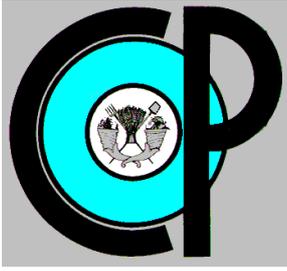


COLEGIO DE POSTGRADUADOS



**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE HARINA DE NOPAL
EN DIETAS PARA BORREGOS**

GABRIELA MUCIÑO CASTILLO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2014

La presente tesis titulada: "Evaluación nutricional de harina de nopal en dietas para borregos" realizada por la alumna: Gabriela Muciño Castillo, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. SERGIO SEGUNDO GONZÁLEZ MUÑOZ

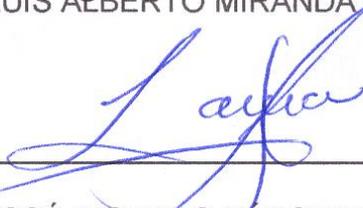
DIRECTOR



DE TESIS

DR. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

ASESOR



DR. JOSÉ RICARDO BARCENA GAMA

ASESORA



DRA. MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVÁN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en especial el Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería por permitirme realizar mis estudios de Maestría en un área que tenía tantas ganas de conocer.

Al CONACYT por la beca otorgada para obtener mi grado académico.

Al Dr. Sergio González Muñoz por toda su ayuda, paciencia, buen humor y consejos durante todo este proceso de mis estudios; pero sobre todo porque es un ejemplo a seguir.

Al Dr. Luis Alberto Miranda Romero por toda la ayuda brindada para culminar mi proyecto de tesis, por su sonrisa y cordialidad conmigo en todo momento.

Al Dr. Ricardo Bárcena Gama y la Dra. María Magdalena Crosby Galván por todas sus enseñanzas dentro y fuera del salón de clase, y por sus aportaciones para la finalización de este estudio.

A todos, que con temor a olvidar a alguno no los menciono, por ayudarme picando nopal durante mi trabajo con los borregos, durante los análisis de laboratorio, muchas gracias, hubiera sido muy complicado terminar este estudio sin su ayuda.

¡Mil gracias!

“La democracia es inútil si la gente no está educada,
más que inútil, peligrosa.” Francisco Villa.

DEDICATORIA

A mis papás Blanca y Daniel, porque siempre han sido mi ejemplo y motivación para perseguir mis sueños, pero sobre todo porque gracias a ustedes yo soy lo que soy.

A Rudy por todo lo que hemos vivido juntos, por todo lo que nos falta por vivir, porque mi sueño es crecer a tu lado, simplemente porque te amo; y a Froylán porque has llegado a darme otro motivo para ser feliz y porque eres una nueva razón para superarme.

A mis hermanos Rodrigo, Fabian y Daniela, porque son mis compañeros y esperando que nunca dejen de perseguir lo que desean.

A mis amigos Ely, Tenchi, Lupita, Chagua y Julieta por todos los ratos agradables que pasamos juntas, porque sé que cuento con ustedes en las buenas y en las malas.

A Richard por ser como un tío sin parentesco de sangre en mi vida.

Con muchísimo cariño: Gaby

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CUADROS	v
TABLA DE FIGURAS	v
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. LITERATURA REVISADA	6
2.1. Producción y consumo de carne de ovino	6
2.2. Sistemas de alimentación de borregos de carne	7
2.2.1. Sistemas comerciales.....	8
2.2.2. Sistemas de autoconsumo	9
2.3. El nopal	10
2.4. Contenido de nutrientes del nopal	12
2.5. El nopal en la alimentación de ovinos y caprinos.....	12
2.6. Nopal deshidratado	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. Objetivo general	15
3.2. Objetivos particulares.....	15
4. HIPÓTESIS	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1. Generalidades.....	16
5.2. Fermentación y degradación <i>in vitro</i> de variedades de nopal y dietas con nopal	16
5.2.1. Material vegetal.	16

5.2.2. Métodos analíticos y cinética de fermentación	17
5.3. Comportamiento productivo y variables ruminales de borregos alimentados con dietas totalmente mezcladas conteniendo harina de nopal	19
5.3.1. Dietas y alimentación.....	19
5.3.2. Métodos analíticos.....	20
5.3.3. Variables productivas	20
5.3.4. Variables ruminales	23
5.4. Diseño experimental y análisis estadístico.....	24
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
6.1. Fermentación y degradación <i>in vitro</i> de variedades de nopal y dietas con nopal	26
6.2. Comportamiento productivo de los borregos	32
7. CONCLUSIONES	39
8. LITERATURA CITADA	40

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1.	Componentes de las dietas y análisis químico proximal	21
Cuadro 2.	Contenido de materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra insoluble en detergente neutro (FDN) e insoluble en detergente ácido (FDA), y cenizas de cinco variedades de nopal	27
Cuadro 3.	Degradación <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS _{72h}) y parámetros de la cinética de producción de gas de fermentación de cinco variedades de nopal	28
Cuadro 4.	Parámetros de fermentación y degradación <i>in vitro</i> de dietas con 0, 25 y 50 % de harina de nopal CF1.....	31
Cuadro 5.	Variables productivas y ruminales de borregos alimentados con dietas con 0, 25 y 50 % de harina de nopal	34
Cuadro 6.	Eficiencia parcial en el uso del alimento	37
Cuadro 7.	Estadísticos descriptivos de las variables de la canal.....	37

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.	Producción de carne ovina 1990-2005 (miles de toneladas) (Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2014)	6
Figura 2.	Ultrasonido para medición de a) área de músculo y b) grasa dorsal	23
Figura 3.	Cinética de la producción de gas de fermentación de <i>in vitro</i> de cinco variedades de nopal.....	30

Evaluación nutricional de harina de nopal en dietas para borregos

RESUMEN

Gabriela Muciño Castillo, M.C.

COLPOS, 2014

La deshidratación del nopal es un método de conservación para alargar su vida útil y para mejorar su utilización como forraje en la alimentación de borregos. Los objetivos de este estudio fueron evaluar: 1) el contenido nutrimental, la degradación de la MS y la producción de gas *in vitro* de harinas de *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus indica* var Copena F1, *Opuntia albicarpa* var Blanca San Martín, *Opuntia megacantha* var Roja San Martín y *Opuntia ficus indica* var Atlixco, y de dietas totalmente mezcladas conteniendo 0, 25 o 50 % (tratamientos) de harina de nopal (HN); 2) la respuesta productiva de 24 borregos Rambouillet (26.1 ± 2.1 PV) alimentados con las tres dietas. El diseño experimental fue completamente al azar, los datos se analizaron con el procedimiento GLM de SAS y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). El contenido de PC fue mayor (9.66 %) en la variedad Atlixco y el menor (5.5 %) lo mostró la variedad Blanca San Martín ($P < 0.05$). La variedad Copena F1 tuvo contenidos de PC, FDN y FDA (6.03, 37.48 y 15.11 %) medios y la mayor DIVMS_{72h} (73.1 %), en comparación a las demás variedades ($P < 0.05$). La inclusión de HN en las dietas no modificó ($P > 0.05$) el volumen máximo de gas, la DIVMS_{72h}, ni el consumo voluntario de los borregos, respecto a la dieta testigo. Pero la inclusión de 50 % de HN redujo ($P < 0.05$) la GDP (175 g d^{-1}) de los borregos, respecto a los alimentados con 0 y 25 % de HN en la dieta (298 y 267 g d^{-1}). El análisis de los datos permite concluir que la inclusión de 25 % de harina de nopal en dietas para la engorda de borregos no afectó las variables de fermentación *in vitro* ni las variables productivas.

Palabras clave: harina de nopal, dietas para borregos, *in vitro* producción de gas y degradación.

Nutritional evaluation of dried prickly pear cactus in diets for lambs

ABSTRACT

Gabriela Muciño Castillo, M.C.

COLPOS, 2014

Dehydration of prickly pear cactus is a preservation method to increase its shelf life and to improve its utilization as forage in diets for lambs. The aim of this study were to evaluate: 1) the nutrient content, *in vitro* DM degradation and gas production of dried prickly pear of *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus indica* var Copena F1, *Opuntia albicarpa* var Blanca San Martín, *Opuntia megacantha* var Rojo San Martín and *Opuntia ficus indica* var Atlixco, and total mixed diets containing 0, 25 or 50% of dried prickly pear cactus (DPPC); 2) the productive response of 24 Rambouillet lambs (26.1 ± 2.1 BW) fed the three diets. The experimental design was completely randomized and the data was analyzed with the GLM procedure and Tukey's test. The CP content was highest ($P < 0.05$) for the Atlixco variety (9.66 %) and was lowest for Blanca San Martín (5.5%). The Copena F1 variety had average values for CP, NDF and ADF (6.03, 37.48 and 15.11 %) and the highest IVDDM_{72h} (73.1 %) as compared to the others varieties. Addition of DPPC did not change ($P > 0.05$) the maximum volume of gas, IVDDM_{72h}, and voluntary intake of lambs, compared to the control diet. However, 50 % of DPPC reduced ($P < 0.05$) ADG (175 g d^{-1}) of lambs, compared to lambs fed with 0 and 25 % DPPC (298 and 267 g d^{-1}). Analysis of data allows to concluding that the addition of 25 % of dried prickly pear cactus in diets for fattening of lambs does not affect *in vitro* fermentation neither production variables.

Keywords: dried prickly pear cactus, diets for lambs, *in vitro* gas production and degradation.

1. INTRODUCCIÓN

En México se producen anualmente 5.9 millones de toneladas de carne, lo cual económicamente se traduce en 189.1 millones de pesos (SIAP-SAGARPA, 2012a), de lo cual la carne ovina aporta 58.1 miles de toneladas (SIAP-SAGRPA, 2013) y con un valor de 2.9 millones de pesos para el año 2012 (SIAP-SAGARPA, 2012a). Los estados con mayor participación en la producción de ovinos son el Estado de México e Hidalgo, seguidos de Veracruz, Zacatecas y Puebla, con un aporte de 14.8, 12.5, 8.4, 7.2, y 6.7 % respecto al total nacional, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2013). A pesar de que en México ha mejorado la eficiencia productiva de ovinos de carne, sólo genera el 70 % de la carne borrego consumida en el país, por lo cual tiene un mercado interno potencial de unas 30,000 toneladas anuales. Al respecto, México ha recibido la petición de exportar carne y ovinos a Jordania, Turquía, Libia, India y Corea del sur, además de países de Centroamérica (Arteaga, 2012). Pero en el año 2005 la producción de carne ovina cubrió solamente el 53.8 % del consumo nacional aparente, por lo cual fue necesario importar 39,736 toneladas de carne ovina para cubrir la demanda de consumo interno (SAGARPA, 2014).

