

*Revista Electrónica Nova Scientia*

Dietas a base de forraje tradicional y nopal  
(*Opuntia* spp.) enriquecido con proteínas para  
alimentar cabras

Diets based on traditional forages and prickly pear  
(*Opuntia* spp.) supplemented with protein to feed  
goats

**Arnoldo Flores-Hernández<sup>1</sup>, J. Teodorico Araújo-Filho<sup>2</sup>,  
Fernando Gomes da Silva<sup>3</sup>, Sergio Ramírez-Ordoñez<sup>4</sup> y  
Bernardo Murillo-Amador<sup>5</sup>**

---

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Alagoas, Río Largo, Brasil.

<sup>3</sup>Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Agrário do Estado de Alagoas, Brasil.

<sup>4</sup> Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, Oaxaca, México.

<sup>5</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

---

**México**

Dr. Bernardo Murillo-Amador. E-mail: bmurillo04@cibnor.mx

## Resumen

El objetivo fue determinar la composición química de las dietas y su efecto en la ganancia de peso vivo, consumo y rechazo de alimento. El estudio se realizó mediante un diseño completamente azar con tres repeticiones y como factor principal tres dietas cuyos componentes fueron: dieta 1) 40% heno de alfalfa + 60% heno de sorgo, dieta 2) 40% nopal seco natural + 60 % heno de sorgo y dieta 3) 40% nopal seco enriquecido con proteínas + 60% heno de sorgo. Los resultados mostraron que la dieta de nopal enriquecido con proteínas y la dieta de nopal seco natural poseen una calidad nutritiva mayor, pero las condiciones de secado y/o almacenamiento tuvieron efecto en la calidad de los componentes de las dietas evaluadas. La ganancia de peso vivo fue mayor en cabras alimentadas con la dieta de nopal-E, pero el porcentaje de alimento rechazado (menor palatabilidad) fue mayor para esta dieta. La ganancia de peso vivo fue menor en alfalfa y nopal seco natural, respectivamente. La ganancia de peso y el tiempo de alimentación mostraron correlación positiva y significativa; sin embargo, se debe determinar el tiempo óptimo de alimentación y evaluar el costo-beneficio de las dietas utilizadas.

**Palabras clave:** alimentación, nutrición animal, fermentación sólida, rumiantes

*Recepción:* 11-01-2017

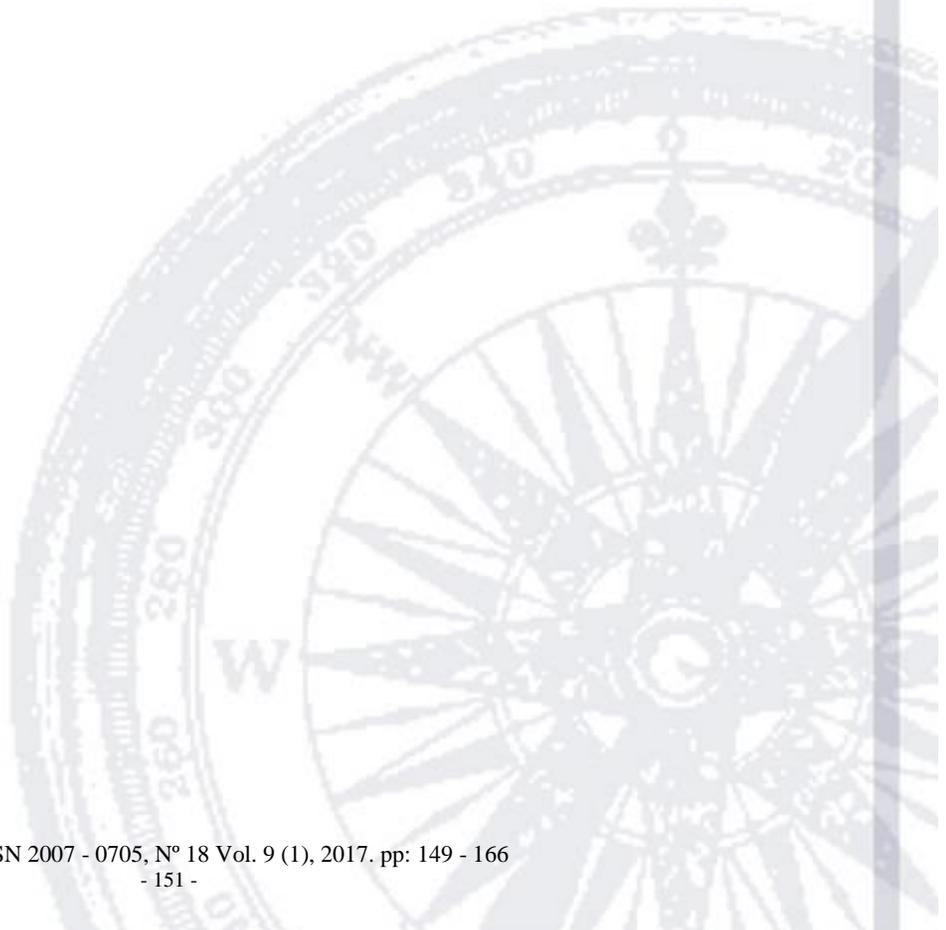
*Aceptación:* 04-03-2017

## Abstract

The objective was to determine the chemical composition of the diets and their effect on live weight gain, consumption and feed rejection. The study was conducted in a completely randomized design with three replications and as main factor three diets with following components: diet 1) 40% alfalfa hay + 60% sorghum hay, diet 2) 40% natural dry nopal + 60% sorghum hay and diet 3) 40% dry nopal enriched with protein + 60% sorghum hay. The results showed that the diet of nopal enriched with proteins natural dry nopal have highest nutritive

quality but the drying and/or storage conditions affect the quality of the components of the evaluated diets. The live weight gain was higher in goats fed with the diet of nopal enriched with protein but the percentage of forage rejected was higher in this diet. The live weight gain was lower in alfalfa and natural dry nopal, respectively. The live weight gain and the time of forage consumption showed positive and significant correlation; however, it is necessary to determine the optimal time of forage consumption and evaluate the cost-benefit of diets.

