y *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck son los dos géneros de nopal con mayor cultivo en el nordeste brasileño (Galvão Jr., 2014).

El género *Opuntia* produce mayor cantidad de materia verde que el género *Nopalea* (Santos *et al.*, 2006) sin embargo, cuando la producción se compara en términos de materia seca los resultados son similares. El nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) también conocido como nopal Dulce, tiene la ventaja de ser resistente a la grana cochinilla (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) (Vasconcelos *et al.*, 2009; Neves *et al.*, 2010). Esta característica, aunada a su contenido de PC de 6.2 %, FDN de 26 % y digestibilidad de 78 % (Batista *et al.*, 2003), lo hacen una planta con uso potencial para la alimentación del ganado, aunque su cultivo requiere una adecuada fertilidad del suelo.

La fertilización orgánica y mineral en cada corte es una práctica agrícola común en el manejo del cultivo del nopal, que se emplea para compensar la extracción de nutrientes del suelo por el cultivo y es una estrategia importante para aumentar la eficiencia de la producción de forraje (Dubeux Jr. *et al.*, 2010). Según Santos *et al.* (2006), la fertilización orgánica y mineral así como el espaciamiento adecuado, pueden aumentar hasta 100 % la producción de forraje.

Las características morfológicas del cladodio tienen una relación directa con el rendimiento en materia verde y seca del nopal (Neder *et al.*, 2013). Las variables usadas en estudios de ecofisiología de las plantas forrajeras muestran respuestas diferentes según el manejo de la planta. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral así como la

frecuencia de recolección de cladodios sobre las características morfológicas del nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) cultivado en el Agreste de Pernambuco, Brasil.

6.3. Material y Métodos

6.3.1. Sitio experimental

El experimento se realizó entre junio de 2011 y mayo de 2013, en la Estación Experimental del Instituto Agronómico de Pernambuco, municipio de Caruaru, en la región Agreste de Pernambuco, zona de transición entre la zona de mata atlántica y el semiárido. Esta región posee un suelo pedregoso, vegetación rala y de tamaño pequeño, y se ubica en el Nordeste de Brasil, a 8° 14' S y 35° 55' O, a una altitud de 575 msnm y en suelo Neossolo Regolítico. Durante el periodo del experimento, la precipitación en el lugar fue de 1068.3 mm y su variación durante este periodo se muestra en la Figura 1.

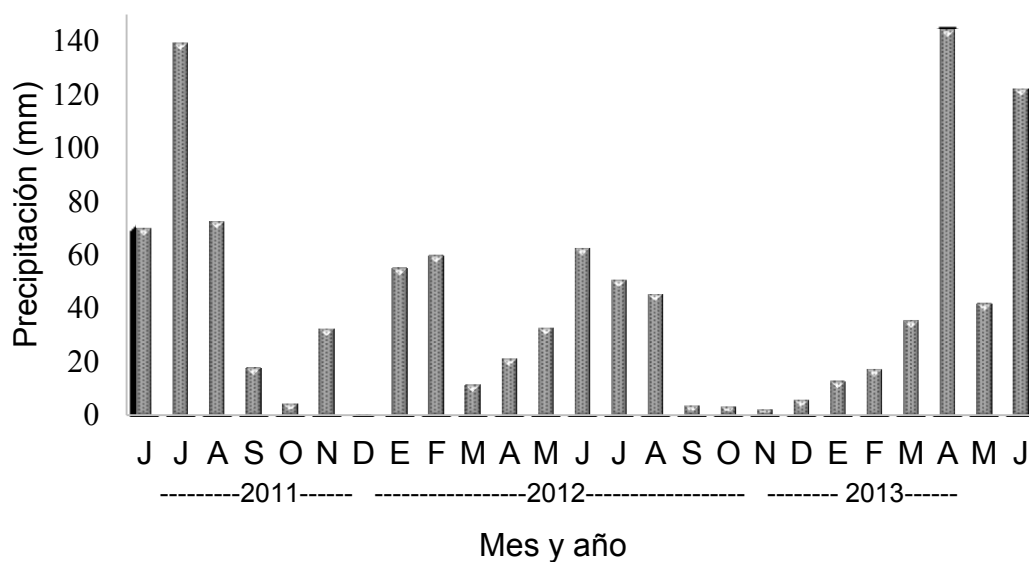


Figura 1. Precipitación (mm) mensual en Caruaru, Agreste de Pernambuco, de junio 2011 a junio 2013.