Para incentivar la producción nacional de carne ovina se debe aumentar la eficiencia de producción en términos biológicos y económicos, lo cual requiere investigaciones específicas acerca de los sistemas de alimentación y de manejo. Para lograr tales objetivos es necesario reducir los costos de producción y mejorar la alimentación de los ovinos, aspecto en el cual los forrajes representan una alternativa viable, vía pastoreo o corte. El nopal puede ser un recurso forrajero dado que México es el principal productor de nopal para tuna y verdura. El nopal forrajero (*Opuntia spp*), una especie poco convencional, puede ser una opción en un contexto de

sostenibilidad (Arteaga, 2007; Andrade-Montemayor *et al.*, 2011). Esto se debe a que el nopal se adapta a condiciones climáticas extremas como la sequía, sirve de cobertura vegetal y disminuye el riesgo de erosión de suelos (Flores, 2002), se mantiene siempre verde, es más barato que otros forrajes, y se puede usar el desperdicio generado durante el procesamiento de nopalitas para verdura. En el año 2012 se produjeron 133.9 miles de toneladas de nopal forrajero, principalmente en los estados de Coahuila, Aguascalientes y Zacatecas, mientras que las entidades con mayor producción de nopal verdura son Morelos, Distrito Federal y el Estado de México (SIAP-SAGARPA, 2010b).

La principal desventaja del nopal es que contiene 4.5 -7.0 % de proteína cruda y 85-94 % de agua (Andrade-Montemayor *et al.*, 2011). Sin embargo, la inclusión de nopal en la dieta para ovinos y caprinos puede ser una alternativa de alimentación en regiones áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de alimento es crítica (Adibi *et al.*, 2009a; Aguilar *et al.*, 2010; Andrade-Montemayor *et al.*, 2011). La inclusión de hasta 60 % de nopal fresco en dietas de baja calidad para borregos y cabras no ocasiona problemas digestivos (Gebremariam *et al.*, 2006; Aranda *et al.*, 2008; Tegegne *et al.*, 2007). El nopal en la dieta de borregos mejora la ganancia diaria de peso (Gebremariam *et al.*, 2006), la conversión alimenticia y los costos por alimento (Aranda *et al.*, 2008). Además, la carne de cabras alimentadas con nopal presenta una mayor proporción de ácidos grasos insaturados y en especial ácido linoléico (Atti *et al.*, 2006). Aguilar-Yáñez *et al.* (2010) mencionan que la inclusión de 17 % de nopal deshidratado (en base seca) no afectó la respuesta productiva de borregos, comparado con borregos alimentados con dietas comerciales. Ortiz-Heredia *et al.* (2013) mostraron que las dietas para corderos, balanceadas (15 % PC y 2.6 Mcal

kg⁻¹) y formuladas con 10 y 20 % de nopal seco y molido, son fermentadas satisfactoriamente *in vitro* y, además, los corderos tuvieron ganancias diarias de peso de 295 a 310 g d⁻¹, sin presentar disturbios ruminales. Sin embargo, es necesario investigar la factibilidad de incluir niveles altos de nopal seco y molido para conocer la máxima proporción de nopal que pueda ser incluida en dietas integrales para la engorda intensiva de corderos, sin que se afecten las variables fermentativas y de producción.

2. LITERATURA REVISADA

2.1. Producción y consumo de carne de ovino

La producción mundial de carne en el año 2009 fue de 12.9 millones de toneladas (FAO/SMIAR, 2011). Según la FAO (2012), la producción mundial de carne de ovinos en el año 2006 fue de 13.3 millones de toneladas, de las cuales se comercializaron 0.8 millones de toneladas de carne.

En México, para el año 2005, la producción de carne ovina fue de 46,299.2 toneladas y se importaron 39,736 toneladas, mientras que el consumo nacional aparente (CNA) de 85,965.2 de toneladas de esa carne. De acuerdo con estos datos la producción de carne ovina sólo alcanzó a cubrir el 53.8 % del CNA (SAGARPA, 2014). La Figura 1 muestra una tendencia positiva en la producción de carne de ovinos hasta el año 2005.

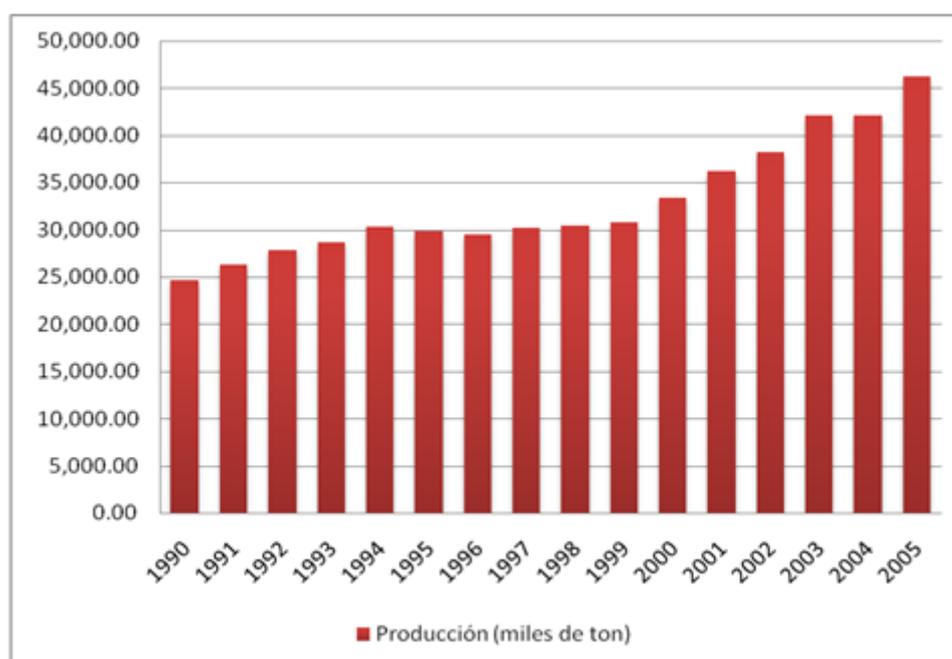


Figura 1. Producción de carne ovina 1990-2005 (miles de toneladas)
(Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2014)

2.2. Sistemas de alimentación de borregos de carne

México cuenta con una gran diversidad de climas que van desde el templado hasta el cálido y del húmedo al muy seco, tiene una orografía muy accidentada y heterogénea, con diferentes tipos de suelo, y presenta una enorme pluralidad socioeconómica, con diferentes tipos de educación e ingresos distintos y desiguales, aun dentro del medio rural (INEGI, 2012). Esto provoca que en México existan sistemas de producción de ovinos muy variados, con características propias de cada región, que a su vez están determinados por la disponibilidad de recursos y por los hábitos de consumo de borregos propios de cada localidad.

En México están registradas alrededor de 53,000 unidades de producción de ovinos, distribuidas aproximadamente así: 53 % en el centro, 24 % en el sur-sureste y 23 % en el norte (PROGAN, 2010). La ovinocultura de carne se desarrolla bajo un esquema de tipo regional: 1) en la zona centro se producen carne y pieles con razas de lana como Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset y de pelo (Katahdin, Dorper y Pelibuey); 2) la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo (Pelibuey, Black Belly, Katahdin y Dorper) y produce un poco de lana para uso artesanal con animales criollos en Oaxaca y Chiapas; 3) la zona norte se dedica a la producción de carne pero fue la principal proveedora de lana en épocas pasadas, por lo cual aún se mantiene una población de animales de la raza Rambouillet, y más recientemente se han introducido razas de pelo (Pelibuey, Katahdin y Dorper) (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

Existen varios sistemas de producción ovina que se desarrollan en pastoreo, en estabulación o en una combinación de estas dos modalidades. De acuerdo con la intensidad del régimen de producción se dividen en: intensivo, semi-intensivo y

extensivo, y según su propósito fundamental se dividen en comerciales y de autoconsumo (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

2.2.1. Sistemas comerciales

Los sistemas comerciales deben ser redituables y el sistema más rentable es aquel con una menor relación costo/beneficio. En la mayoría de los casos los sistemas intensivos participan en la cadena de producción-consumo, tienen mano de obra contratada, intervienen en algún tipo de organización de productores o cooperativa de producción rural, cuentan con asesoría técnica, pagan impuestos, tienen acceso a fuentes de financiamiento, reciben apoyo de los programas gubernamentales y generan un producto de buena calidad. Los sistemas comerciales deben estar muy pendientes de los factores que afectan la producción para lograr una buena rentabilidad y, por ejemplo, el incremento reciente en el costo de los granos de cereales originó la quiebra de muchas explotaciones ovinas (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

Los sistemas comerciales en México pueden ser:

- 1) Sistemas de producción intensiva. Su viabilidad económica depende del precio de los insumos, especialmente de los cereales, la alimentación representa 60 % de los costos de producción (González *et al.*, 2013). Comúnmente la alimentación se basa en uso de dietas integrales, o uso de forrajes de buena calidad con alimentos concentrados.
 - a) Pastoreo tecnificado o racional
 - b) Estabulación
 - c) Sistemas mixtos

- 2) Sistemas de producción semi-intensiva, también se conocen como sistemas diversificados, se realizan pastoreo en superficies agrícolas, cafetales, áreas forestales y frutales, y el pastoreo se lleva a cabo cuando la plantación está bien establecida. Durante los meses de septiembre, octubre y noviembre se pueden sembrar cereales (trigo, avena, cebada, centeno, triticale) o pasto ballico (*Lolium perenne*) entre los árboles, para proporcionar forraje durante el invierno.
- 3) Sistemas de producción extensiva basados en la utilización de vegetación nativa. En el norte no se proporcionan complementos alimenticios, los borregos reciben sales minerales como suplemento y muy esporádicamente se les provee de algún tipo de subproducto agrícola. En regiones templadas para complementar la dieta en época de escasez se utilizan subproductos agrícolas como pajas de avena y trigo, o rastrojo de maíz.