**Keywords:** Feeding, animal nutrition, solid fermentation, ruminants



## Introducción

La Región Lagunera localizada al norte de México que limita con el Desierto Chihuahuense, con clima cálido seco y precipitación inferior a los 300 mm anuales (García, 2004, 90), es una de las zonas agrícolas de riego más productivas de México. Esta región que forma parte de los Estados de Coahuila y Durango, tiene una superficie de 4,788,750 ha y exhibe una extraordinaria diversidad de especies vegetales (INEGI, 2012, 331). La vocación eminentemente ganadera en la región se demuestra por su importancia como cuenca lechera y productora de carne a nivel nacional, con 598,176 cabezas de ganado bovino carne-leche y 476,494 cabezas de ganado caprino en el 2001. En ambos tipos de ganado ha disminuido su población en la última década, ya que en el 2014 se registraron 578,740 cabezas de ganado bovino y 413,414 de ganado caprino (SIAP, 2015). Esta disminución se produjo por la reducción de la precipitación, deforestación crítica y erosión en las áreas montañosas, que provocan la limitación del volumen de agua captado (Guzmán-Soria *et al.*, 2006, 793) y la reducción sucesiva de la superficie cultivada, ya que en 1998 se cultivaban 175,341 ha, mientras que para 2014, esta superficie se redujo a 151,802 ha, existiendo ciclos en que no se realizó dotación de agua. Los cultivos principales en la región son los forrajeros, destacando la alfalfa (39,175 ha), ocupando en el año 2014 el 25.8% de la superficie sembrada (SIAP, 2015). En la Comarca Lagunera destaca la actividad agropecuaria dirigida hacia la producción de leche de ganado bovino y caprino, que en el año 2014 registró una producción promedio de 1,324,759 (miles de litros) de leche de vaca respecto a la producción nacional de 11,394,663 (miles de litros) destacando la producción de leche de cabra con 61,679 (miles de litros) que corresponde casi al 40 % de la producción nacional (158,892 miles de litros) (SIAP, 2015). Sin embargo, el déficit de agua para riego es una limitante en la producción agropecuaria (Guzmán-Soria *et al.*, 2006, 793). Por lo anterior, se deben diseñar estrategias de investigación tendientes a implementar prácticas mejores de cultivo y alternativas de producción de forraje verde, ya que la alfalfa, el forraje seleccionado en la región, es una especie que consume más agua respecto a otras especies forrajeras, con láminas anuales que varían de 188 cm (riego por agua rodada) a 165 cm (riego por aspersión) (Moreno-Díaz *et al.*, 2000, 102).

El nopal (*Opuntia* spp.) es un recurso vegetal importante en el norte de México; se considera un almacén natural de agua y es muy eficiente en el consumo de ésta, con láminas de 30 a 60 cm en riego por goteo, acorde con la evaporación mensual acumulada (Orona-Castillo *et al.*, 2008, 18) y con rendimiento promedio de 20 t ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup> de verdura-forraje (Flores-Hernández *et al.*, 2007,

1). El nopal silvestre se utiliza como forraje en las épocas de sequía y es una alternativa en la alimentación de ganado bovino, caprino, ovino y equino (Flores y Aguirre, 1992, 80; Fuentes-Rodríguez, 1997, 82; Murillo-Amador *et al.*, 2002, 97). Flores-Hernández *et al.* (2011, 22) reportan que el proceso de enriquecimiento proteico incrementa la proteína cruda del nopal del 4 al 30% a través de la fermentación semisólida. El enriquecimiento proteico en especies vegetales incluyendo el nopal, se reporta en Cuba (Elías *et al.*, 1990, 1), Brasil (Lira *et al.*, 1989, 241; Tabosa *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2005, 161) y México (Aranda-Osorio, 2006, 22; Miranda-Osorio *et al.*, 2009, 23; Díaz-Plascencia *et al.*, 2012, 1). El objetivo del estudio fue determinar la composición química de tres dietas: 1) 40% de heno de alfalfa (alfalfa) + 60% de heno de sorgo, 2) 40% de nopal seco natural (nopal) + 60 % de heno de sorgo y 3) 40% de nopal seco enriquecido con proteínas (nopal-E) + 60% de heno de sorgo, y su efecto en el incremento de peso, consumo y rechazo, en la alimentación de cabras criollas con encaste de Nubia.

## **Materiales y Métodos**

### **Sitio de estudio**

El trabajo se realizó en un predio del ejido La Victoria, Municipio de Mapimí, Durango, México, localizado a los 25° 49'54.84" Norte y 103° 50'54.10" Oeste, a 1140 msnm, en la Comarca Lagunera de Durango en los límites del Desierto Chihuahuense. La localidad posee un clima semi cálido-seco con una temperatura media anual entre 18 y 22°C; un régimen de precipitación de 220 mm anuales y una humedad relativa promedio anual de 45% (García, 2004, 90). El periodo del estudio fue del 3 de octubre al 18 de diciembre de 2014.

### **Composición química (análisis proximal) de las dietas**

Los componentes de las dietas fueron: dieta 1) 40% de heno de alfalfa (alfalfa) + 60% de heno de sorgo, dieta 2) 40% de nopal seco natural (nopal) + 60% de heno de sorgo y dieta 3) 40% de nopal seco enriquecido con proteínas (Nopal-E) + 60% de heno de sorgo. El nopal enriquecido se obtuvo por la fermentación semisólida con levadura *Saccharomyces cerevisiae* al 1% y sulfato de amonio al 2%. Se realizó análisis proximal en fresco (excepto para sorgo) y seco de los componentes alfalfa, nopal seco natural y nopal seco enriquecido. Después del secado, todos los componentes se almacenaron durante tres meses y posteriormente se determinó la composición química siguiente: materia seca (MS) mediante el proceso de materia seca parcial adaptado de

Goering y Van Soest (1970, 387) con modificación adicional de 105 °C por 2 h. Las cenizas (C) se determinaron de acuerdo al proceso de cenizas de alimentación animal (942.05, AOAC, 2005a, 8). La proteína cruda (PC) según el proceso de PC de alimentación animal (990.03, AOAC, 2005b, 30). Fibra detergente ácida (FDA) acorde al proceso para FDA y lignina en alimentación animal (973.18, AOAC, 1997, 28). La fibra detergente neutra (FDN) y los carbohidratos no estructurales (CNE) se determinaron por el método de Van Soest *et al.* (1991, 3583). Los nutrientes digestibles totales (NDT) y la energía metabolizable (EM) según técnica propuesta por McDonald *et al.* (2002, 461). Los análisis se realizaron en el laboratorio del Centro para la Integración y Desarrollo de la Industria Alimentaria de Durango, A.C. (laboratorio certificado) en la ciudad de Gómez Palacio, Durango, México.