Para el experimento se tomaron muestras de suelo de entre cero y 20 cm de profundidad. Posteriormente, se determinaron sus características químicas

mediante el empleo del método de análisis de suelo de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas del suelo del área experimental en Caruaru, Agreste de Pernambuco, Brasil; antes de la fertilización.

Componente	Media	EEM ⁷	Componente	Media	EEM ^{¶¶}
pH (agua)	4.78	0.1	Sodio (mg dm ⁻³)	11.50	0.01
Fósforo (mg dm ⁻³) [†]	10.45	3.81	Aluminio (mg dm ⁻³)	17.98	0.03
Potasio (mg dm ⁻³)	74.29	0.04	Hidrógeno (mg dm ⁻³)	24.70	0.14
Calcio (mg dm ⁻³)	428.00	0.26	S.B. [¶] (cmolc dm ⁻³)	2.78	0.33
Magnesio (mg dm ⁻³)	48.62	0.05	CTC [§] (cmolc dm ⁻³)	5.46	0.38
Manganeso (mg dm ⁻³)	70.42	10.27	V ^p (%)	50.05	3.21
Zinc (mg dm ⁻³)	12.46	1.66	Carbono (%)	1.15	0.06
Fierro (mg dm ⁻³)	46.20	3.06	M ^² (%)	8.15	1.97
Cobre (mg dm ⁻³)	0.06	0.02	M.O. ^{††} (%)	1.97	0.10

[†]Mehlich 1; [¶]suma de bases; [§]capacidad de intercambio catiónico; ^p saturación por bases; ^² saturación por aluminio; ^{††}materia orgánica del suelo; ^{¶¶} error estándar de la media.

6.3.2. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en fertilización orgánica a 0, 10, 20 y 30 Mg de MO ha⁻¹ año⁻¹ de estiércol bovino; fertilización mineral a 0, 120, 240 y 360 kg N ha⁻¹ año⁻¹, con urea, y dos clases de frecuencia de recolección (anual y bianual). El diseño experimental fue de bloques al azar con un arreglo en parcelas sub-sub-divididas, con cuatro repeticiones. La parcela mayor (14.4×8.0 m) se utilizó para probar los niveles de materia orgánica; las subparcelas (7.2×8 m), para evaluar las frecuencias de recolección, y la sub-sub-parcela (14.4×2), para evaluar los niveles de nitrógeno mineral. La unidad experimental se formó por seis hileras de plantas. Las dos hileras laterales y tres plantas por extremo se consideraron como bordes. El área efectiva de muestreo fue 33.84 m². El arreglo experimental en campo se muestra en la Figura 2.

planta de nopal. En la estimación del IAC se consideraron ambos lados de los cladodios como indicaron Nobel y Bobich (2002).

Los datos se analizaron con el procedimiento MIXTO de SAS (SAS Institute, Inc., 2012; versión 9.3. La prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) se usó para el factor frecuencia de recolección, y contrastes ortogonales polinomiales ($p \leq 0.05$) para los factores: fertilización orgánica y nitrogenada. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + O_i + b_j + \varepsilon_{ij} + F_k + N_l + (OF)_{ik} + (ON)_{il} + (OF)_{kl} + (OFN)_{ikl} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = representa la respuesta media de la materia orgánica i , en el bloque j , frecuencia de recolección k y fertilización nitrogenada l ; μ = representa la media de la población; O_i = representa la fertilización orgánica; b_j = representa el bloque j ; ε_{ijk} = representa el error; F_k = representa el efecto de la frecuencia de recolección k ; N_l = representa el efecto de la fertilización nitrogenada l ; $(OF)_{ik}$ = representa el efecto de la interacción entre los factores de fertilización orgánica y frecuencia de recolección; $(ON)_{il}$ = representa el efecto de la interacción entre los factores fertilización orgánica y nitrogenada; $(FN)_{kl}$ = representa el efecto de la interacción entre los factores frecuencia de recolección y fertilización nitrogenada; $(OFN)_{ikl}$ = representa el efecto de la interacción entre los factores fertilización orgánica, frecuencia de recolección y fertilización nitrogenada.