2.2.2. Sistemas de autoconsumo

Los sistemas de autoconsumo u ovinocultura social se encuentran fuera de la economía formal, no tienen acceso a crédito, se manejan con mano de obra familiar, durante el día los ovinos se pastorean en terrenos comunales de áreas federales y en propiedades desatendidas. Por la noche los rebaños se guarecen en el traspatio, donde se les proporciona residuos de cosechas y subproductos agrícolas, emplean métodos tradicionales y la calidad del producto es muy irregular. Casi la totalidad de la producción es destinada al consumo familiar, con alguna venta ocasional de ovinos en pie. Sus principales cualidades económicas son que sirven como un medio de ahorro y aprovechan recursos renovables no competitivos con la alimentación humana. Los genotipos más usados en estos sistemas son criollos (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

2.3. El nopal

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical, y actualmente se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas en todo el continente americano, en forma silvestre o cultivada. Además, su cobertura se ha difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre (Saéñz, 2006a).

Los nopales pertenecen a la familia Cactaceae. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre las cuales destacan que sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos (Saéñz, 2006a).

Las plantas del género *Opuntia* son nativas de varios ambientes, desde zonas áridas al nivel del mar hasta territorios de gran altura como los Andes del Perú; desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre sobre 5 °C a zonas de Canadá con -40 °C en el invierno (Nobel, 1999).

Las capacidad de las plantas para para adaptarse al medio árido está relacionada con la conformación de varios de sus órganos. Según Nobel (1998), sus raíces superficiales y extendidas captan el agua de las escasas lluvias que caen en esos ambientes; a su vez, las lluvias aisladas inducen la formación de raíces secundarias que aumentan la superficie de contacto con el suelo lo cual facilita la absorción de agua y nutrientes. Cuando se inicia la sequía, las raíces comienzan a contraerse de manera radial contribuyendo a disminuir la pérdida de agua.

Los tallos del nopal son suculentos y articulados, botánicamente se llaman cladodios y vulgarmente pencas; se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en

tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo (Saénez *et al.*, 2006a).

Las funciones de los tallos son (Nobel *et al.*, 1992):

- 1) Realizar la fotosíntesis, por estar protegidos por una cutícula gruesa, que en ocasiones está cubierta de cera o pelos, disminuyen la pérdida de agua.
- 2) Pueden almacenar agua pues poseen bastante parénquima, los mucílagos-hidrocoloides presentes en este tejido tienen la capacidad de retener agua lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía.
- 3) Presentan pocos estomas por unidad de superficie, los cuales pueden permanecer cerrados durante el día y abiertos en la noche; esto evita la pérdida de agua por transpiración durante el día y permite durante las horas nocturnas la entrada de CO₂.

Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hasta ahora hay solamente 10 o 12 especies utilizadas por el hombre para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para la obtención de colorante. Las especies cultivadas para producción de fruta son: *Opuntia ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. xocconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Las especies silvestres que se aprovechan son: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus indica* (Saénez, 2006a).

En México, *Opuntia ficus-indica* es la especie cultivada de mayor importancia comercial para la producción de nopalito (Pimienta-Barrios y Muñoz-Urías, 1999). Entre las variedades de *Opuntia* cultivadas comercialmente se encuentran Milpa

Alta, COPENA V-1, COPENA F-1, Atlixco (Flores *et al.*, 1995), Jalpa, Esmeralda y Blanco de Valtierra.

2.4. Contenido de nutrientes del nopal

El nopal se caracteriza por presentar un contenido alto de humedad (86.5 %) y ceniza (27.4 %), y concentraciones bajas tanto de fibra cruda (8.6 %) como de proteína cruda (3.8 %) (Ben Salem *et al.*, 1994). La calidad nutrimental del nopal es muy variable y depende de factores como el genotipo, la edad y las condiciones agronómicas de producción (Flores y Aguirre, 1979).

El nopal en condiciones cultivadas ofrece una alternativa de producción de forrajes debido a su alta eficiencia en el uso del agua comparado con otros cultivos anuales. Hay que considerar que la variedad y el manejo del cultivo influyen fuertemente en el rendimiento de la planta; la aplicación de fertilizantes, el suministro de riegos, y la alta densidad de población generan un efecto favorable en su aprovechamiento. (Reveles-Hernández *et al.*, 2010).

Los cladodios cuando son tiernos (10-15 cm) se usan para la producción de nopalitos, y cuando están parcialmente lignificados (cladodios de 2-3 años), para la producción de harinas y otros productos (Saénz, 2006b).

2.5. El nopal en la alimentación de ovinos y caprinos

El nopal se utiliza como una fuente alternativa de forraje para rumiantes en zonas áridas y semiáridas debido a que es una planta resistente a la sequía, tiene un alto rendimiento de biomasa, es bastante palatable y tolera condiciones salinas (Ben Salem *et al.*, 1996).

En México durante la conquista llegó el ganado, aunque en los archivos de la Colonia hay poca información acerca del uso del nopal como forraje, pero proporcionan elementos para considerar que el ganado se extendió por todo el país y consumió nopal para subsistir las sequías en la Nueva España, sobre todo en el norte del país (Anaya-Pérez y Bautista-Zane, 2008).

Durante el siglo XIX el nopal se utilizó como forraje para el ganado en el centro y norte del país. En San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León, los ganaderos alimentaban al ganado en época de secas tumbando el agave conocido como sotol y cortando y quemando las pencas de nopal. Las variedades de nopal forrajeras que se distinguen son: rastrero, cuyo, cardón, segador, cardenche o cojonostle y tasajillo (Anaya-Pérez y Bautista-Zane, 2008).

En algunas investigaciones se muestra que en ranchos ganaderos de Baja California Sur los ganaderos utilizan especies de nopal forrajero como forraje alternativo para alimentar ganado caprino, bovino, ovino, conejos, cerdos y aves de corral, y las respuestas productivas del ganado son positivas (Murillo-Amador *et al.*, 2006).

2.6. Nopal deshidratado

El nopal es un producto altamente perecedero debido a su actividad fisiológica alta después de ser cosechado. Las frutas y hortalizas frescas tienen un valor de actividad de agua (a_w) cercano a 1.00, por lo cual son muy susceptibles a los ataques microbianos, de modo que la reducción del a_w es una manera óptima para prolongar la vida útil de los alimentos (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003). La deshidratación es un proceso de conservación de alimentos utilizado desde tiempos

remotos, se basa en la disminución del contenido de agua y en la reducción de la actividad de agua (Saéñz, 2006c).

La evaporación o concentración es otro método de conservación basado en la reducción de la actividad de agua; sin embargo, este proceso causa varios efectos en el producto final: el primero es la salida del agua que ocasiona la pérdida de compuestos volátiles, que son los responsables del sabor y aroma del alimento; otro efecto es la reducción de volumen del líquido, lo cual es una ventaja para el almacenamiento y el transporte del producto (Saéñz, 2006c).

Según Schmidt-Hebbel *et al.* (1990), el aporte de minerales de la harina de nopal para consumo humano se destaca por la contribución de calcio (3.4 mg g^{-1}) y de potasio (2.1 mg g^{-1}) y es muy baja en sodio (0.02 mg g^{-1}), mientras que el aporte energético es de $145.3 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$.

En la literatura revisada se encontraron muy pocas investigaciones realizadas acerca del uso de la harina de nopal en la alimentación de animales. Aguilar-Yáñez *et al.* (2011) mencionan que la degradación *in situ* de la materia seca a las 72 h de dietas con 17 % de nopal deshidratado fue de 87.5 %, y la conversión alimenticia fue de 4.58. Mientras que Ortiz-Heredia *et al.* (2013) mostraron que las dietas para corderos, balanceadas (15 % PC y 2.6 Mcal kg^{-1}) y formuladas con 10 y 20 % de nopal seco y molido, son fermentadas satisfactoriamente *in vitro* y además los corderos tuvieron ganancias diarias de peso de 295 a 310 g día^{-1} , sin presentar disturbios ruminales.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la inclusión de 25 y 50 % de nopal seco y molido en la degradabilidad de dietas totalmente mezcladas y en la respuesta productiva de borregos en engorda.

3.2. Objetivos particulares

- Evaluar el contenido nutrimental y la degradación de la MS *in vitro* de harina de cinco variedades de nopal de nopal y tres dietas conteniendo 0, 25 y 50 % de harina de nopal.
- Determinar la composición nutrimental y los parámetros (Volumen máximo = Vm, tasa de producción = S, y fase de retardo = L) de la cinética de producción de gas de fermentación de harina de cinco variedades de nopal y tres dietas conteniendo 0, 25 y 50 % de harina de nopal.
- Determinar el efecto de la inclusión de 25 y 50 % de nopal seco y molido en dietas totalmente mezcladas, sobre las variables productivas (ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia) y las variables ruminales (pH, N-NH₃ y AGV) borregos alimentados con las tres dietas con HN.

4. HIPÓTESIS

La inclusión de 25 y 50 % de harina de nopal en dietas totalmente mezcladas, para la engorda de borregos no afecta la degradación y fermentación *in vitro* ni el comportamiento productivo de los borregos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Generalidades

El experimento consistió de una fase *in vitro* para evaluar el contenido de nutrientes y la fermentación y degradación *in vitro* de cinco variedades de nopal y tres dietas formuladas con harina de nopal. Una segunda fase *in vivo* consistió en determinar las variables ruminales y el comportamiento productivo de borregos alimentados con las tres dietas con 0, 25 y 50 % de harina de nopal (HN) de la variedad *Opuntia ficus indica* var Copena F1 (CF1).

5.2. Fermentación y degradación *in vitro* de variedades de nopal y dietas con nopal

Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Nutrición del programa en Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo; y en el laboratorio de Microbiología pecuaria de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

5.2.1. Material vegetal.

El material vegetal para elaborar la harina de nopal se recolectó de la nopalera experimental "Dr. Facundo Barrientos P." de la Universidad Autónoma Chapingo. En un único muestreo realizado el 20 de septiembre de 2012, se recolectaron tres muestras de nopal de las variedades *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus indica* var Copena F1 (CF1), *Opuntia albicarpa* var Blanca San Martín, *Opuntia megacantha* var Roja San Martín y, *Opuntia ficus indica* var Atlixco.

