



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE AGRONOMÍA

PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LECHE Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DE CABRAS DE RAZA ALPINA ALIMENTADAS CON NOPAL (*Opuntia ficus-indica*).

Por:

JORGE ADALBERTO SÁNCHEZ ORTEGA

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE AGRONOMÍA

PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LECHE Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DE CABRAS DE RAZA ALPINA ALIMENTADAS CON NOPAL (*Opuntia ficus-indica*).

Por:

JORGE ADALBERTO SÁNCHEZ ORTEGA

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias**

Tutor : Dra. MARTA OLIVIA DIAZ GÓMEZ

Asesor: Dr. MANUEL ANTONIO OCHOA CORDERO

Asesor: Dr. JORGE URRUTIA MORALES

El trabajo titulado “**Producción, calidad de leche y metabolitos sanguíneos de cabras de raza Alpina alimentadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*)**” fue realizado por **Jorge Adalberto Sánchez Ortega** como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias y fue revisado y aprobado por el suscrito comité de tesis.

Dra. MARTA OLIVIA DIAZ GÓMEZ
Tutor

Dr. MANUEL ANTONIO OCHOA CORDERO
Asesor

Dr. JORGE URRUTIA MORALES
Asesor

Three handwritten signatures are displayed on horizontal lines. The top signature is in black ink and appears to be 'Marta Olivia Diaz Gomez'. The middle signature is in blue ink and appears to be 'Manuel Antonio Ochoa Cordero'. The bottom signature is in black ink and appears to be 'Jorge Urrutia Morales'.

Ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, a los veinticuatro días del mes de Julio del 2009.

DEDICATORIAS

A la memoria de mis padres Adalberto Sánchez Lavín y Sara Ortega Camacho

A mis hermanas Sara Elisa y Maria del Carmen

A mis hijos Jorge Mauricio, Rodrigo Alejandro y María Isabel, que me apoyaron en la realización de este trabajo.

A mi compañera Paty y a su hija Patita por su apoyo desinteresado y disposición para acompañarme a trabajar, mezclar, medir, ordeñar, pesar, cargar, sangrar y tantas cosas más, les agradezco mucho.

A mis compañeros de maestría, Ale, Bety, Ballin, Juan y Ulises

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los Sres. Daniel Guerrero Cerda y su esposa Sara Loera, propietarios de la Granja San Jorge por las facilidades brindadas para la realización del presente estudio, así como por el entusiasmo mostrado durante la ejecución de los trabajos de campo, en el manejo de los animales y en la colecta de datos.

Al Dr. Manuel David Sánchez Hermosillo por su colaboración con el aporte de literatura del nopal y su apoyo para poder realizar esta maestría.

Con agradecimiento especial a mi Tutora: Dra. Marta Olivia Díaz Gómez por el apoyo recibido y su tiempo dedicado hacia este trabajo.

A mis asesores: Dr. Manuel Antonio Ochoa Cordero y Dr. Jorge Urrutia Morales, por sus enseñanzas y consejos durante mi estancia como estudiante del postgrado.

A mis maestros:

Dr. Arturo Trejo

Dr. Glafiro Torres Hernández

Dr. Jorge Tortora Pérez

Lic. Verónica Cerda

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIAS.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
SUMMARY.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivo.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia del Cultivo de Nopal.....	4
Valor Nutritivo del Nopal para Rumiantes.....	5
Contenido de agua.....	5
Materia seca.....	5
Proteína cruda.....	5
Energía.....	6
Minerales.....	6
Fibra cruda.....	7
Digestibilidad.....	7
Factores que Afectan el Valor Nutritivo.....	8
Comportamiento Animal	8
Metabolitos Sanguíneos.....	9
Glucosa.....	10
Urea.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
Localización del Área de Estudio.....	16
Animales	16
Tratamientos.....	16
Variables en Estudio.....	17