6.4. Resultados y Discusión

La longitud, anchura y el IAC del nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) no mostraron efectos ($p > 0.05$) por la fertilización mineral debido, probablemente, a la irregularidad de la precipitación ocurrida durante el período experimental (Figura 1), lo cual afectaría la solubilidad de los nutrientes. Cunha *et al.* (2012) encontraron efectos similares con la fertilización mineral, en las características morfológicas y la producción de biomasa en nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera*) y lo atribuyeron al sistema radical, cuyo crecimiento responde a la precipitación pluvial, por lo que la distribución irregular de las lluvias

afecta la eficiencia de absorción de nitrógeno e incrementa la pérdida de nutrientes. Por otro lado, González (1989) observó un efecto positivo de la fertilización nitrogenada y fosfatada mineral, en la producción de *Opuntia lindheimeri* sólo después de dos años de establecido el plantío.

Por lo regular, la fertilización orgánica mejora el crecimiento y la producción de los cultivos (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). En éste experimento, la anchura y longitud de cladodio aumentaron proporcionalmente con la aplicación de estiércol ($R^2= 0.26$ y 0.47 ; $p \leq 0.001$), y alcanzaron un 9.8 y 17.8 % de incremento respecto al testigo ($p \leq 0.05$) cuando se fertilizó con $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 3).

Trejo-Escareño *et al.* (2014) encontraron que la longitud del cladodio de *Opuntia ficus-indica* cv Lisa forrajera aumentó gradualmente de acuerdo a la fertilización con estiércol bovino, en dosis de 0, 20, 40 y 60 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, durante tres años consecutivos. La longitud de cladodio en *Opuntia ficus-indica* cv Gigante, de 600 días de edad y con aplicación de $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de estiércol bovino incrementó sólo 8 % respecto al testigo (Donato *et al.*, 2014). Esto pudo deberse a la pobre cantidad de materia orgánica en el suelo donde se realizó el experimento con 14.7 g dm^{-3} .

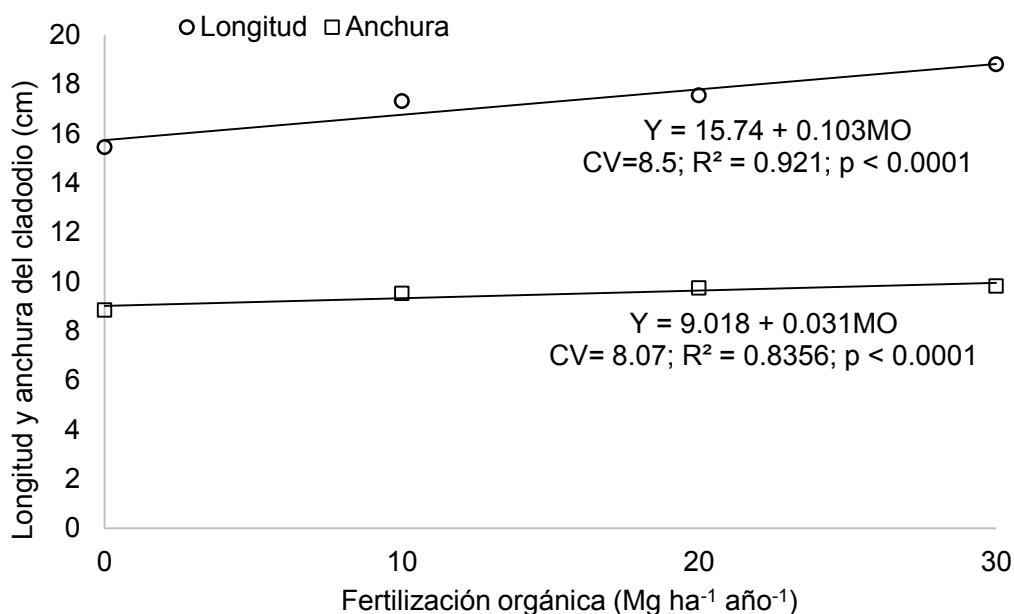


Figura 3. Longitud y anchura del cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) fertilizado con estiércol bovino (Agreste de Pernambuco, Brasil).