Para elaborar la harina de nopal se picaron los cladodios de nopal de cada variedad en tiras finas, las cuales se secaron al sol del 20 al 26 de septiembre de 2012. Una vez seco, el nopal se molió en un molino (THOMAS-Wiley, Laboratory Mill, modelo 4, Filadelfia, USA) con la malla de 1 mm, y se almacenó en bolsas de plástico de 500 g con cierre hermético para su posterior análisis.

También se formularon tres dietas isoproteínicas e isoenergéticas, con 0, 25 y 50 % de nopal seco y molido (T0, T25 y T50), para la engorda de borregos (Cuadro 1), para lo cual se picaron tres toneladas de pencas frescas de nopal CF1, con ensiladora de maíz (modelo 3940, John Deere, USA) y se extendió para su secado al sol por cinco días durante los cuales la temperatura y humedad relativa promedio fue de 14.2 °C y 60.5 %, respectivamente (Estación agrometeorológica, Colegio de Postgraduados, 2013). El nopal seco se molió en un molino de martillos tipo cuchillas (Triunfo S.A., Aguascalientes, México).

5.2.2. Métodos analíticos y cinética de fermentación

Los análisis de materia seca (MS), cenizas y nitrógeno (N) se realizaron de acuerdo con los procedimientos 930.15, 942.05 y 954.01, respectivamente, de A.O.A.C. (2005), mientras que la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) se determinaron con el analizador de fibras ANKOM^{200/220}, sin usar amilasa, de acuerdo con el método descrito por Van Soest *et al.* (1991).

Para evaluar la cinética de fermentación de las variedades de nopal se recolectó líquido ruminal de tres borregos machos raza Rambouillet (65 kg \pm 2.5 PV), alimentados con dietas altas en alfalfa achicalada. Para obtener la cinética de fermentación de las dietas con harina de nopal se recolectó líquido ruminal de tres

borregos machos raza Pelibuey (25 kg \pm 2 PV), alimentados con dietas altas en alfalfa fresca.

El líquido ruminal de cada borrego donante se filtró a través de cuatro capas de gasa y se diluyó una parte de líquido ruminal con nueve partes de una solución mineral reducida compuesta de (g L⁻¹): Na₂CO₃ (4 g), K₂HPO₄ (0.45 g), KH₂PO₄ (0.45 g), (NH₄)₂SO₄ (0.45 g), NaCl (0.9 g), MgSO₄ (0.183 g), CaCl₂·2H₂O (0.112 g), cisteína (2.5 g), Na₂S (2.5 g) y una gota de resarzurina (0.1 %). Durante todo este proceso se mantuvo un ambiente anaerobio mediante el flujo continuo de CO₂.

La fermentación de las muestras (variedades de nopal y dietas) se estimó indirectamente por la técnica de producción de gas (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994). En frascos de 125 mL de capacidad se colocaron 50 mg de harina de nopal y 90 mL de la solución de inóculo ruminal-solución mineral reducida; y los frascos se incubaron en un baño maría a 39 °C. La presión de gas (kg cm⁻²) se midió a las 0, 1, 2, 4, 6, 10, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h de incubación, y después de cada medición se liberó el gas para regresar la presión a cero. Los valores de presión de gas se transformaron a volumen de gas (mL g⁻¹ MS de sustrato) con la siguiente ecuación de regresión que se obtuvo con la presión generada por volúmenes conocidos de gas:

$$\text{Volumen de gas (mL g}^{-1}\text{ MS de sustrato)} = \text{Presión (kg (cm}^2\text{)}^{-1}) * 39.46 \quad (R^2 = 0.94)$$

El volumen acumulado de gas para cada tiempo de la incubación se utilizó para calcular el volumen máximo (V_m; mL g⁻¹), fase lag (L; h) y la tasa (S; h⁻¹) de producción de gas del modelo logístico propuesto por Schofield *et al.* (1994):

$$\text{Volumen de gas} = V_m / (1 + \exp^{(2-4 \times S \times (t-L))})$$

Después de las 72 h de incubación, el contenido de cada frasco se filtró con papel filtro Whatman No. 4, el residuo filtrado se secó a 100 °C durante 48 h y se pesó para calcular la degradación *in vitro* a las 72 h de la incubación (DIVMS_{72h}).

5.3. Comportamiento productivo y variables ruminales de borregos alimentados con dietas totalmente mezcladas conteniendo harina de nopal

Esta fase tuvo una duración de cinco semanas, de mayo a junio del 2013, en el módulo de producción ovina de la granja del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, localizado en el Estado de México, a una altitud de 2250 msnm.

5.3.1. Dietas y alimentación

En este experimento se utilizaron 24 borregos machos raza Rambouillet, con peso inicial de 26.1 ± 2.1 kg, alojados en jaulas metabólicas individuales. Las tres dietas experimentales (tratamientos) se asignaron al azar a los 24 borregos (8 por cada tratamiento) (Cuadro 1). Al inicio del experimento se aplicó a los borregos Ivermectina (Ivomec-F, 1 mL 50 kg⁻¹ de PV), Bacterina (2.5 mL animal⁻¹) y vitaminas A, D y E (Vigantol ADE, 1 mL animal⁻¹).

Para la elaboración de la harina de nopal se picaron tres toneladas de pencas de nopal fresco de la variedad CF1, con una ensiladora de maíz de un surco (John Deere, USA; Modelo 3940). El nopal picado se extendió y se secó al sol del 22 al 27 de febrero de 2013, la temperatura ambiental media fue de 14.2 °C y la humedad relativa fue de 60.5 % (Estación agrometeorológica Colegio de Postgraduados,

2013). Después el nopal picado se molió en un molino de martillos tipo cuchillas (Triunfo S.A., Aguascalientes, México).

Las dietas se formularon incluyendo 0, 25 y 50 % de harina de nopal y de acuerdo con las tablas del NRC para un contenido de PC de 16 % y energía metabolizable de 10.9 MJ kg⁻¹ MS (Cuadro 1). La cantidad total de alimento ofrecido al inicio del experimento se calculó con base al 3.5 % del peso vivo de cada borrego, y se ajustó de acuerdo con el consumo diario. Los borregos fueron alimentados a las 08:00 y 15:00 h, mientras que el agua se ofreció *ad libitum*.

5.3.2. Métodos analíticos

Los análisis de materia seca (MS), cenizas, nitrógeno (N) y extracto etéreo (EE) se realizaron de acuerdo con los procedimientos 930.15, 942.05, 954.01 y 954.02, respectivamente, de A.O.A.C. (2005), mientras que la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) se determinaron con el analizador de fibras ANKOM^{200/220}, sin usar amilasa, de acuerdo con el método descrito por Van Soest *et al.* (1991).

5.3.3. Variables productivas

Las variables productivas fueron las siguientes: consumo diario de alimento (CDA) el cual se obtuvo por diferencia entre el alimento ofrecido y rechazado diariamente; la ganancia diaria de peso (GDP) que se calculó con base al peso ganado durante la fase experimental dividido entre los días que duró la investigación; la conversión alimenticia (CA) que se determinó al dividir el consumo de materia seca entre la ganancia diaria de peso.

Cuadro 1. Componentes de las dietas y análisis químico proximal

Ingredientes % en base seca	Tratamientos		
	Testigo (0 % HN)	25 % HN	50 % HN
Harina de nopal	-	25	50
Maíz molido	13.7	-	-
Sorgo molido	12.6	30.2	26.3
Paja de avena	40	15	-
Gluten de maíz	13.7	14.0	15.8
Salvado de trigo	-	5	5.2
Melaza	5	5	2.4
Grasa de sobrepaso	3	3	1.2
Carbonato de calcio	0.6	0.5	0.3
Sal común	-	1.1	-
Mezcla mineral	1	1	0.9
Análisis químico proximal			
MS (%)	89.52	89.49	89.53
PC (%)	17.17	18.35	18.01
EE (%)	2.66	2.68	2.51
FDA (%)	14.42	10.59	10.66
FDN (%)	29.75	23.81	22.04
Cenizas (%)	6.51	9.13	8.66

El análisis químico proximal se realizó en el Laboratorio de nutrición del programa en Ganadería del Colegio de Postgraduados.

Para calcular la eficiencia parcial de uso del alimento se realizó un análisis de regresión entre la ganancia diaria de peso y el consumo diario de alimento, y el peso vivo inicial se consideró como covariable. Así, el coeficiente de regresión se refiere a la eficiencia parcial de uso del alimento, es decir, la variación en la ganancia de peso sobre el mantenimiento causada por un determinado aumento o disminución en el consumo de alimento por día (Domínguez, 2000). Las pendientes para la regresión del consumo diario de alimento sobre la ganancia de peso vivo se calcularon con el procedimiento GLM (SAS, 2002). El modelo de SAS utilizado fue:

```
Proc glm; Class trat; Model gdp=trat cda (trat) pi/Solution
```

Donde:

gdp = ganancia diaria de peso vivo; cda = consumo diario de alimento; trat = tratamiento; pi = peso vivo inicial

Con este modelo también se estimaron pendientes separadas para cada tratamiento a través del término cda (trat). El programa SAS calculó una prueba t para cada pendiente, la cual indica la probabilidad de que dicha pendiente sea diferente de cero. La interpretación sería que cada unidad de aumento en consumo de alimento causa cierto aumento o disminución en unidades de la ganancia de peso corporal sobre el nivel de mantenimiento (Domínguez, 2002).

Al inicio y al final del experimento en cada borrego se midió la grasa dorsal y área de músculo entre la duodécima y décimo tercera costilla, con un ultrasonido Sonovet 600 (Universal Medical System, Inc.) con un transductor de 7.5 MHz (Figura 1). Al final de la fase experimental se sacrificaron cuatro borregos de cada tratamiento de 0 y 25 % de HN, con un peso promedio en ayuno por 24 h, de 37.75 ± 2.08 kg. Inmediatamente después del sacrificio y para cada borrego se pesó la piel, cabeza,

(Pelican 1400 Case, CA, USA). En estas muestras de líquido ruminal se determinó la concentración de N-NH₃ (McCullough, 1967) y ácidos grasos volátiles (AGV) (Erwin *et al.*, 1961).