Manejo General.....	18
Consumo de materia seca (MS).....	18
Peso vivo.....	18
Producción de leche.....	18
Muestreo y análisis químico de la leche.....	18
Metabolitos sanguíneos.....	19
Análisis Estadístico.....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Consumo de Alimento.....	21
Producción de Leche.....	22
Composición de la Leche.....	25
Sólidos totales.....	25
Grasa.....	26
Proteína cruda.....	27
Sólidos no grasos.....	28
Lactosa.....	29
Peso Corporal.....	30
Metabolitos Sanguíneos.....	31
Glucosa.....	31
Urea.....	33
CONCLUSIONES.....	35
LITERATURA CITADA.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición mineral del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	7
2	Dietas formuladas para alimentar cabras de raza Alpina en producción de leche usando niveles crecientes de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>) en sustitución de alfalfa.....	17
3	Consumo en kg de alfalfa, nopal y concentrado (en base seca) de cabras alimentadas con dietas a base de concentrado y alfalfa, con sustituciones del 20 y 40% de la alfalfa por penca de nopal.....	22
4	Efecto de la dieta, el periodo y la interacción entre ambos factores sobre la producción y calidad de leche de cabras de raza Alpina alimentadas con niveles crecientes de nopal.....	22
5	Producción y calidad promedio de leche de cabras de raza Alpina alimentadas con niveles crecientes de nopal.....	23
6	Efecto del nivel de nopal en la dieta, el periodo de lactancia y la interacción sobre el peso corporal y algunos componentes de química sanguínea de cabras de raza Alpina.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Producción diaria de leche en cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	25
2	Contenido de sólidos totales en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	26
3	Porcentaje de grasa en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	27
4	Porcentaje de proteína cruda en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	28
5	Contenido de sólidos no grasos en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	29
6	Porcentaje de lactosa en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	30
7	Valores promedio de glucosa en sangre en cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	33
8	Valores promedio de urea en sangre en cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.....	34

RESUMEN

La producción caprina es una de las actividades rurales más extendidas entre los pobladores de la región semiárida de San Luis Potosí. En esta zona el nopal es una alternativa de forraje para los animales, debido a su elevado contenido de agua, carbohidratos solubles, calcio y vitaminas; además de aportar proteína aunque en bajas cantidades. Sin embargo, hay información limitada sobre el comportamiento productivo de los animales. Por lo que se realizó el presente estudio, con objeto de evaluar el efecto del nivel de inclusión de nopal en sustitución de alfalfa en dietas para cabras de la raza Alpina, sobre la producción, calidad de leche, peso corporal y metabolitos sanguíneos, se utilizaron 20 cabras de raza Alpina, de uno a cuatro partos, durante las primeras nueve semanas de lactancia. Se distribuyeron a los siguientes tratamientos: T₁.- 40 % de concentrado + 60 % de forraje (alfalfa) (7 cabras); T₂.- 40 % de concentrado + 40 % de alfalfa + 20 % de nopal (7 cabras); T₃.- 40 % de concentrado + 20 % de alfalfa + 40 % de nopal (6 cabras). Las dietas aportaron 16.0% proteína cruda, 2.0 Mcal kg⁻¹ de EM. Los datos de consumo de alimento, producción y composición de leche, peso vivo y metabolitos sanguíneos se analizaron a través de un análisis de varianza con un modelo que incluyó los efectos de dieta, periodo de lactancia y la interacción. La inclusión de nopal en la dieta en sustitución de alfalfa afectó (P<0.05) el consumo de alimento. Las cabras que recibieron 20 % de nopal en la dieta tuvieron el mayor consumo de alimento (2.83 kg). Mientras que las cabras alimentadas con 0.0 % de nopal presentaron la mayor producción de leche con 1.39 L d⁻¹ sin que esta producción sea diferente (1.30 L d⁻¹), a la de los animales que consumieron la dieta con 20 % de nopal. El tipo de dieta no afectó (P>0.05) el peso vivo, composición de la leche ni los metabolitos sanguíneos. Pero el periodo de lactancia afectó (P<0.05) la producción de leche, componentes de la leche como contenido de grasa, proteína y sólidos no grasos, así como los metabolitos sanguíneos (glucosa y urea). El uso del nopal en cabras en lactación no debe de ser superior a 20.0%, por cortos periodos de tiempos.