Respecto a la anchura de cladodio en *Opuntia ficus-indica*, Trejo-Escareño *et al.* (2014) no encontraron efecto de la fertilización con estiércol bovino ($p > 0.05$), en dosis de 0, 20, 40 y 60 Mg ha⁻¹. Por su parte, Silva (2012) consideró que la anchura es una característica morfológica determinada por la genética de la planta, cuando no se encontró efecto de la fertilización orgánica en esta característica morfológica para los cladodios del clon IPA-20.

La fertilización orgánica, mineral y la frecuencia de recolección anual afectaron el perímetro del cladodio ($p < 0.05$). Este incremento fue linealmente mayor ($p < 0.05$) conforme el nivel de materia orgánica aplicada al suelo. El incremento del perímetro de cladodio dependió de la interacción con la fertilización mineral y la frecuencia de recolección (Figura 4). El perímetro de cladodio se incrementó a una tasa de 0.339 cm t⁻¹ MO cuando se aplicaron 360 kg de N por ha⁻¹, y de 0.211 cm t⁻¹ MO con la aplicación de 120 kg de N por hectárea (Figura 4). Por otro lado, la tasa de incremento del perímetro de cladodio fue mayor cuando se realizó la recolección anual (0.211 cm t⁻¹ MO) con respecto a la bianual (0.0304 cm t⁻¹ MO) (Figura 4).

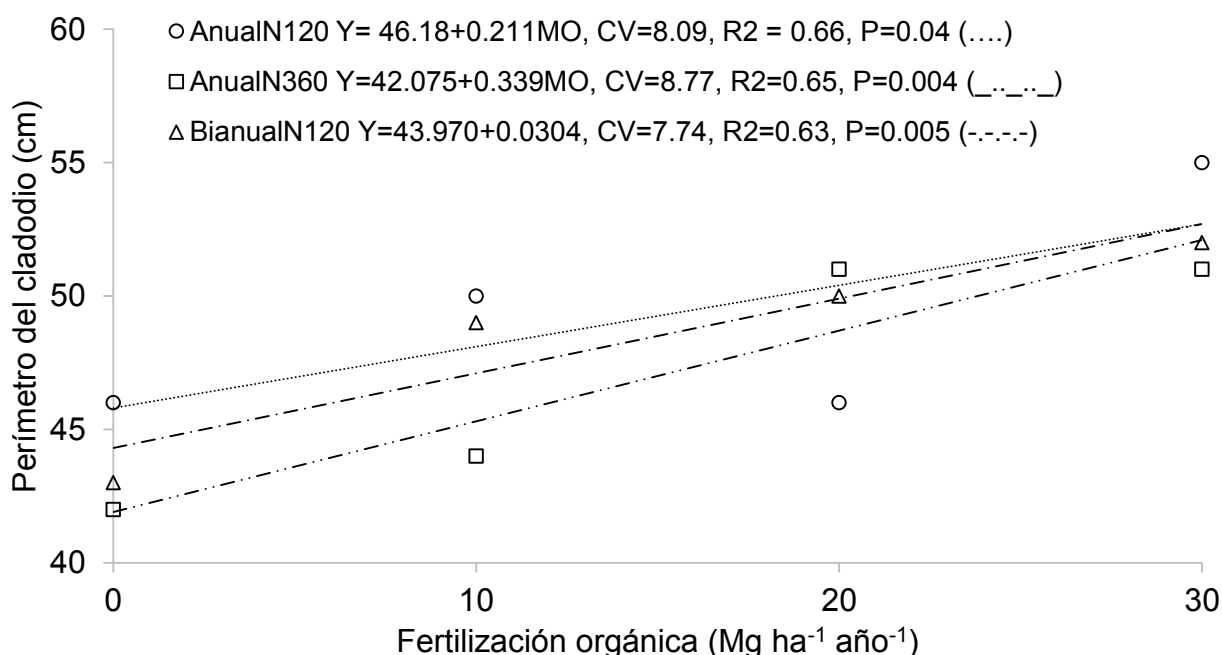


Figura 4. Perímetro de cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) por efecto de la fertilización orgánica, mineral y frecuencia de recolección (Agreste de Pernambuco, Brasil).