Para la determinación de N-NH₃ y AGV las muestras ruminales se acidificaron con ácido metafosfórico 3 M o al 25 % (dilución 1:4), se mantuvieron en refrigeración a 4 °C y fueron centrifugadas a 3500 x g por 25 min. La concentración de AGV se midió con un cromatógrafo de gases (Serie HP 6890, GC System, USA) con automuestreador e inyector automático (Serie 7683), columna capilar HP-FFAP (30 m x 0.25 µm x 0.25 m), temperatura del inyector de 230 °C con radio Split de 85 %, gas acarreador nitrógeno, rampa 1 a velocidad de 70 °C min⁻¹ a 0 °C, rampa 2 a velocidad de 20 °C min⁻¹ a 140 °C durante 2.9 min (tiempo total de 6.45 min), detector de ionización de flama con flujo de H₂ a 35 mL min⁻¹ y aire a 350 mL min⁻¹ a 240 °C.

El N-NH₃ se determinó usando la técnica de McCullough (1967) y las lecturas de absorbancia se realizaron a 630 nm en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible (CARY 1-E VARIAN, Australia).

5.4. Diseño experimental y análisis estadístico

En todos los experimentos se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde los tratamientos fueron las variedades de nopal o las tres dietas, según el experimento, con tres repeticiones por tratamiento para el experimento de variedades y fermentación *in vitro*, y ocho repeticiones para las variables productivas. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \xi_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en el tratamiento i , repetición j .

μ = Media general. $i = 1, 2, 3, \dots, t$

τ_i = Efecto del tratamiento i . $j = 1, 2, 3, \dots, r$

ξ_{ij} = Error aleatorio; $\xi_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Los datos se analizaron con el procedimiento GLM (SAS, 2002) y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P < 0.05$).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Fermentación y degradación *in vitro* de variedades de nopal y dietas con nopal

En el Cuadro 2 se muestra la composición química de las cinco variedades de nopal. La FDN fue el único componente químico que no fue diferente ($P > 0.05$) entre variedades de nopal. La variedad Atlixco tuvo el mayor ($P < 0.05$) contenido de PC, FDA y cenizas, mientras que la variedad Blanca San Martín tuvo la mayor ($P < 0.05$) proporción de MO (Cuadro 2). En contraste, la variedad Atlixco mostró el menor ($P < 0.05$) contenido de MO, las variedades Blanca San Martín y CF1 tuvieron la menor ($P < 0.05$) proporción de PC, la variedad Robusta el menor ($P < 0.05$) contenido de FDA, y la variedad Blanca San Martín el menor ($P < 0.05$) contenido de cenizas.

En un estudio con cladodios frescos de *Opuntia ficus*, Pinos-Rodríguez *et al.* (2010) reportan contenidos de PC (18-10 %) y cenizas (19.3-22.8 %) mayores, y proporciones de FDN y FDA menores, a los encontrados en la presente investigación. Para diferentes variedades de nopal fresco, Cordova-Torres *et al.* (2009) encontraron concentraciones de PC entre 4.49 a 7.23 %, de 46 a 54.3 % para FDN, de 18.4 a 28.7 % para FDA, y de 16.5 a 25.1% para cenizas; y estos datos son similares a los encontrados en el presente estudio. Según Véras *et al.* (2005), en cladodios deshidratados de *Opuntia ficus indica* var Mill, la proporción de PC fue de 6.25 % y de 15 % para FDA, resultados que concuerdan con los valores encontrados en el presente estudio, aunque el contenido de FDN (29.95 %) fue menor. Estos resultados muestran que el contenido de nutrientes del nopal depende

de diversos factores como la variedad del nopal, el estado de madurez y las prácticas de manejo del cultivo. El proceso de picado y secado puede afectar también el contenido de nutrientes, en especial el de los compuestos solubles. En esta investigación se observó que el picado en rodajas respecto al picado con ensiladora, tuvo menos exudados durante el secado al sol.

Cuadro 2. Contenido de materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra insoluble en detergente neutro (FDN) e insoluble en detergente ácido (FDA), y cenizas de cinco variedades de nopal

Componente (%)	Variedades					EE
	O. R	CF1	Blanca	Roja	Atlixco	
MO	83.5 ^{ab}	82.98 ^{ab}	87.42 ^a	82.71 ^{ab}	75.42 ^b	1.36
Proteína	7.12 ^{ab}	6.03 ^b	5.55 ^b	6.63 ^{ab}	9.66 ^a	0.47
FDN	40.059 ^a	37.48 ^a	47.36 ^a	41.50 ^a	48.97 ^a	1.77
FDA	10.10 ^b	15.11 ^{ab}	14.95 ^{ab}	14.44 ^{ab}	17.81 ^a	0.85
Cenizas	14.38 ^{ab}	15.03 ^{ab}	10.32 ^b	14.99 ^{ab}	17.47 ^a	0.75

^{ab} Valores con diferente literal en una hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). EE = error estándar; O.R. = *Opuntia robusta*; CF1 = *Opuntia ficus indica* var Copena Blanca = *Opuntia albicarpa* var Blanca San Martín; Roja = *Opuntia megacantha* var Roja San Martín; Atlixco = *Opuntia ficus indica* var Atlixco; MO = materia orgánica; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido.

En el Cuadro 3 se muestra la degradación de la MS y los parámetros de la cinética de producción de gas de fermentación *in vitro* de las variedades de nopal, a 72 h de

incubación. El volumen máximo (V_m) y la tasa (S) de producción de gas de fermentación no fue diferente ($P > 0.05$) entre variedades, lo cual indica que las diferencias significativas en el contenido de PC, FDA, MO y cenizas, no afectaron los parámetros de fermentación *in vitro* (V_m , S y L).

Cuadro 3. Degradación *in vitro* de la materia seca (DIVMS_{72h}) y parámetros de la cinética de producción de gas de fermentación de cinco variedades de nopal

Variables	Variedades de nopal					EE
	O.R.	CF1	Blanca	Roja	Atlixco	
V_m (mL g ⁻¹ MS)	359.5 ^a	341.1 ^a	345.3 ^a	327.9 ^a	313.4 ^a	8.48
S (h ⁻¹)	0.03 ^a	0.04 ^a	0.03 ^a	0.06 ^a	0.04 ^a	0.005
L (h)	1.38 ^a	0.67 ^a	0.81 ^a	0.97 ^a	1.34 ^a	0.19
DIVMS _{72h}	72.2 ^{ab}	73.2 ^a	68.5 ^{bc}	67.6 ^c	70.2 ^{abc}	0.87

^{a,b,c} Valores con diferente literal en una hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). V_m = volumen de gas máximo; S = tasa de producción de gas; L = fase de retardo; DIVMS_{72h} = degradabilidad *in vitro* de la materia seca a la 72 h; O.R. = *Opuntia robusta*; CF1 = *Opuntia ficus indica* var Copena Blanca = *Opuntia albicarpa* var Blanca San Martín; Roja = *Opuntia megacantha* var Roja San Martín; Atlixco = *Opuntia ficus indica* var Atlixco.

Abidi *et al.* (2009) encontraron que *Opuntia amyclae* y *Opuntia ficus indica* f. *inermis* secados en horno, producen 256 y 290 mL g⁻¹ MO, a 72 h de incubación *in vitro*, lo

cual fue considerablemente menor al producido por la fermentación de las variedades investigadas en este estudio.

La $DIVMS_{72h}$ varió entre 67.6 y 73.2 % (Cuadro 3) y CF1 mostró la mayor $DIVMS_{72h}$, respecto a Blanca y Roja San Martín. Para las variedades de nopal, el Vm no se relacionó ($R^2 = 0.154$) directamente con la $DIVMS_{72}$, contrario a lo encontrado por Posada-Ochoa (2014) y otros investigadores (López *et al.*, 1998; y Noguera *et al.*, 2006). Sin embargo, Sallam *et al.* (2007) mencionan que los perfiles de producción gas no necesariamente se relacionan linealmente con la degradación o la fermentación de sustratos. Es posible que esta discrepancia se deba al contenido mineral y de dextrana que contenga el nopal, pero hasta ahora no hay una explicación completa. Además, el Vm se relacionó positivamente con el contenido de MO ($Vm = 3.05MO + 85.9$; $R^2 = 0.572$) y negativamente con el de FDA ($Vm = -5.51, FDA + 417.27$; $R^2 = 0.763$), respecto a lo cual Sallam *et al.* (2007) indican que la cinética producción de gas depende de las proporciones relativas de partículas solubles e insolubles del alimento.

En vacas, Romo *et al.* (2006) encontraron que el nopal (*Opuntia ficus indica*) seco y molido de la variedad *Italica*, tiene una degradación *in situ* de 86.75 % y postularon que la digestibilidad elevada puede deberse a la alta cantidad de carbohidratos solubles del nopal. Cuando la tasa de producción de gas es alta y el tiempo de retardo es corto se infiere que el sustrato contiene una alta cantidad de carbohidratos solubles fermentables (Sallam *et al.*, 2007). En la presente investigación S varió de 0.03 a 0.06 h^{-1} y L de 0.67 a 1.38 h (Cuadro 3), estos valores son altos y cortos, respectivamente, con relación a pajas carentes de

azúcares (Liu *et al.*, 2002), lo cual apoya el supuesto de que las variedades de nopal tiene alto contenido de carbohidratos solubles fermentables (CSF). En la Figura 3 se muestra la cinética de producción de gas seguida por la fermentación *in vitro* de las variedades de nopal investigadas.