Palabras clave: Nopal (*Opuntia ficus-indica*), cabras Alpina, producción de leche, metabolitos sanguíneos.

SUMMARY

Goat production is one of the most widespread among the rural inhabitants of the semiarid region of San Luis Potosi. In this zone, the opuntia is an alternative forage for animals, because of their high water content, soluble carbohydrates, calcium and vitamins, in addition to providing protein although in small quantities. However, there is limited information on the productive performance of animals. It was conducted this study to assess the effect of the level of inclusion of opuntia replacing alfalfa in diets for goats of the Alpine breed, on the production, milk quality, body weight and blood metabolites were used 21 goats Alpine breed, of one to four parturition, during the first nine weeks of lactation. Were distributed to the following treatments: T₁.- 40% concentrate + 60% forage (alfalfa) (7 goats); T₂.- 40% concentrate + 40% alfalfa + 20% of opuntia (7 goats); T₃.- 40% concentrate + 20% alfalfa + 40% of opuntia (6 goats). The diets provided 16.0% crude protein, 2.0 Mcal kg⁻¹ of MS. Data for feed consumption, milk production and composition, body weight and blood metabolites were analyzed using analysis of variance with a model that included the effects of diet, breastfeeding and interaction. The inclusion of cactus in the diet to replace alfalfa affected (P < 0.05) consumption of food. The goats that received 20% of opuntia in the diet had the highest feed consumption (2.83 kg). While goats fed 0.0% opuntia had the highest production of milk with 1.39 L d⁻¹ with this production is different (1.30 L d⁻¹), that of the animals that consumed the diet with 20% of opuntia. The type of diet did not affect (P > 0.05) live weight, milk composition and blood metabolites. But breastfeeding affected (P < 0.05) milk production, milk components such as fat, protein and solids not fat, and blood metabolites (glucose and urea). The use of opuntia in lactating goats must not be greater than 20.0% for short periods of time.

Keywords: Opuntia (*Opuntia ficus-indica*), Alpine goats, milk production, blood metabolites.

INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las actividades rurales más extendidas entre los pobladores de la región semiárida de San Luis Potosí; la disponibilidad de forraje en los agostaderos determina el sistema de manejo del ganado, pues constituyen la principal fuente de alimento para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales en sus distintas etapas productivas y durante el año.

En estas regiones prevalecen condiciones difíciles; como precipitación pluvial escasa y errática, vientos fuertes y secos, suelos pobres en nitrógeno, fósforo y materia orgánica, y una fuerte oscilación de temperatura, que en conjunto ocasionan una marcada estacionalidad en la disponibilidad de forraje, caracterizada por un largo periodo de escasez de diciembre a junio, durante el cual los animales no logran cubrir sus necesidades nutricionales (Mellado *et al.*, 1991; Mellado *et al.*, 2006; Echavarría *et al.*, 2006). Al mismo tiempo, la falta de agua disponible para el ganado se torna un problema central, que obliga a los animales a caminar grandes distancias para llegar a los abrevaderos, con el consiguiente gasto de energía y el pisoteo excesivo de la vegetación cercana a las fuentes de agua. Ambos problemas en conjunto, ocasionan no sólo la interrupción de la producción, sino también la pérdida de peso y, en casos extremos, la muerte.

Este período, conocido como estiaje, es un evento que ocurre año tras año, con duración e intensidad variable, lo cual obliga al productor pecuario a tomar medidas preventivas para afrontarla. Desde tiempos antiguos, el nopal ha sido utilizado como forraje para los animales (Stintzing y Carle, 2005), debido a su elevado contenido de agua, carbohidratos solubles, calcio y vitaminas, además de aportar proteína aunque en bajas cantidades (Nefzapui y Ben Salem, 2002). El uso de nopal como complemento alimenticio del ganado constituye una práctica común en la región semiárida de México, que ayuda a reducir las pérdidas de peso de los animales (Flores y Aranda, 1997).