### **Diseño experimental**

Se utilizaron 9 cabras criollas con características fenotípicas dominantes de la raza Nubia y se incluyó una cabra adicional de peso medio en cada una de las tres dietas como posible reemplazo, mismas que se mantuvieron en condiciones de manejo estabulado en corrales individuales, considerando cada cabra como unidad experimental. Los tratamientos fueron tres dietas con base en el peso seco que se distribuyeron en un diseño completamente al azar con tres repeticiones (cabras) por dieta. Los componentes fueron: dieta 1) 40% de heno de alfalfa (alfalfa) + 60% de heno de sorgo, dieta 2) 40% de nopal seco natural (nopal) +60 % de heno de sorgo y dieta 3) 40% de nopal seco enriquecido con proteínas (nopal-E) + 60% de heno de sorgo. Se utilizaron cabras cuyo peso y edad promedio fueron 26.1 kg y 8 meses.

### **Variables evaluadas**

Las cabras se alimentaron durante nueve semanas (63 días) con las dietas mencionadas, suministrando el alimento dos veces al día (10:00 y 18:00 h). La ganancia de peso se evaluó en la semana nueve, previo a una adaptación a la dieta durante dos semanas iniciales; después de este período, el consumo de materia seca se ajustó quincenalmente con base al 4% del peso vivo del animal (Tabla 2). El consumo como un indicador de la palatabilidad se determinó al medir el peso (g) del alimento rechazado por cada cabra, tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes), dos veces por día (mañana y tarde) y durante las nueve semanas de experimentación.

## Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza y las diferencias dentro de variables entre dietas se realizó mediante contrastes ortogonales ( $p \leq 0.05$ ), es decir, comparaciones independientes de medias. El primer contraste se realizó comparando la dieta 1 (heno de alfalfa + heno de sorgo) contra la dieta 2 (nopal seco natural + heno de sorgo) y el segundo contraste se realizó comparando la dieta 2 (nopal seco natural + heno de sorgo) contra la dieta 3 (nopal enriquecido con proteínas + heno de sorgo). Las mediciones del alimento rechazado se incluyeron en un modelo estadístico de mediciones repetidas en el tiempo y se determinó el efecto de dietas, tiempo y la interacción de dietas×tiempo. Se realizó análisis de correlación de Pearson ( $p \leq 0.05$ ) entre el tiempo de experimentación y la ganancia de peso por dietas, así como un análisis de regresión para determinar el incremento de la ganancia de peso vivo a través del tiempo. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica® v. 10.0 (StatSoft, 2011, 1098).

## Resultados y Discusión

### Composición química de las dietas

En la tabla 1 se muestra la composición química de los ingredientes de las dietas en seco (heno) y fresco (excepto para sorgo). Como era de esperarse, la materia seca (MS) disminuyó cuando el análisis proximal se realizó en fresco. Por el contrario, la proteína cruda (PC) fue mayor todas las dietas en base al peso fresco. La PC en peso seco respecto a peso fresco disminuyó más de 9% en nopal enriquecido con proteínas (nopal-E) y en alfalfa, y, en menor proporción en nopal seco natural (nopal), mientras que la proteína soluble (PS) disminuyó en proporción mayor en alfalfa. La energía metabolizable (EM) también mostró tendencia de disminuir en proporción menor en alfalfa y nopal-E. Lo anterior es un indicio que las condiciones de secado y/o almacenamiento tienen efecto en la calidad del forraje. En el resto de los componentes no se observó una tendencia definida. Aunque las condiciones de secado y/o almacenamiento afectaron el contenido de PC, el nopal-E mostró mayor contenido de PC con respecto a heno de alfalfa, sorgo y nopal seco natural. Asimismo, el contenido de PC en nopal-E en este estudio, fue mayor a los valores de PC reportados por Díaz-Plascencia (2012, 1) en nopal de la variedad AN-TV6, cuyo valor promedio de PC fue de 17.7% y utilizó nopal fermentado con levadura *Kluyveromyces lactis* (1%), urea (0.02%), sulfato de amonio (0.02%), calcio (0.001%) y minerales traza (0.005%). El heno de sorgo mostró contenido de fibra (FDN y FDA) alto, seguido de alfalfa mientras que

nopal seco natural y nopal-E mostraron valores inferiores. Estos resultados confirman que la adición de heno de sorgo en las dietas, sobre todo las que contienen nopal, es benéfica dado que aporta una cantidad de fibra mayor. El nopal natural y nopal-E mostraron contenido mayor de carbohidratos no fibrosos (CNF) respecto a heno de sorgo y alfalfa, lo que favorece el proceso de fermentación tanto externa (enriquecimiento proteico) como interna (fermentación ruminal). En el heno de nopal-E y nopal natural se registró un valor mayor de energía metabolizable (EM) respecto al heno de alfalfa y de sorgo, lo cual le confiere al nopal, una calidad nutritiva mayor, tal y como lo reportó Felker (2003, 65) quien encontró un valor de 2.61 Mcal kg<sup>-1</sup> en nopal (*Opuntia* spp.), superando al pastizal (2.08 Mcal kg<sup>-1</sup>) y con valor muy cercano al de alfalfa (2.64 Mcal kg<sup>-1</sup>) lo que es un indicador de calidad buena del nopal como forraje (Arbiza-Aguirre, 1986, 143). El nopal natural así como el nopal-E destacan en relación con heno de sorgo y de alfalfa por su contenido de minerales (cenizas) mayor. Asimismo, el heno de nopal natural y nopal-E mostraron un contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) superior a los de alfalfa y sorgo, que son similares a los carbohidratos no estructurales (46.3 al 50%) y superiores a los minerales (14.6 a 17.1%) reportados para el género *Opuntia* por Torres-Sales (2011, 143).