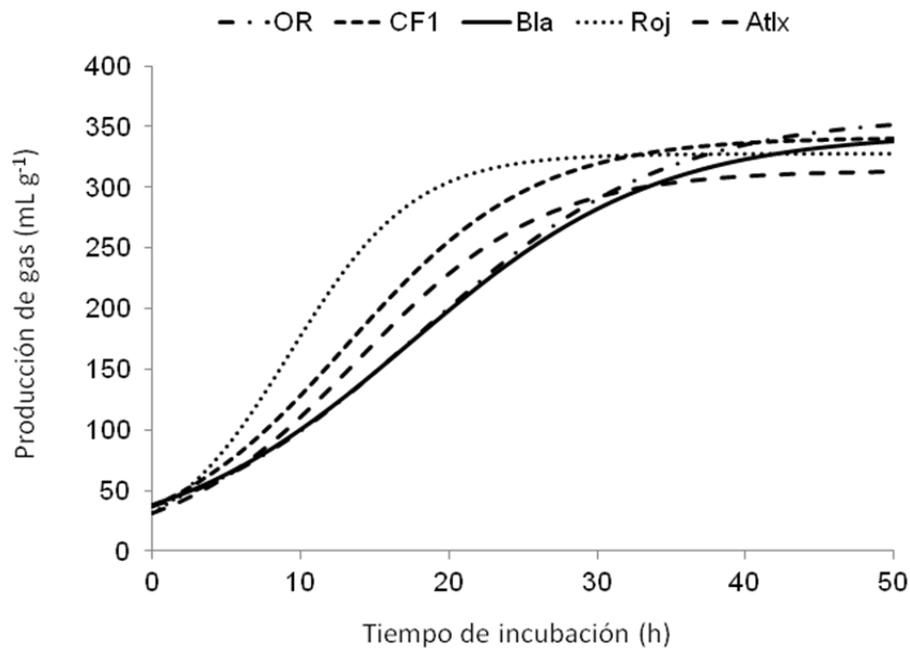


Figura 3. Cinética de la producción de gas de fermentación de *in vitro* de cinco variedades de nopal

O.R. = *Opuntia robusta*; CF1 = *Opuntia ficus indica* var Copena F1, Blanca = *Opuntia albicarpa* var Blanca San Martín; Roja = *Opuntia megacantha* var Roja San Martín; Atlixco = *Opuntia ficus indica* var Atlixco

En el Cuadro 4 se muestran los valores de los parámetros de fermentación y DIVMS_{72h} de las dietas formuladas con harina de nopal. El Vm, S y DIVMS_{72h} fueron similares entre las dietas ($P > 0.05$; Cuadro 4), pero L fue menor para las dietas con 25 y 50 % de HN respecto a la dieta sin nopal ($P < 0.05$), lo cual concuerda con el

supuesto anterior de que el nopal aporta alto contenido de carbohidratos solubles fermentables.

Romo *et al.* (2006), en una investigación con vacas encontraron que la digestibilidad *in situ* de dietas conteniendo 33.3 y 10 % de HN y enzimas exógenas, fue de 84.64 y 89.42 %. Aguilar-Yáñez *et al.* (2011) mostraron que la DISMS_{72h} de dietas con 17 % de nopal deshidratado o fresco, en borregos, fue 87.5 y 90.5 %. Estos valores son superiores a los encontrados en la presente investigación (61.4 a 69.5 %), lo cual puede atribuirse a que en los casos indicados se usó enzimas exógenas y cantidades menores de nopal, además de la variedad usada ya que en este estudio se utilizó cladodios maduros de la variedad forrajera CF1. Aun así se puede considerar que la inclusión de 25 o 50% de nopal seco y molido en dietas totalmente mezcladas para borregos, no afectó su fermentación y degradación *in vitro*.

Cuadro 4. Parámetros de fermentación y degradación *in vitro* de dietas con 0, 25 y 50 % de harina de nopal CF1.

Variables	Dietas con harina de nopal			EE
	0 %	25 %	50 %	
Vm (mL g ⁻¹ MS)	303.66 ^a	307.03 ^a	311.6 ^a	4.98
S (h ⁻¹)	0.04 ^a	0.04 ^a	0.04 ^a	0.0
L (h)	8.69 ^a	8.07 ^b	8.17 ^b	0.34
DIVMS _{72h}	69.55 ^a	64.75 ^a	61.44 ^a	2.34

^{ab} Valores con diferente literal en una hilera son estadísticamente diferentes (P < 0.05). Vm =Volumen de gas máximo; S =tasa de producción de gas; L = fase de retardo; DIVMS_{72h} = degradabilidad *in vitro* de la materia seca a la 72h.

De acuerdo con la producción de gas de fermentación de 200 mg de sustrato, a 24 h de incubación y conociendo su contenido nutrimental de las dietas, se calculó la energía metabolizable de las mismas utilizando la ecuación propuesta por Menke y Steingass (1988) para concentrados:

$$EM \text{ (MJ kg}^{-1} \text{ MS)} = 0.157 \cdot PG_{24h} + 0.0084 \cdot PC + 0.022 \cdot EE - 0.0081 \cdot \text{Cenizas} + 1.06$$

($R^2 = 0.94$)

Donde: PG_{24h} = producción de gas neta en 24 h (mL 200 mg⁻¹ MS), PC = proteína cruda y EE = extracto etéreo (% MS).

Se encontró que las dietas tuvieron una EM de 8.04 a 8.06 MJ kg⁻¹ MS, y este valor es menor al calculado para la formulación inicial de las dietas (10.92 MJ kg⁻¹ MS).

6.2. Comportamiento productivo de los borregos

En el Cuadro 5 se presentan los datos de las variables productivas de los borregos engordados con dietas conteniendo harina de nopal. La dieta con 50 % de HN indujo un pH ruminal similar ($P > 0.05$) a la dieta testigo sin nopal, pero menor ($P < 0.05$) que la de 25 % de HN (Cuadro 5). Varios estudios muestran que el nopal contiene poca fibra y alta cantidad de carbohidratos solubles fermentables en rumen (Nefzaoui and Ben Salem, 2002; Verás *et al.*, 2005), lo cual puede en parte ser la causa en la reducción del pH del líquido ruminal. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Pinos-Rodríguez *et al.* (2011). Sin embargo, a pesar de las diferencias en el pH, la concentración de AGV totales no fue diferente ($P > 0.05$) entre dietas, por lo cual otro factor que puede provocar la caída del pH es el contenido de ácido láctico en el rumen. La acumulación de ácido láctico (AL) en el rumen puede deberse a que los animales son alimentados con grandes cantidades de almidón (rápidamente degradable) o azúcares solubles, y esta acumulación se

produce cuando la tasa de producción supera la capacidad de utilización y absorción del AL por los microorganismos del rumen (Mills *et al.*, 2014). Nocek (1997) y Nagaraja y Titgemeyer (2007) mencionan que a medida que la concentración de AL aumenta, disminuye el pH del rumen y da como resultado la acidosis láctica. En este estudio no se determinó la cantidad de AL; sin embargo, los borregos alimentados con la dieta conteniendo 50 % de HN presentaron diarreas recurrentes, características de animales con acidosis según Plaizier *et al.* (2009), pero para confirmar lo anterior se sugiere que en estudios similares se realice la determinación de el ácido láctico.

La inclusión de 25 % de HN en la dieta redujo ($P < 0.05$) la proporción de ácido acético y tuvo una tendencia no significativa a aumentar la de propionato, respecto a la dieta testigo (Cuadro 5). Se ha discutido que una mayor proporción de acético se relaciona con la eficiencia microbiana y, por lo tanto, con mayor proteína microbiana pasante, pero el incremento de propionato se relaciona con mayor disponibilidad de energía para en rumiante (Fahey y Berger, 1993). Además, los carbohidratos rápidamente fermentables producen una concentración relativamente más alta de propionato y menor de acetato, y ocurre a la inversa cuando la dieta contiene más carbohidratos de lenta fermentación (Getachew *et al.*, 1998), lo cual indica que la inclusión de 25 % de HN a la dieta puede mejorar el balance en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana y utilización de la energía por el borrego.

Cuadro 5. Variables productivas y ruminales de borregos alimentados con dietas con 0, 25 y 50 % de harina de nopal

Variables	Dietas con nopal seco y molido			EE
	0 %	25 %	50 %	
PVI (kg)	26.3 ^a	26.1 ^a	25.9 ^a	0.44
PVF (kg)	36.8 ^a	35.7 ^{ab}	32.4 ^b	0.75
CDMS (kg d ⁻¹)	1.2 ^a	1.2 ^a	1.0 ^a	0.03
GDP (g d ⁻¹)	298.0 ^a	267.0 ^a	175.0 ^b	0.01
CA	4.4 ^a	5.4 ^a	8.7 ^a	0.75
Am _f (mm ²)	916.5 ^a	916.4 ^a	870.1 ^a	25.12
ΔAm (mm ²)	311.9 ^a	268.6 ^a	254.3 ^a	18.72
Gd _f (mm)	2.6 ^a	2.8 ^a	2.6 ^a	0.09
Total AGV (mmol L ⁻¹)	71.1 ^a	80.9 ^a	79.4 ^a	2.21
Ácido acético (%)	62.2 ^a	56.0 ^b	59.3 ^{ab}	0.81
Ácido propiónico (%)	23.3 ^a	28.1 ^a	24.4 ^a	1.02
Ácido butírico (%)	14.5 ^a	15.9 ^a	16.3 ^a	0.74
pH	5.5 ^{ab}	5.8 ^a	5.4 ^b	0.07
N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)	5.0 ^a	4.6 ^a	6.8 ^a	0.60

^{ab} Valores con diferente literal en una hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). EE = error estándar, PVI = peso vivo inicial, PVF = peso vivo final, CDMS = consumo diario de materia seca, GDP = ganancia diaria de peso, CA = conversión alimenticia, Am_f = área de músculo final, ΔAm = ganancia en el área de músculo, Gd_f = grasa dorsal final.

No se encontraron diferencias en la concentración de N-NH₃ entre los tratamientos. (P > 0.05). Sin embargo las concentraciones de amoníaco reportadas en este estudio son menores a las observadas por Martínez *et al.* (2010) en dietas con EM de 8.87 MJ kg⁻¹MS y una relación forraje:concentrado de 7:3, similar a las usadas en este estudio, pero formuladas con paja de alfalfa y paja de heno, donde se encontraron concentraciones de N-NH₃ de 14.8 y 11.5 mg dL⁻¹, respectivamente. De acuerdo con Owens y Zinn (1993), el amoníaco del rumen procede de la degradación de la proteína y del nitrógeno no proteico de la dieta, de la hidrólisis de urea reciclada hacia el rumen y de la degradación de proteína microbiana, El amoníaco desaparece de la reserva ruminal por asimilación microbiana, por absorción a través de la pared del rumen y por pasaje al omaso. Cualquier cambio en estos factores puede alterar la concentración de amoníaco en el rumen. En la presente investigación las dietas (Cuadro 1) no contuvieron urea por lo que se esperaba un nivel de amonio bajo.