El nopal es una planta capaz de prosperar donde los cultivos tradicionales tienen serias limitaciones por esta causa. Debido a que el nopal está adaptado a dichas zonas, constituye una de las pocas opciones de forraje para estas áreas (Flores, 2007). Así, el nopal es una planta de fácil propagación y buen rendimiento de forraje, con capacidad de

adaptarse a tierras marginales, con la ventaja adicional de que produce frutos y verdura para alimento humano (Vázquez, 2008).

El uso del nopal como forraje ha sido ampliamente estudiado bajo diversas condiciones de producción y en distintas especies domésticas. En general se ha observado que la producción de leche tanto en bovinos como en caprinos se reduce cuando se utiliza nopal en sustitución de alfalfa (González *et al.*, 1998) o de praderas tecnificadas (Hernández y Tovar, 1998), pero cuando se utiliza como suplemento de animales en pastoreo en pastizales semiáridos, se observan efectos benéficos (Urrutia *et al.*, 2008).

El nopal presenta bajo contenido de proteína, esto obliga a que en los animales que se use se les determine el perfil metabólico sanguíneo, que aporta gran cantidad de información relacionada con la nutrición, sanidad animal y permite determinar factores de riesgo como desbalances nutricionales, que pueden incidir en el desempeño productivo y reproductivo de los rebaños. Es decir, las concentraciones de metabolitos sanguíneos reflejan la adecuada suplencia de nutrientes con relación a la utilización de los mismos (Razz y Clavero, 2004).

HIPÓTESIS

En cabras alimentadas con dietas en las que la totalidad del forraje (60%) está constituido por alfalfa, la inclusión de nopal en sustitución de alfalfa en niveles de hasta el 66% del forraje de la dieta no afecta el consumo de alimento, el nivel de producción de leche ni su calidad, manteniendo, además, la condición corporal y los metabolitos sanguíneos de las cabras en un grado similar al de las cabras alimentadas con el 100% de alfalfa como el componente de forraje de la dieta.

OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del nivel de inclusión de nopal en sustitución de alfalfa en dietas para cabras de la raza Alpina, sobre la producción de leche, su calidad, peso corporal y metabolitos sanguíneos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Cultivo de Nopal

En México, el nopal se encuentra ampliamente distribuido, haciendo presencia en prácticamente todo el país, aunque con mayor importancia en la mayoría de los estados de la región semiárida del norte y centro, así como en la planicie central. Asimismo, se pueden encontrar poblaciones importantes en el estado de Oaxaca (Vázquez *et al.*, 2008). En las regiones árida y semiárida, donde la escasez de forraje se intensifica en la épocas de sequía, las pencas de nopal se han utilizado ampliamente en la alimentación de los animales, especialmente en ovinos, caprinos y bovinos, estrategia que se ha extendido a diversos países como Argentina, Brasil, Chile, Estados Unidos, Túnez, Sudáfrica, entre otros (Cordeiro y Gonzaga, 2003; Felker, 2003; De Kock, 2003; Nefzaoui y Ben Salem, 2003). Sin embargo, no sólo se ha utilizado en la suplementación del ganado en agostadero, sino también en la alimentación de ganado estabulado, tanto en vacas (Araújo *et al.*, 2008; González *et al.*, 1998) como en cabras lecheras (Mazuca *et al.*, 1995; Ruiz *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 1998).