Tabla 1. Composición química con base a peso seco de los componentes suministrados a la dieta de cabras criollas estabuladas.

Componente	Sorgo		Alfalfa		Nopal natural		Nopal-E	
	Heno	Fresca	Seca	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
Materia seca (%)	94.77	30.60	94.45	12.90	92.09	12.50	92.06	
Proteína cruda (%)	5.98	25.80	16.04	6.44	4.90	29.80	20.56	
Proteína soluble (%)	61.90	62.00	45.54	44.18	40.20	60.90	60.71	
FDN (%)	69.40	34.70	45.72	21.34	14.70	18.30	17.52	
FDA (%)	48.60	28.60	37.36	19.70	11.90	16.60	17.98	
CNF (%)	12.06	27.60	25.08	43.85	53.3	24.40	33.91	
NDT (%)	53.00	64.00	55.01	53.15	61.00	57.20	56.41	
EM (Mcal kg <sup>-1</sup> )	1.87	2.50	2.07	1.88	2.13	2.27	2.21	
Cenizas (%)	17.50	11.00	11.90	27.99	24.70	25.50	26.78	

FDN=Fibra Detergente Neutra. FDA=Fibra Detergente Ácida. CNF=Carbohidratos No Fibrosos. NDT=Nutrientes Digestibles Totales. EM=Energía Metabolizable.

### Consumo de forraje

La cantidad de alimento por dieta, ofrecido a las cabras fue igual; sin embargo, esta se incrementó quincenalmente con base al 4% del peso vivo del animal y en la misma cantidad en todas las dietas (Tabla 2). Para este tipo de estudios y con el fin de precisar la cantidad total de

alimento suministrado en peso fresco, se debe considerar la cantidad de peso seco promedio de los diferentes componentes. Aunque para sorgo recién cortado no se determinó el peso seco, estudios previos realizados en la misma región por Flores-Hernández *et al.* (2011, 22) reportan un peso seco promedio de 22% para heno de sorgo, un 30% para alfalfa, 13% para nopal seco natural y 13% para nopal-E. Si se considera un peso seco promedio de 20% de los componentes de las dietas de este estudio, se estima que se requieren en promedio para todo el experimento, 83 kg de forraje fresco, correspondiendo a un suministro promedio diario de 1.31 kg. Este valor puede ser relativamente bajo si se considera que las ovejas y cabras consumen entre 3 y 9 kg día<sup>-1</sup> de nopal en época de sequía (López-García *et al.*, 2003, 1). Aun cuando nopal-E mostró mayor PC respecto a los otros componentes de las dietas, se requiere una cantidad mayor de nopal fresco de acuerdo al porcentaje de peso seco (13%) en relación a lo que se requiere de alfalfa y sorgo; además, para nopal-E se invirtieron 24 horas y otros insumos para producirlo. Es decir, se requiere casi el doble de nopal-E fresco respecto a la alfalfa fresca para que la comparación en ambos forrajes sea válida. En este sentido, cabe cuestionarse ¿cuáles son las ventajas comparativas de nopal en relación con la alfalfa?, ¿por qué preferir nopal seco natural o nopal-E? Para responderlas se deben considerar dos aspectos importantes, el primero se refiere al gasto aproximado de agua utilizado en alfalfa, con una lámina total que fluctúa de los 145 cm (Rivera-González y Estrada-Avalos, 2002, 275; Rivera-González *et al.*, 2006, 309) a los 188 cm (Moreno-Díaz *et al.*, 2000, 102) mientras que en nopal, la lámina de riego fluctúa de 30 a 60 cm (45 cm promedio) según la evaporación mensual en la región donde se realizó el presente estudio (Orona-Castillo *et al.*, 2008, 18) por lo que se tiene un ahorro de hasta cinco veces la cantidad de agua por hectárea en nopal respecto a alfalfa. El segundo aspecto concierne al rendimiento promedio por hectárea de alfalfa verde (30% de peso seco) el cual es de 35 t ha<sup>-1</sup> en riego rodado –surcos o melgas- (SIAP, 2015) y de 63.1 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en riego por goteo (Moreno-Díaz *et al.*, 2000, 102), mientras que el rendimiento promedio de nopal (brote tierno o nopalito) en altas densidades de plantación y con riego por goteo es de 21 t ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup> (Flores-Hernández *et al.*, 2007, 1) por lo que al comparar el rendimiento de ambas especies utilizando riego por goteo por un periodo de 10 meses en el año, la producción es tres veces mayor en nopal. En este sentido, las ventajas son a favor para nopal y más para nopal-E, por su efecto en la ganancia de peso vivo en cabras, una vez que se consideren los costos de operación, capacitación, precio y demanda del nopal como forraje en la región.

Tabla 2. Ración diaria y quincenal (g en base seca) de la dieta dividida en dos horarios (10:00 y 18:00 h) y suministrada a cabras criollas estabuladas.

Dietas*	Ración diaria (g)				Ración quincenal (g)			
	Periodos quincenales				Periodos quincenales			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Alfalfa	300	375	450	525	9000	11250	13500	15750
Nopal	300	375	450	525	9000	11250	13500	15750
Nopal-E	300	375	450	525	9000	11250	13500	15750

\* Alfalfa= 40% de heno de alfalfa + 60% heno de sorgo. Nopal= 40% de nopal seco natural + 60 % de heno de sorgo. Nopal-E= 40% de nopal seco enriquecido con proteínas + 60% de heno de sorgo. Se consideran tres cabras por dieta.