Las otras ecuaciones que relacionaron el perímetro del cladodio con el nivel de fertilización orgánica y mineral no fueron significativas ($p > 0.05$). Silva (2012) encontró que el perímetro de cladodios de tercero y cuarto orden en nopal clon IPA-20 se incrementó con la aplicación al cultivo de 40 y 80 t de MO $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, pero no fue así con los cladodios de primero y segundo orden que se encuentran en la zona baja de la planta, lo cual se atribuyó al efecto del sombreado causado por los cladodios de orden superior y de las plantas colindantes. Este efecto de sombreado fue discutido por Nobel (2002) cuando se usaron altas densidades de plantas e indicó que tales densidades comprometen la exposición del área fotosintéticamente activa y originan con ello una menor producción de biomasa.

La fertilización mineral con urea incrementó el perímetro de cladodio. En el primer año de recolección incremento entre 16.4, 20.0 y 17.6 % cuando se aplicaron 120, 240 y 360 kg N ha^{-1} y 10, 20 y 30 t MO $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, respecto al tratamiento testigo. El IAC corresponde al área fotosintéticamente activa en las plantas e indica la capacidad para interceptar la luz solar y transformarla en materia seca (Donato *et al.*, 2014). La Figura 5 muestra el efecto de la fertilización orgánica en el IAC, el cual mostró una tendencia cuadrática ($p < 0.05$) en la que su aumento fue proporcional al aplicar 10 y 20 Mg $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, de estiércol bovino, para alcanzar un máximo estimado de 25.97 t MO $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Las dosis de fertilización orgánica mayores a ésta última, no incrementaron el IAC (Figura 5).

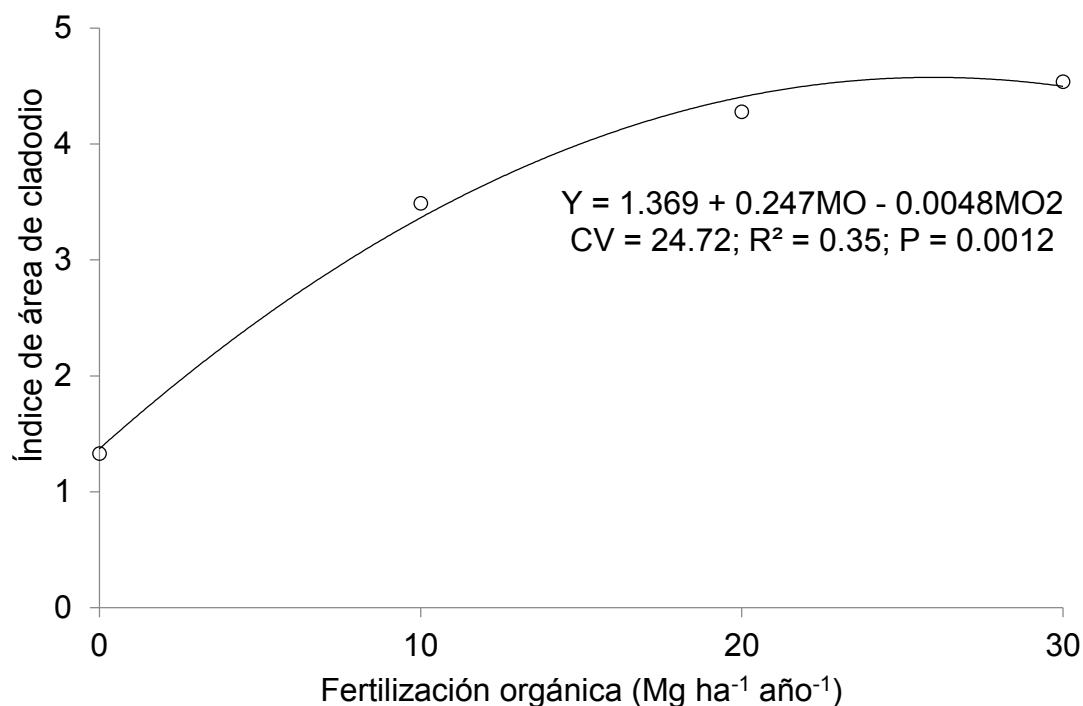


Figura 5. Índice de área de cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), por efecto de la fertilización orgánica (Agreste de Pernambuco, Brasil).