Con este propósito, el nopal ha sido introducido en diversas partes del mundo, destacando Argentina, Brasil (Cordeiro y Gonzaga, 2003), Chile, Sudáfrica (De Kock, 2003), Estados Unidos (Felker, 2003), Túnez (Nefzaoui y Ben Salem, 2003), Etiopía (Tegegne, 2003), etc. donde es utilizado como forraje estratégico para la dieta de los animales a lo largo de todo el año. En estos países existen plantaciones de nopal especializadas para la producción de forraje, destinando en algunos casos hasta el 20% de la superficie de los ranchos con este propósito (Cordeiro y Gonzaga, 2003). En algunos lugares del mundo se cultivan miles de hectáreas de nopal para forraje, especialmente en Tunes y Brasil (Nefzaoui y Ben Salem, 2002), utilizando diversas especies del género *Opuntia* con este propósito. En México se usa el nopal como forraje de recolección y de forma emergente, pero rara vez se considera dentro de las estrategias nutricionales en los sistemas de producción pecuaria (López *et al.*, 2003). Por esta razón, son muy pocas las plantaciones establecidas para la producción de forraje, destinando las nopaleras silvestres para este fin, ocasionando el uso excesivo de las mismas.

Valor Nutritivo del Nopal para Rumiantes

Existen marcadas diferencias en la calidad nutricional del nopal, debidas principalmente a la edad de la penca, a la época del año (Retamal *et al.*, 1987a) y a la fertilidad del suelo (González, 1989; Ghataara *et al.*, 1989).

Contenido de agua

El nopal se caracteriza por ser un forraje succulento, bien aceptado por el ganado, con un elevado contenido de agua, el cual es muy variable, pudiendo ir desde el 68% hasta el 93% (Vázquez *et al.*, 2008), siendo influenciado principalmente por la variedad y por las condiciones ambientales presentes en el momento de la cosecha. Así, en condiciones de altas temperaturas y baja humedad ambiental, el contenido de agua es más bajo, debido a que la planta utiliza el agua en su metabolismo, mientras que en épocas de mayor humedad y menores temperaturas el contenido de agua se eleva notablemente.

Materia seca

El valor nutricional del nopal es muy variado. El contenido de materia seca varía de 8 a 17%, el cual contiene de 4 a 12% de proteína cruda, 1.9 a 2.6 Mcal Kg⁻¹ de energía digestible, 35 a 45% de fibra cruda, 29 µg/100g de carotenos, 13 mg/100 g de ácido ascórbico. Los valores de digestibilidad son del 72% para proteína y 65 a 80% para la materia orgánica (Ben Salem *et al.*, 2002 a y b; Ben Salem *et al.*, 2004 y 2005; Fuentes *et al.*, 1999; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006; Sánchez y García, 2006; Stintzing y Carle, 2005; Villegas-Díaz *et al.*, 2007).

Proteína cruda

El contenido de proteína cruda del nopal va de 4 a 12% (Fuentes *et al.*, 1999; De la Rosa *et al.*, 1999; Ben Salem *et al.*, 2002; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2008) es menor al de leguminosas forrajeras como la alfalfa (16%), pero similar al de los pastos (6 a 8%). Teles *et al.* (1984) mencionan que el valor biológico de la proteína del

nopal es elevado (72%), debido a su contenido de aminoácidos, siendo equiparable a la proteína del huevo de gallina.

Se ha observado que el contenido de proteína cruda tiende a reducirse con la edad de la penca (Tegegne, 2002). De igual forma, la degradación de esta proteína es afectada por la edad de la penca. En pencas jóvenes, la proteína se degrada con mayor lentitud que en pencas maduras, pero el índice de degradación potencial es mayor (Villegas-Díaz *et al.*, 2007).

Energía

El nopal muestra un contenido de energía elevado, siendo el contenido de energía digestible de 1.9 a 2.6 Mcal Kg⁻¹, que lo hace comparable con el de los pastos (2.0 Mcal Kg⁻¹) y la alfalfa (2.64 Mcal Kg⁻¹), (Shoop *et al.*, 1977; Fuentes *et al.*, 1999; Ben Salem *et al.*, 2002; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2008).