### Ganancia de peso

El peso inicial de las cabras asignadas a cada dieta no presentó una variación significativa, a pesar de que numéricamente el peso inicial fue mayor en las cabras asignadas a las dietas (orden descendente) de alfalfa, nopal natural y nopal-E, respectivamente. El peso en el periodo de nueve semanas, tampoco mostró diferencias significativas. Ganancia de peso no mostró diferencias significativas entre dietas ( $F_{2,6}=2.59$ ,  $p=0.15$ ); sin embargo, numéricamente la ganancia de peso fue mayor en las cabras alimentadas con nopal-E, seguido por las alimentadas con alfalfa y nopal seco natural, respectivamente (Tabla 3). A pesar de no existir significancia estadística, se realizaron los contrastes ortogonales; el primero entre la dieta 1 (heno de alfalfa + heno de sorgo) contra la dieta 2 (nopal seco natural + heno de sorgo), cuyo resultado mostró que no existe diferencia significativa entre estas dos dietas ( $F_{1,6}=2.22$ ,  $p=0.18$ ), mientras que el segundo contraste se realizó comparando la dieta 2 (nopal seco natural + heno de sorgo) contra la dieta 3 (nopal enriquecido con proteínas + heno de sorgo) sin diferencia significativa entre estas dos dietas ( $F_{1,6}=5.01$ ,  $p=0.06$ ). Otros estudios reportan que la ganancia de peso vivo está ligada al consumo y aprovechamiento del forraje y que depende no solo de los factores intrínsecos del animal sino también de las características del alimento (Arbiza-Aguirre, 1986, 143). El incremento promedio diario de las cabras alimentadas con nopal-E fue de 54.50 g. Este incremento resulta superior al reportado por Abidi *et al.* (2009, 9) quienes evaluaron entre otras variables, la ganancia de peso promedio diaria en cabras y ovejas, al reemplazar la cebada por nopal (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) y encontraron que la ganancia de peso promedio diaria fue superior en las cabras alimentadas con cebada (46 g día<sup>-1</sup>) con respecto a las cabras alimentadas

con nopal (24 g día<sup>-1</sup>), mientras que las ovejas mostraron una ganancia de peso promedio diaria de 46 g día<sup>-1</sup> con cebada y 39 g día<sup>-1</sup> con nopal; concluyen que en términos de energía, el nopal puede reemplazar a la cebada en la dieta de ovejas y cabras sin detrimento sustancial en la digestión, crecimiento y calidad de la carne, por lo tanto, el nopal puede utilizarse como un suplemento alimenticio adecuado para estas especies domésticas en las zonas áridas. El valor de la ganancia de peso promedio diaria en este estudio, es inferior a los 146 g de ganancia de peso diario reportado en ovinos estabulados, alimentados con sopa enriquecida de nopal como suplemento (3 kg peso fresco diario) en una dieta control (Aranda-Osorio *et al.*, 2008, 49). Por otro lado, contrario a los resultados de esta investigación, se reporta que la ganancia de peso diario y la eficiencia en la alimentación, disminuyeron linealmente con el incremento de los niveles de *Opuntia ficus-indica* Mill. en dietas de ovejas; sin embargo, el hecho de reemplazar el maíz por diferentes niveles de nopal no afectó la conversión del alimento. En general, el aumento de los niveles de nopal en la dieta favoreció una alta digestibilidad de los nutrientes, una mejora en la calidad del forraje, redujo el consumo involuntario de agua, por lo que el nopal representa una importante fuente de forraje y reserva de agua para su uso en regiones semiáridas (Costa *et al.*, 2012, 13).

### **Relación entre ganancia de peso y tiempo**

En el tabla 4 se presenta el análisis de correlación y regresión realizado para estas variables. Se encontró correlación estadística significativa y positiva entre la ganancia de peso vivo y el tiempo para las dietas utilizadas. Lo anterior indica que la ganancia de peso vivo depende del tiempo en el que se está suministrando la dieta, lo cual resulta explicable ya que la dieta se aumentó en promedio 4% cada 15 días de acuerdo al peso del animal. Existen diferencias en los valores de correlación entre estas variables por dietas, con valores altos en cabras alimentadas con nopal-E, seguido de cabras alimentadas con heno de alfalfa y nopal seco natural, respectivamente (Tabla 4). Los valores del coeficiente de determinación también fueron significativos en las tres dietas, cuyo valor numeral expresado en porcentaje, indica que los datos observados entre la ganancia de peso vivo y el tiempo se adecuan a un modelo lineal, destacando el valor del coeficiente de determinación de las cabras alimentadas con nopal-E, el cual fue de 0.93 que expresado en valor porcentual corresponde al 93.0%, lo cual implica que un modelo lineal explica en un porcentaje como el descrito la tendencia de los datos observados, considerando esto como muy aceptable. El

valor menor del coeficiente de determinación se presentó en cabras alimentadas con nopal seco natural; sin embargo, este valor fue significativo. Las tres dietas mostraron valores significativos de coeficientes de determinación, por lo que se estimaron las ecuaciones de regresión lineal simple (ecuaciones de predicción) por cada dieta con el fin de precisar el grado de cambio en la ganancia de peso vivo de las cabras por cada cambio unitario en el tiempo.

El valor de coeficiente de regresión mayor se presentó en cabras alimentadas con nopal-E, con un valor de 0.46 el cual representa un incremento de 0.46 kg de ganancia de peso vivo por cabra por cada semana que es alimentada con nopal-E. Lo anterior demuestra la eficiencia en el incremento de peso vivo de cabras al utilizar esta dieta. Las cabras alimentadas con nopal seco natural son las que incrementan en menor medida (0.19 kg) el peso vivo por cabra por semana, lo que indica una respuesta menor por efecto de esta dieta. En términos generales, el modelo de regresión lineal proporcionó un ajuste mejor de los datos observados en la ganancia de peso vivo en el tiempo de experimentación, que permite predecir con mayor certeza la ganancia de peso en un tiempo determinado. Sin embargo, se requiere incrementar el número de semanas de alimentación con estas dietas, para determinar el punto óptimo de consumo a través del tiempo donde la ganancia de peso vivo tiende a declinar.