Respecto al peso vivo final (PVf), éste fue menor (P < 0.05) en los borregos alimentados con 50 % de HN, respecto al testigo. Esto no se atribuyó al PVi ni al CDMS pues fueron similares (P > 0.05) entre tratamientos (Cuadro 5); más bien se relacionó con las características del nopal como su efecto laxante, alta viscosidad productora de espuma o quizás a un estado de acidosis, los cuales afectan la eficiencia de utilización de nutrientes, ya que estos animales presentaron diarreas recurrentes. La acidosis ruminal subaguda (SARA) se debe, entre otras razones, al consumo de altas cantidades de carbohidratos fermentables y a la falta de fibra efectiva (Plaizier *et al.*, 2009, Zhao *et al.*, 2010), lo cual puede estar relacionado con el nopal.

La GDP fue similar ($P > 0.05$) para los borregos alimentados con 0 y 25 % de HN, pero menor ($P < 0.05$) cuando la dieta contenía 50 % de HN (Cuadro 5). La GDP encontrada en esta investigación en los borregos con dietas de 0 y 25 % de HN es mayor a la reportada por Rubio *et al.* (2010) para borregos (201 g d^{-1}) de la raza Rambouillet, alimentados con dietas con 14 % de PC y $10.2 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ MS}$. La GDP y la CA en borregos de razas comerciales alimentados con dietas conteniendo 17 % de nopal deshidratado, es de 260 g d^{-1} y 4.68 (Aguilar-Yáñez *et al.*, 2011), pero Véras *et al.* (2005), al alimentar borregos con dietas con 28.3 % de nopal deshidratado, encontraron GDP menores (120 g d^{-1}) con una CA mucho mayor (10.7).

El área de músculo inicial, final y la grasa dorsal fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos. Aguilar-Yáñez *et al.* (2011) encontraron longitudes de grasa dorsal de 4.1 y 3.3 mm en borregos de razas comerciales alimentados con 17 % de nopal deshidratado y fresco, respectivamente. Los resultados del presente estudio son menores a los anteriores, y esto puede deberse al aumento de la harina de nopal en la dieta de los borregos.

Respecto a la eficiencia parcial en el uso del alimento (Cuadro 6), los resultados mostraron que en el término cda (trat), la probabilidad asociada con la suma de cuadrados tipo I fue significativa en los tratamientos con 0 y 50 % de HN, lo cual significa que las pendientes de los tratamientos son estadísticamente diferentes. Por lo tanto, los cambios en la ganancia de peso sobre el mantenimiento son distintos entre los tratamientos aplicados. En los tres casos se observa que el PVI tiene un

efecto mínimo en la GDPp, mientras que el CDMS de la dieta testigo afecta mayormente y de manera positiva a la GDPp respecto a las dietas con HN.

Cuadro 6. Eficiencia parcial en el uso del alimento

Tratamiento	Ecuación de predicción	Probabilidad
0 % HN	$GDPp = 0.147 + 0.624 (CDMS) - 0.01 (PVI)$	0.02
25 % HN	$GDPp = 0.147 - 0.095 (CDMS) - 0.01 (PVI)$	NS
50 % HN	$GDPp = 0.147 + 0.425 (CDMS) - 0.01 (PVI)$	0.01

GDPp = ganancia de peso ($g\ d^{-1}$) sobre mantenimiento (eficiencia alimenticia parcial), CDMS = consumo diario de materia seca, PVI = peso vivo inicial. $P < 0.05$

Cuadro 7. Estadísticos descriptivos de las variables de la canal.

Variable	0 % HN				25 % HN			
	Media	DE	Min	Max	Media	DE	Min	Max
RCC (%)	45.67	2.21	44.13	48.87	44.60	1.47	43.12	46.53
RCF _{24h} (%)	45.56	2.51	43.86	49.29	44.88	2.38	42.98	48.33
RBC (%)	29.83	1.76	28.66	32.44	27.88	0.77	27.15	28.90
RBCF _{24h} (%)	58.45	1.63	56.45	60.23	59.60	1.68	58.16	61.86

RCC = rendimiento de la canal caliente, RCF_{24h} = rendimiento de la canal fría a las 24 h, RBC = rendimiento biológico de la canal, RBCF_{24h} = rendimiento biológico de la canal fría a las 24 h.

Debido a que los borregos alimentados con 50 % de harina de nopal no alcanzaron su peso comercial, se decidió sacrificar solamente cuatro borregos de los tratamientos con 0 y 25 % de HN y en el Cuadro 7 se muestran los estadísticos

descriptivos de las variables de la canal. Aguilar-Yáñez *et al.* (2011) reportan valores de 51.1, 47.8, 55.6 y 51.26 % para las variables RCC, RCF, RBC y RBCF_{24h}, respectivamente, en borregos de razas comerciales alimentados con 17 % de nopal deshidratado. Todos esos valores son mayores que los resultados obtenidos en el presente estudio.

7. CONCLUSIONES

El contenido nutrimental de las variedades de nopal investigadas fue diferente en el contenido de MO (cenizas), FDA y PC, pero su degradación y fermentación *in vitro* fueron similares y mostraron un valor de fase de retardo (L) y una tasa alta de producción de gas, lo que indica que tienen una alta cantidad de compuestos solubles fermentables.

La inclusión de 25 y 50 % de harina de nopal en la dieta no afectó la cinética de fermentación ni la DIVMS_{72h}; sin embargo, la inclusión de 50 % de harina de nopal disminuyó las variables productivas de los borregos.

La inclusión de 25 % de nopal en forma seca y molida en raciones totalmente mezcladas, para la engorda de borregos, no afectó la GDP.

8. LITERATURA CITADA

- Abidi, S., Ben Salem, H., Vasta, V., and Priolo, A. 2009a. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica f. inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research*. 87 (1-3): 9-16.
- Abidi, S., Ben Salem, H., Martín-García, A. I., Molina-Alcaide, E. 2009. 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., Hernández-Mendo, O., Guerrero-Legarreta, I., Ramírez-Bribiesca, J. E., Aranda-Osorio, G., and Crosby-Galván, M. M. 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: 23-25.
- Anaya-Pérez, M. A., y Bautista-Zane R. 2008. El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Julio-Diciembre. pp 167-183.
- Andrade-Montemayor. H. M., Cordova-Torres, A. V., García-Gasca, T., and Kawas, J. R. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata spp.*) and Nopal (*Opuntia spp.*). *Small Ruminant Research*. 98 (1-3): 83-92.
- A.O.A.C. 2005. Official methods of analysis of Association of Official Agricultural Chemists. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C. Cap. 4: 2, 8 y 24.

- Aranda, O. G., Flores, V. C., and Cruz, M. F. 2008. Inclusion of cactus pear cladodes in diets for finishing lambs in Mexico. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 2008: 49-55.
- Arteaga, Castelán J. 2007. Diagnostico actual de la situación de ovinos en México. La revista del Borrego. Núm 46 mayo-junio. <http://www.borrego.com.mx/archivo/n46/f46diagnostico.php>. Consultado el 27 de octubre 2011.
- Arteaga, Catelán J. 2012. Mensaje institucional en el acto inaugural del VII Foro ovino del Estado de México. INIFAP. ICAMEX.
- Atti, N., Mahouachi, M., and Rouissi, H. 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goat kids. Meat Science. 73(2): 229-235.
- Barbosa-Cánovas, G., Fernández-Molina, J. J., Alzamora, S. M., Tapia, M., López-Malo, T. M., and Welti, J. 2003. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. FAO Agricultural Services Bulletin, 149. Roma.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., and Abdouli, H. 1994. Palatability of shrubs and fodder trees measured on sheep and dromedaries: Methodological approach. Animal Feed Science Technology. 46: 143-153.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Abdouli, H., and Ørskov, E. R. 1996. The effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica var-intermis*) on intake and digestion by sheep given straw based diet. Record 203 of 217-CAB Abstracts 1/96-10/96.

- Cordova-Torres, A., Gutierrez-Berroeta, I., Kawas, J. R., García-Gasca, T., Aguilera-Barreiro, A., Malda, G., y Andre-Montemayor. 2009. El nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiárida: Efecto del tamaño o madurez de la penca en la digestibilidad *in vivo* y composición. IV Congreso Latinoamericano de la Asociación de especialistas en pequeños rumiantes y camelidos sudamericanos. XXIV Reunión AMPCA. Querétaro, México. pp 143-151
- Corrales-García, J., y Saénz, C. 2006. Uso de los cladodios del nopal en productos alimenticios. pp: 51-64. *In*: Rosell C. ed. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 162. Roma. 165 p.
- Domínguez, Vara I. A. 2000. Influencia de cromo y selenio orgánicos en el crecimiento, uso de nutrientes, estado inmune y características de la canal de ovinos en engorda intensiva. Tesis de Doctorado del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Montecillo, Estado de México. pp 63-66.
- Erwin, S. S., Marco, G. J., and Emery, E. 1961. Volatile fatty acid analysis of bloof and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*. 44:1768-1771.
- Estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. 2012. Resumen del mes de febrero de 2012. <http://www.cm.colpos.mx/meteoro/reporte/index4.htm>. Consultado el 25 de octubre de 2013.
- Fahey, G. C. Jr., y Berger, L. L. 1993. Los carbohidratos en la nutrición de los rumiantes. *In*: Church C.D. ed. El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. pp 305-337

- FAO. 2012. Consumo de carne.
<http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>. Consultado el 4 de enero de 2014.
- FAO/SMIAR. 2011. Perspectivas alimentarias. Análisis del mercado mundial.
<http://www.fao.org/docrep/014/al978s/al978s00.pdf>. Consultado el 27 de octubre de 2013.
- Flores, V. C. A., y Aguirre, R. J. R. 1979. El Nopal como Forraje. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México. 80 p.
- Flores, C., de Luna, J. M., y Ramírez, P. P. 1995. Mercado Mundial del Nopalito. ASERCA-UACH-CIESTAAM. Chapingo, México. 115 p
- Flores, Valdez C. A. 2002. El nopal y la lucha contra la desertificación. Folleto Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAM. 36 p
- Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. P. S., and Becker, K. 1998. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 72: 261-281
- González, G. R., Blardony, R. K., Ramos, J. J. A., Ramírez, H. B., Sosa, R., y Gaona, P. M. 2013. Rentabilidad de la producción de carne de ovinos Katahdin x Pelibuey con tres tipos de alimentación. *Avances en la Investigación Agropecuaria*. 17(1): 135-148
- Grebermariam, T., Melaku, S., and Yami, A. 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(2006): 42-51