El espaciamiento entre plantas y la dosis de fertilización orgánica afectaron el IAC de *Opuntia ficus-indica* cv Gigante, de acuerdo con Donato *et al.* (2014) quienes encontraron los mayores ICA con espaciamientos 1x0.5 m y a dosis de fertilización orgánica entre 60 y 90 Mg ha⁻¹ año⁻¹, valores de espaciamiento (1.2x0.1 m) y fertilización (30 Mg ha⁻¹ año⁻¹) superiores a los definidos en este estudio. Este comportamiento en el IAC se repite con otro tipo de abonos orgánicos, por ejemplo, García *et al.* (2001) encontraron un incremento del 30 % en el área fotosintéticamente activa de la planta con bioabono a base de guano y cladodios picados procedentes de la poda, aplicado a razón de 15, 30, 45 y 60 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Estos datos del IAC son menores a los reportados en este trabajo, ya que el IAC incrementó en 68.9 % con la aplicación de 25.97 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de estiércol bovino, respecto al tratamiento testigo.

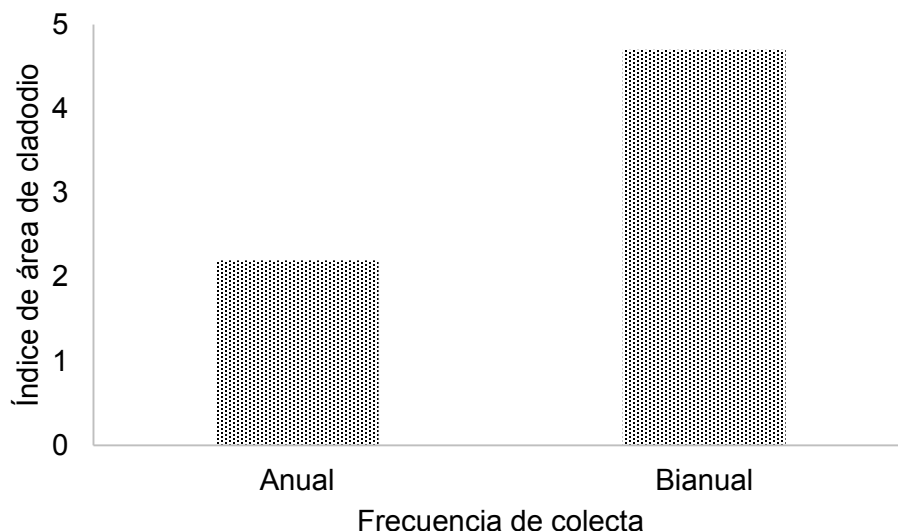


Figura 6. Índice de área de cladodio de nopal forrajero cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), por efecto de la frecuencia de recolección (Agreste de Pernambuco, Brasil).

La frecuencia de recolección tuvo efecto sobre el IAC ($p < 0.05$). Las plantas con recolección a dos años mostraron un IAC mayor ($p < 0.05$) que aquel de las de recolección anual (Figura 6). Esto se atribuyó a que en la recolección anual, las plantas utilizan su reserva de nutrientes para la regeneración de cladodios cosechados en la primera recolección. Respecto a la intensidad de recolección, Alves *et al.* (2007) demostraron que la producción de materia seca en *Opuntia ficus-indica* fue mayor cuando se conservaron los cladodios de orden secundario en la recolección. Lo anterior puede deberse a que las plantas con cladodios de nivel secundario tienen un mayor IAC, respecto de aquellas que solo tienen el nivel primario de cladodios, lo que les permite exhibir una mayor eficiencia fotosintética (Farias *et al.*, 2000 y Lira *et al.*, 2006).

6.5. Conclusiones

La fertilización mineral con nitrógeno ureico tuvo poco impacto en las características morfológicas de los cladodios de nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck).

La fertilización orgánica con estiércol bovino incrementó la anchura, longitud e índice de área de cladodio del cladodio (IAC).

El índice de área de cladodio (IAC) se incrementa cuando la recolección es bianual.