### **Rechazo de alimento**

El análisis de mediciones repetidas en el tiempo para la variable rechazo de alimento, mostró diferencias significativas entre dietas ( $p \leq 0.006$ ) y tiempo ( $p \leq 0.00007$ ); sin embargo, no mostró diferencias significativas entre la interacción de dietas  $\times$  tiempo ( $p = 0.54$ ). El contraste ortogonal entre la dieta 1 (heno de alfalfa + heno de sorgo) contra la dieta 2 (nopal seco natural + heno de sorgo) mostró diferencia significativa entre estas dos dietas ( $p = 0.0008$ ), mientras que el segundo contraste se realizó comparando la dieta 2 (nopal seco natural + heno de sorgo) contra la dieta 3 (nopal enriquecido con proteínas + heno de sorgo) el cual no mostró diferencias significativas entre estas dietas ( $p = 0.91$ ). El rechazo de alimento concerniente a la cantidad de alimento no consumido y que permanece en los comederos fue mayor en las dietas basadas en nopal seco natural y nopal-E, tanto en la mañana como en la tarde y fue menor en la dieta basada en heno de alfalfa (Tabla 5). Esta respuesta de los animales a rechazar en proporción menor el heno de alfalfa, se debe a que los animales utilizados en el estudio, previo a este, ocasionalmente se les

suministraba heno de alfalfa en cantidades pequeñas como alimento suplementario, cuando el propietario de las cabras contaba con recursos económicos para adquirirlo.

Tabla 3. Valores promedio (kg) de peso inicial, semanal, final y ganancia de peso en cabras criollas estabuladas y alimentadas con heno de alfalfa, nopal seco natural y nopal enriquecido con proteínas.

Dietas*	S-1 Peso inicial	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9 Peso final	Ganancia de peso
Alfalfa	25.27±9.59a	26.20±9.58a	27.00±9.54a	27.33±9.44a	28.00±9.66a	27.67±8.98a	28.17±9.57a	28.00±9.17a	28.00±9.17a	2.73±0.64a
Nopal	24.83±5.35a	24.97±6.09a	25.67±5.51a	25.17±6.25a	25.83±6.25a	26.83±5.78a	26.50±5.89a	26.00±5.29a	26.17±5.01a	1.33±0.76a
Nopal-E	24.57±10.50a	24.70±10.71a	25.67±10.69a	25.67±10.54a	25.50±10.69a	26.67±10.68a	27.17±10.68a	28.00±9.64a	28.00±9.64a	3.43±1.72a

S-1...S-9= Semanas de la 1 a la 9. \*Alfalfa= 40% de heno de alfalfa + 60% heno de sorgo. Nopal= 40% de nopal seco natural + 60 % de heno de sorgo. Nopal-E= 40% de nopal seco enriquecido con proteínas + 60% de heno de sorgo. Valores promedios con letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente (comparaciones independientes o contrastes ortogonales,  $p \leq 0.05$ ). Los valores representan el promedio de 3 repeticiones  $\pm$  la desviación estándar.

Tabla 4. Análisis de correlación y regresión entre las variables ganancia de peso vivo (kg) y tiempo de experimentación (semanas) en las diferentes dietas proporcionadas.

Dietas*	Coefficiente de correlación ( $r$ )	Significancia estadística de $r$	Coefficiente de determinación ( $R^2$ )	Ecuación de regresión lineal simple	Valor de F de ANOVA de regresión y significancia estadística ( $p$ )
Alfalfa	0.87***	0.002	0.77	GP=25.70+0.31×T	$F_{1,7}=23.74^{***}$ , $p=0.001$
Nopal	0.78**	0.01	0.61	GP=24.79+0.19×T	$F_{1,7}=11.00^{**}$ , $p=0.01$
Nopal-E	0.96***	0.001	0.93	GP=23.91+0.46×T	$F_{1,7}=101.20^{***}$ , $p=0.00002$

T= tiempo (nueve semanas). ANOVA= Análisis de varianza. \*= $p<0.05$ ; \*\*= $p<0.01$ ; \*\*\*= $p<0.001$ . \*Alfalfa= 40% de heno de alfalfa + 60% heno de sorgo. Nopal= 40% de nopal seco natural + 60 % de heno de sorgo. Nopal-E= 40% de nopal seco enriquecido con proteínas + 60% de heno de sorgo.

Tomando en cuenta el tiempo de experimentación, el rechazo de alimento en el horario matutino fue mayor en la segunda y primera semana, mientras que en el horario vespertino, fue mayor en las primeras tres semanas y en ambos horarios disminuyó el rechazo en las semanas ocho y nueve (Tabla 5). El hecho que el rechazo fue mayor en las primeras semanas, a pesar que se proporcionó un periodo previo de adaptación, demuestra que se debe aumentar el periodo de adaptación a las dietas. El porcentaje del alimento rechazado en relación al alimento suministrado proporciona un indicador importante del grado de palatabilidad y los resultados mostraron que la dieta con rechazo mayor fue la de nopal-E, por lo que se considera que nopal-E presenta una palatabilidad menor, seguida de nopal seco natural. Sin embargo, la ganancia de peso fue mayor con la dieta de nopal-E, con una ganancia de peso vivo por cabra de 0.46 kg, que indica una