- Hernández, C. L., Ramírez, B. J. E., Guerrero, L. M. I., Hernández, M. O., Crosby, G. M. M., and Hernández, C. L. M. 2009. Effects of crossbreeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*. 61(2): 475-483.
- INEGI. 2013. Censo agrícola, ganadero y forestal.
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/censo_agrope/2007/metodo_2007/SinMetCAGyF.pdf Consultado el 24 de enero del 2014.
- Liu, J. X., Susenbeth, A., and Südekum, K. H. 2002. In vitro gas production measurements to evaluate interactions between untreated and chemically treated rice straws, grass hay, and mulberry leaves. *Journal of Animal Science*. 80: 517-524
- López, S., Carro, M. D., González, J. S., Ovejero, F. J. 1998. Comparasion of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hay in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*. 73: 99-113.
- Martínez, M. E., Ranilla, M. J., Tejido, M. L., Saro, C., and Carro, M. D. 2010. The effect of the diet fed to donor sheep on *in vitro* methane production and ruminal fermentation of diets of variable composition. *Animal Feed Science and Technology*. 158: 126-135
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clinical Chemistry*. 17:297-304.

- Menke, K. H., and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analyses and gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*. 28: 7-55.
- Mills, J. A. N., Crompton, L. A., Ellis, J. L. Dijkstra, J., Bannink, A., Hook, S., Benchaar, C., and France, J. 2014. A dynamic mechanistic model of lactic acid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*. 97(4): 2398-2414
- Murillo-Amador, B., Ávila-Serrano, N. Y., y Flores-Hernández, A. 2006. Producción agroecológica de forrajes en zonas áridas. Congreso Mexicano de Ecología. Morelia Mich. México. Sociedad Científica Mexicana de Ecología A. C. Resúmenes de las ponencias presentadas en los simposia. 37 p.
- Nagaraja, T. G., and Titgemeyer, E. C. 2007. Ruminant acidosis in beef cattle: The current microbiological and nutritional outlook. *Journal of Dairy Science*. 90 (E. Suppl.):E17–E38.
- Nefzaoui, A., and Ben Salem, H. 2002. Forage, fodder and animal nutrition. Edited by P.S. Nobel. University of California Press, USA. pp 199-210
- Nobel, P., Cavelier, J., and Andrade, J. L. 1992. Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations. *Journal of Experimental Botany* 43 (250): 641-648.
- Nobel, P.S. 1998. Los incomparables ágaves y cactus. Ed. Trillas. México. 211p
- Nobel, P.S. 1999. Biología ambiental. En: Barbera G., Inglese P. y Pimienta, Eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, 132. Roma. pp. 37-50

- Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis: Implications on laminitis. *Journal of Dairy Science*. 80:1005–1028.
- Noguera, R. R., Ramírez, I. C., y. Bolivar, D. M. 2006. Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación in vitro del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Livestock Research for Rural Development*. <http://www.lrrd.org/lrrd18/5/nogu18062.htm>. Consultado el 21 de abril de 2014.
- Ortiz-Heredia, M., Miranda-Romero, L., Lara-Bueno, A., Martínez-Hernández, P., Sanchez del Real, C., y Aranda-Osorio, G. 2013. Comportamiento productivo de corderos con dietas de harina de nopal y ensilado de nopaltuna. En: Memoria de la XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. y IX Seminario Internacional de ovinos en el Trópico. 445-448
- Osório, J. C., Maria, G., Borba, M., Jardim, P., y Povey, J. 1998. Estúdio comparativo de três sistemas de produção de carne en ovinos Polwarth en Brasil. *Producción Ovina y Caprina*. 23: 461-464.
- Owens, F. N., y Zinn, R. 1993. Metabolismo de la proteína en los rumiantes. *In*: Church C.D. ed. *El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. pp 255-281
- Partida de la Peña, J. A., Braña, V. D., Jiménez, S. H., Ríos, R. F. G., y Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. Libro técnico No. 5. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal- INIFAP. Querétaro, México. 107 p

- Pimienta-Barrios, E., y Muñoz-Urías, A. 1999. Domesticación de nopales tuneros (*Opuntia spp.*) y descripción de las principales variedades cultivadas. pp. 61-67. In: Barbera, G., Inglese, P y Pimienta Barrios, E. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 132. Roma.
- Pinos-Rodríguez, J. M., Velázquez, J. C., González, S. S., Aguirre, J. R., García, J. C., Álvarez, G., and Jasso, Y. 2010. Effects of cladode age biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. South African Journal of Animal Science. 40(3): 245-250
- Pinos-Rodríguez, J. M., Velásquez-Blanco, J. C., González-Muñoz, S. S., García-López, J. C., Aguirre-Rivera, J. R., and Bárcena, R. 2011. Evaluation of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) as forage in high concentrate total mixed ratio non finishing lambs. Journal of Applied Animal Research. 32(2007): 161-164
- Plaizier, J. C., Krause, D. O., Gozho, G. N., and McBride, B. W. 2009. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. The Veterinary Journal. 176: 21-31.
- Posada-Ochoa, S. L., Ramírez-Agudelo, J. F., Rosero-Noguera, R. 2014. Producción de metano y digestibilidad de mezclas de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) – papa (*Solanum tuberosum*). Agronomía Mesoamericana. 25(1):141-150
- Reveles-Hernández, M., Flores-Ortiz, M. A., Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R. D., y Reyes, G. F. 2010. El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. VII Simposium-Taller Nacional y 1er

Internacional "Producción y aprovechamiento del Nopal". Revista salud pública y nutrición. Edición especial No 5(2010). pp 130-144. www.respyn.uanl.mx/especiales/2010/ee-05.../10.pdf Consultado el 25 de octubre de 2013.

- Romo, M. M., Tirado, E. G., Mejía, H. I., Caramillo, S. I., y Cruz-Vázquez, C. 2006. Digestibilidad *in situ* de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 41(7): 1173-1177
- Rubio, T. E., Quezada, C. A., Maldonado, G. D., Dzul, J. A. C., Jaramillo, L. E., y Pérez, E. E. 2010. Eficiencia alimenticia, rendimiento y componentes de la canal de corderos panza negra, rambouillet y sus mestizos. Ciencia en la Frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ. 5: 33-38
- Saéncz, C. 2006a. Los nopales como recurso natural. pp: 1-6. *In*: Rosell C. ed. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 162. Roma. 165 p.
- Saéncz, C. 2006b. Características y composición química de los nopales. pp: 17-22. *In*: Rosell C. ed. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 162. Roma. 165 p.
- Saéncz, C. 2006c. Utilización de los frutos del nopal en productos alimenticios. pp: 35-50. *In*: Rosell C. ed. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 162. Roma. 165 p.
- SAGARPA. 2014. Estimación del consumo nacional aparente 1990-2005. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Estadisticas/Lists/Estadsticas/Attachme>

[nts/2/Estimaci%C3%B3n%20del%20Consumo%20Nacional%20Aparente%201990-2005%20Carne%20de%20ovino.pdf](https://www.repositorio.cepal.org/bitstream/handle/10665/442424/S1201001.es.pdf). Consultado el 4 de enero de 2014.

- Sallam, S. M. A., Nasser, M. E. A., El-Waziry, A. M., Bueno, I. C. S., and Abdalla, A. L. 2007. Use of an *in vitro* rumen gas production technique to evaluate some ruminant feedstuffs. *Journal of Applied Sciences Research*. 3(1): 34-41
- Sallam, S. M. A., Bueno, I. C. S., Godoy, P. B., Nozella, E. F., Vitti, D. M. S. S., and Abdalla, A. L. 2008. Nutritive value assessment of the artichoke (*Cynara scolymus*) by-product as an alternative feed resource for ruminants. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8(2): 181-189
- Sánchez, D. E., Arreaza, L. C., y Abadía, B. 2005. Estudio de la cinética de degradación *in vitro* de cuatro forrajes tropicales y una leguminosa de clima templado. *Revista Corpoica* 6(1): 58-68
- SAS (Statistical Analysis System Institute). 2002. SAS Proceeding Guide, Version 9.0 SAS Institute. Cary, NC. USA. 11 p
- Schmidt-Hebbel, H., Pennacchiotti, I. Masson, L., y Mella, M. A. 1990. Tabla de composición química de alimentos chilenos. (8ª Ed). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. Santiago.
- Schofield, P., Pitt, R. E., and Pell, N. 1994. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *Journal of Animal Science*. 72: 2989-2991
- SIAP-SAGARPA. 2012a. Resumen nacional: producción, precio, valor, animales sacrificados y peso 2012. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-nacional-pecuario/>. Consultado el 4 de febrero de 2014.

- SIAP-SAGARPA. 2012b. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2012. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultado el 5 de febrero de 2014.
- SIAP-SAGARPA. 2013. Carne en canal de ovino, avance mensual de la producción pecuaria, 2013. <http://www.siap.gob.mx/avance-de-la-produccion-pecuaria/>. Consultado el 4 de febrero del 2014.
- Tegegne, F., Kijora, C., and Peters, K. J. 2007. Study on optimal 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., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., and France J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48: 185-197
- Van Soest, J. P., Robertson, J. B., and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583-3597.
- Véras, R. M. L., Ferreira, M. de A., Cavalcanti, C. V. de A., Véras, A. S. C., de Carvalho, F. F. R., dos Santos, G. R. A., Alves, K. S., and Júnior, R. J. de S. M. 2005. Replacement of corn by forage cactus meal in growing lambs diets. *Performance Revista Brasileira de Zootecnia*. 34(1): 249-256.
- Zhao, X. H., Zhang, T., Xu, M., and Yao, J. H. 2010. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. *Journal of Animal Science*. 89: 501-509.