6.6. Literatura citada

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15th. ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC. 2000 p.
- Alves R., N., I. Farias, C. Menezes, R. Simões, M. A. Lira, e D. C. Santos. 2007. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. Rev. Caatinga 20: 38-44.
- Batista, A. M., A. F. Mustafa, T. McAllister, Y. Wang, H. Soita, and J. J. McKinnon. 2003. Effect of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. J. Sci. Food Agric. 83: 440-445.
- Cunha D. N. F. V., E. S. Gomes, J. A. Martuscello, P. L. Amorim, R. C. Silva, e P. S. Ferreira. 2012. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. Rev. Bras. Saúde Produç. Anim. 13: 1156-1165.
- De Waal H. O., D. C. Zeeman, and J. W. Combrinck. 2006. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. S. Afr. J. Anim. Sci. 36: 10-13.
- Donato P. E., R., A. J. V. Pires, S. L. R. Donato, P. Bonomo, J. A. Silva, e A. A. Aquino. 2014. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. 9: 151-158.
- Dubeux Jr. J. C. B., J. T. Araújo filho, M. V. F. Santos, M. A. Lira, D. C. Santos e R. A. S. Pessoa. 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira clone IPA- 20. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. 5: 129-135.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Brasil. 212 p.
- Farias I., M. A. Lira, D. C. Santos, J. J. T. Filho, M. V. F. Santos, A. P. M. Fernandes, e V. F. Santos. 2000. Manejo de colheita e espaçamento da palma-forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no agreste de Pernambuco. Pesqui. Agropecu. Bras. 35: 341-347.
- Fuentes-Rodríguez, J. 1997. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in Northern Mexico. I. Goats. J. Prof. Assoc. Cactus Dev. 2: 23-25.

- Galvão Jr. J. G. B, J. B. A. Silva, J. H. G. Morais, e R. N. Lima. 2014. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. *Acta Vet. Bras.* 8: 78-85.
- García C., V., M. T. Varnero, y M. Espinoza. 2001. Efecto de bioabono sobre el área fotosintéticamente activa, producción de cladodios y eficiencia de recuperación de N en un cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en el primer año post-plantación. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 4: 93-104.
- González, C. L. 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* Engelm.) *J. Arid Environ.* 16: 87-94.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florián, R. Blas-Sevillano, y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* 24: 49-61.
- Lira M. A., M. V. F. Santos, J. C. B. Dubeux Jr., e A. C. L. Mello. 2006. Sistema de produção de forragem: alternativas para sustentabilidade da pecuária. *Rev. Bras. Zootecn.* 35: 491-511.
- Luttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Ann. Bot.* 93: 629-652.
- Ministério da Integração Nacional. 2005. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Brasília, D.F. Brasil. 35 p.
- Neder D. G., F. R. Costa, R. L. Edvan, and L. T. S. Filho. 2013. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 13: 203-207.
- Neves A. L. A., L. G. R. Pereira, R. D. Santos, T. V. Voltolini, S. A. Araújo, S. A. Moraes, A. S. L. Aragão, e C. T. F. Costa. 2010. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no Semiárido brasileiro. 1ª ed. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora M. G. Comunicado Técnico 62. 8 p.
- Nobel, P. S. 2002. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: *Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. Mondragon-Jacobo, C., and S. Perez-Gonzalez. (eds). FAO Plant Protection and Production Paper 169, Rome, Italy. pp: 13-20.
- Nobel, P. S., and E. G. Bobich. 2002. Environmental Biology. In: *Cacti: Biology and Uses*. Nobel, P. S. (ed). University of California Press, California, USA. pp: 57-74.
- Santos, D. C., I. Farias, M. A. Lira, M. V. F. Santos, G. P. Arruda, R. S. B. Coelho, F. M. Dias, e J. N. Melo. 2006. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA). Documentos 30. Recife. Brasil. 48 p.
- Silva, N. G. M. 2012. Produtividade, morfometria e acúmulo de nutrientes da palma forrageira sob doses de adubação orgânica e densidades de plantio. Tese de

doutorado da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Brasil.
Disponível em: <http://ppgzufrpe.jimdo.com/banco-de-teses/teses-2012/>.

- Trejo-Escareño, H. I., E. Salazar-Sosa, J. D. López-Martínez, y C. Vázquez-Vázquez. 2014. Respuesta del nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica* L.) a la aplicación de estiércol bovino solarizado. AGROFAZ 14: 87-95.
- Vasconcelos, A. G. V., M. A. Lira, V. A. L. B. Cavalcanti, e M. V. F. Santos. 2009. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius ceylonicus*). Rev. Bras. Zootecn. 38: 827-831.