eficiencia muy buena de nopal-E en la transformación de alimento a incremento de peso vivo (Tabla 4). Lo anterior propone que aun cuando el nopal-E no es muy palatable, lo aprovechan mejor y en este sentido, se sugiere la adición de melaza, jarabe u otro aditivo para incrementar el consumo de las dietas basadas en nopal. El heno de alfalfa mostró aceptación mejor, es decir, mayor palatabilidad y se debe a que las cabras, previo al estudio, se les suministraba heno de alfalfa esporádicamente como suplemento. Por otro lado, el consumo de alimento y el alimento rechazado tiene implicaciones económicas debido a que este último se considera como pérdida por su desperdicio. En este estudio, el porcentaje de rechazo mayor fue en las dietas con nopal seco natural y nopal-E (Tabla 6). De las características del valor forrajero de un alimento destaca el que sea palatable (con preferencia por el ganado) y nutritivo (Murillo-Amador *et al.*, 2002, 97). En este estudio, la dieta con nopal-E con valor proteico mayor, mostró palatabilidad menor que el heno de alfalfa; sin embargo, el efecto de su valor nutritivo se manifestó en un incremento mayor en el peso vivo en (Tabla 4). Lo anterior es evidencia que no existe una relación directa entre el consumo de alimento y el incremento de peso vivo que se demostró con el análisis de correlación que exhibió un coeficiente de correlación no significativo ( $r = -0.49$ ,  $p = 0.17$ ,  $n = 9$ ), por lo que el incremento de peso vivo no depende del consumo de la dieta durante el tiempo que se está suministrando. En este estudio, el consumo de alimento fue menor en las primeras semanas; sin embargo, el aprovechamiento del forraje consumido, se expresó en una ganancia de peso a lo largo del tiempo de evaluación. De acuerdo con lo anterior, el efecto intrínseco del animal, relacionado con la edad y su estado fisiológico, influye tanto en el rechazo y consumo (palatabilidad) del alimento como en la eficiencia y/o aprovechamiento de éste, lo que coincide con lo indicado por Arbiza-Aguirre (1986, 143). Si bien los resultados de este estudio no son contundentes en el incremento del consumo de nopal, otras investigaciones han demostrado que la inclusión de diferentes niveles de *Opuntia ficus-indica* en dietas a base de heno de maíz suministradas a dos razas (Saanen y Alpina) caprinas, aumentó de manera lineal el consumo tanto de materia seca ( $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.81$ ) como de materia fresca ( $p < 0.01$ ;  $R^2 = 0.99$ ) con valores que fluctuaron entre 1.95 a 2.31 kg d<sup>-1</sup> y 2.03 a 13.48 kg d<sup>-1</sup>, respectivamente (Costa *et al.*, 2009, 62).

Tabla 5. Rechazo de alimento (g en base seca) por dieta y por semana registrado durante dos períodos diarios (mañana y tarde) en cabras criollas alimentadas con heno de alfalfa, nopal seco natural y nopal-enriquecido con proteínas.

Dietas*	Mañana	Tarde
Alfalfa	182.19±46.75 b	207.66±144.67 b
Nopal	860.80±143.96 a	768.44±97.01 a
Nopal-E	944.61±383.27 a	820.55±289.52 a

Semanas	Mañana	Tarde
1	151.28±26.46 ab	151.41±27.58 a
2	151.93±56.31 a	88.15±31.00 ab
3	63.26±17.74 abc	83.74±20.15 ab
4	81.67±29.74 abc	63.52±22.37 b
5	52.37±21.72 abc	47.96±15.85 b
6	47.96±20.16 abc	54.96±22.07 b
7	67.67±40.75 abc	74.41±24.65 ab
8	26.70±12.17 bc	19.70±7.98 b
9	19.70±12.06 c	15.04±9.95 b

\*Alfalfa= 40% de heno de alfalfa + 60% heno de sorgo. Nopal= 40% de nopal seco natural + 60 % de heno de sorgo. Nopal-E= 40% de nopal seco enriquecido con proteínas + 60% de heno de sorgo. Valores promedios con letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente (comparaciones independientes o contrastes ortogonales,  $p \leq 0.05$ ). Los valores representan el promedio de 3 repeticiones  $\pm$  la desviación estándar.

Tabla 6. Suministro, rechazo y consumo total de alimento (g en base seca) en cabras criollas alimentadas con heno de alfalfa, nopal seco natural y nopal-enriquecido con proteínas.

Dietas*	Suministro (g)	Rechazo (g)	Rechazo (%)	Consumo (g)	Consumo (%)
Alfalfa	49,500	1169.57	2.36	48330.43	97.64
Nopal	49,500	4887.74	9.87	44612.26	90.13
Nopal-E	49,500	5295.49	10.70	44204.51	89.30
<i>Total</i>	<i>148,500</i>	<i>11,352.80</i>	<i>7.64</i>	<i>137,147.20</i>	<i>92.36</i>

\*Alfalfa= 40% de heno de alfalfa + 60% de heno de sorgo. Nopal= 40% de nopal seco natural + 60 % de heno de sorgo. Nopal-E= 40% de nopal seco enriquecido con proteínas + 60% de heno de sorgo.

## Conclusiones

Las condiciones de secado y/o almacenamiento tienen efecto en la calidad del forraje. El nopal-E mostró contenido mayor de proteína cruda respecto a heno de alfalfa, sorgo y nopal seco natural. La adición de heno de sorgo en las dietas, sobre todo las que contienen nopal, es benéfica dado que aporta una cantidad de fibra mayor. El análisis proximal mostró que el nopal-E y nopal natural poseen una calidad nutritiva mayor. La ganancia de peso vivo fue mayor en cabras alimentadas con nopal-E, alfalfa y nopal seco natural, respectivamente. La ganancia de peso y el tiempo de alimentación mostraron relación positiva y significativa; sin embargo, se debe determinar el tiempo óptimo de alimentación y considerar el costo-beneficio de las dietas

utilizadas. El porcentaje mayor de alimento rechazado (menor palatabilidad) se presentó en la dieta de nopal-E, seguido de nopal seco natural y alfalfa, respectivamente.

### Agradecimientos

Se agradece al Instituto de Innovación en Biosistemas y Desarrollo Sustentable en Zonas Áridas (IIBIODEZA) de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Este estudio se realizó con recursos del proyecto “Validación de la tecnología de enriquecimiento proteico de nopal (*Opuntia* spp.)”, de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por el apoyo para la difusión de los resultados del estudio.

### Referencias

- Abidi, S., Ben Salema, H., Vastab, V., Priolob, A. (2009). 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*. 87:9-16.
- AOAC. (2005a). Official Method 942.05. Ash of animal feed. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th edition. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. p. 8, Chapter 4.
- AOAC. (2005b). Official Method 990.03. Protein (crude) in animal feed, combustion method. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th edition. AOAC International, Arlington, VA, USA. pp. 30-31, Chapter 4.
- AOAC. (1997). Official Method 973.18. Fiber (acid detergent) and lignin in animal feed. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th edition. AOAC International, Arlington, VA, USA. pp. 28-29, Chapter 4.
- Aranda-Osorio, G. (2006). Enriquecimiento del nopal para el ganado. V Simposium-Taller sobre Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México. *Memorias. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León*. Marín, Nuevo León, México. 22-35.
- Aranda-Osorio, G., Flores-Valdez, C.A., Cruz-Miranda, F.M. (2008). Inclusion of cactus pear cladodes in diets for finishing lambs in Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 10:49-55.
- Araújo, L.F., Medeiros, N.A., Neto, A.P., Conrado Oliveira, L.S., Silva, F.L.H. (2005). Protein enrichment of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 48:161-168.
- Arbiza-Aguirre, S.I. (1986). *Producción de caprinos*. Edit. AGT, Edit. S.A. 1ª edición. México. 143 p.
- Costa, R.G., Beltrao Filho, E.M., Medeiros, N.A., Naves Givisiez, P.E., Queirogac, R.C.R.E., Silva Melo, A.A. (2009). Effects 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, R.G., Treviño, I.H., Medeiros, G.R., Medeiros, N.A., Pinto, T.F., Oliveira, R.L. (2012). Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. *Small Ruminant Research*. 102:13-17.

Díaz-Plascencia, D., Rodríguez-Muela, C., Mancillas-Flores, P., Ruíz-Holguín, N., Mena-Mungía, S., Salvador-Torres, F., Duran-Melendez, L. (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.

Elías, A., Orquidea, L.P., Cordeiro, J., Quitana, L. (1990). Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (Saccharina). *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 24(1):1-12.

Felker, P. (2003). La utilización de *Opuntia* como forraje en los Estados Unidos de América. In: *El Nopal (Opuntia spp.) como forraje*. Mondragón-Jacobo, C., Pérez-González, S. (Eds.). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 65-71.

Flores, V.C.A., Aguirre, R. (1992). El nopal como forraje. CIESTAAM-UACH. Chapingo Estado de México. 2ª reimpresión. 80 p.

Flores-Hernández, A., Orona-Castillo, I., Trejo-Calzada, R., Arreola-Ávila, J.G., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E., García-Hernández, J.L. (2007). Tecnología para la producción de nopal (*Opuntia* spp.) bajo las condiciones extremas del norte de México. XVII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola AMIA. 1-15.

Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F.J., Esparza-Ibarra, E.L., Cantú-Brito, E., Gámez-Aguilar, M., Medinaveitia-Ríos, H., Quiñones-Zaldivar, A. (2011). Enriquecimiento proteico del nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Folleto de divulgación: UACH-COCyTED-FIRA-URUZA, Bermejillo, Durango, México. 22 p.

Fuentes-Rodríguez, J.M. (1997). El nopal: alternativa forrajera en las zonas áridas del norte de México. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. FAO, Facultad de Agronomía Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey Nuevo León, México. 82-87.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 90 p.

Goering, H.K., Van Soest, P.J. (1970). Forage Fiber Analysis. United States. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 379, Washington, D.C. USA. 387-598.

Guzmán-Soria, E., García-Salazar, J.A., Mora-Flores, J.S., Fortis-Hernández, M., Valdivia-Alcalá, R., Portillo-Vázquez, M. (2006). La demanda de agua en la Comarca Lagunera, México. *Revista Agrociencia*. 40:793-804.

INEGI. (2012). Anuario estadístico de Durango-Coahuila. Instituto Nacional de Estudios Geográficos e Información, México. 331-359.

Lira, M. de A., Farias, I., Santos, M.V.F., Tavares Filho, J.J. (1989). Introdução, geração e avaliação de clones de Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill). In: simpósio nordestino de alimentação de ruminantes. 2., Natal. Anais. Natal: EMPARN. 241 p.

López-García, J.J., Fuentes-Rodríguez, J.M., Rodríguez-Gámez, A. (2003). Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México. In: El Nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Mondragón-Jacobo C., Pérez-González S. (Eds.). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal No. 169. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s08.htm>.

McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, F.J.D., Morgan, C.A. (2002). Digestibility. Animal Nutrition. In: Evaluation of Foods (Sixth Edition). Pearson. Prentice-Hall. 461:477.

Miranda-Osorio, G., Flores-Valdez, C.A., Miranda-Romero, L.A., Cruz-Miranda, M. (2009). El nopal como forraje. Rev. Extensión al Campo. UACH. 2 (10-11): 23-27.

Moreno-Díaz, L., García-Arellano, D., Faz-Contreras, R. (2002). Manejo del riego en alfalfa. En: Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental La Laguna. Libro Técnico No. 2. 102 p.

Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Aguilar-García, M. (2002). El Nopal: cultivo forrajero sostenible para el Noroeste de México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 97 p.

Orona-Castillo, I., Flores-Hernández, A., Rivera, G.M. (2008). Manual para el establecimiento y manejo del nopal verdura bajo riego por goteo en la Comarca Lagunera. CENID RASPA-INIFAP, Gómez Palacio, Durango, México. 18 p.

Rivera-González, M., Estrada-Avalos, J. (2002). Producción de alfalfa mediante riego por goteo subterráneo (dos años de evaluación). Memorias del XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón, Coahuila, México. p. 275.

Rivera-González M, Estrada-Avalos, J., Martínez-Rodríguez, J.G., Martínez-Saldaña, J., Orona-Castillo, I. (2006). La producción de forraje y eficiencia en el aprovechamiento del agua para la alfalfa en riego por goteo subsuperficial o subterráneo. AGROFAZ. 309-314.

SIAP. (2015). Sistema de Información Agroalimentario y Pesquero. SAGARPA, México. [www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351). Acceso: septiembre 12 de 2016.

StatSoft. (2011). Statistica. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 p.

Tabosa, J.N., Simplício, J.B., Tavares Filho, J.J., Dias, F.M., Farias, I., Dos Santos, M.C.S., Araújo Da Silva, F.D., Monteiro, M.C.D. (2004). Enriched forage cactus meal to feed ruminants. En: memorias del X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal y otras Cactáceas de valor económico. Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. Chapingo, México. 54-67.

Torres-Sales, A. (2010). Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias Brasil). Revista Salud Pública y Nutrición. 5:143-151.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74(10):3583-3597.