Minerales

El nopal aporta cantidades importantes de diversos minerales, con excepción del cobre, que es baja, y del fósforo y sodio cuyos contenidos son muy bajos. En cambio, aporta grandes cantidades de calcio, lo que hace que la relación calcio:fósforo sea muy elevada (15:1). Esta situación obliga a suplementar fósforo para mejorar la relación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición mineral del nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

Mineral	Valor
Calcio (g kg ⁻¹ MS)	42.0 – 52.1
Fósforo (g kg ⁻¹ MS)	1.0 – 18.0
Sodio (g kg ⁻¹ MS)	0.6
Potasio (g kg ⁻¹ MS)	12.0 – 26.0
Magnesio (g kg ⁻¹ MS)	11.0 – 14.0
Cobre (mg kg ⁻¹ MS)	6.5
Hierro (mg kg ⁻¹ MS)	170.8
Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)	170.0 a 248.9
Zinc (mg kg ⁻¹ MS)	10.0 a 31.0

Adaptada de: Ben Salem *et al.*, 2005; Sánchez y García, 2006; Vázquez *et al.*, 2008)

Fibra cruda

Diversos estudios mencionan que el nopal presenta un contenido de fibra cruda de entre 10 y 15% (Everit y González, 1981), variando notablemente debido a la especie de nopal y a la edad de la penca. El contenido de fibra detergente neutro (FDN) va de 36.8, 44.9 y 43.5 en pencas jóvenes, intermedias y maduras, respectivamente. De igual forma, el contenido de fibra detergente ácido (FDA) se incrementa, siendo de 11.8, 17.8 y 16.0%, respectivamente (Villegas-Díaz *et al.*, 2007).

Digestibilidad

La digestibilidad de la materia seca es de alrededor de 76% (Everit y González, 1981), aunque otros autores mencionan valores inferiores, que oscilan de 49 a 60% (De la Rosa *et al.*, 1999), siendo equiparable a la observada en alfalfa. Por su parte, Medina *et al.* (2006) mencionan valores de degradabilidad ruminal de la materia seca de 87.2%, y de la FDN y FDA de 90.4 y 94.5%, respectivamente. Estos resultados en conjunto, permiten concluir que el nopal constituye un forraje de elevada digestibilidad, comparable e incluso superior al de forrajes tradicionales, como la alfalfa y pastos cultivados.

Factores que Afectan el Valor Nutritivo

Se ha observado que la especie de nopal influye sobre el valor nutritivo, aunque hay poca consistencia entre los diversos estudios sobre cuál es la especie con mejor valor. Se ha encontrado que las especies *O. lindheimeri*, *O. ficus-indica* y *O. Robusta* son las que mayor contenido de proteína, mientras que *O. rastrera* es una de las de menor contenido (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2008). Se ha estudiado también que el contenido de proteína cruda es mayor en pencas de menos de un año, reduciéndose con la edad de la planta, en especial en pencas de más de tres años, mientras que el contenido de fibra cruda se incrementa (Villegas-Díaz *et al.*, 2007). Por su parte, la fertilidad del suelo o la fertilización tienden a mejorar el valor nutricional, especialmente lo que se refiere al contenido de proteína.

Comportamiento Animal

Debido al bajo contenido de proteína y fibra, generalmente el nopal se utiliza en combinación con otros ingredientes que complementen estas deficiencias. La proteína es la deficiencia más importante del nopal, por lo que se ha utilizado en combinación con alimentos ricos en ese nutriente, como la harina de soya, la pollinaza o alfalfa (Ben Salem *et al.*, 2002a). Por su elevado contenido de azúcares es excelente para ser utilizado como suplemento energético para complementar dietas bajas en energía y altas en proteína, como es el caso de los forrajes de leguminosas y arbustivas, así como la pollinaza. Las arbustivas forrajeras contienen elevados niveles de proteína que van de 12 a 27% (Juárez *et al.*, 2004; Beltrán y Loredó, 2008), por lo que el pastoreo en sitios con elevadas poblaciones de arbustivas, origina consumos altos de este nutriente. En estas condiciones, la complementación alimenticia con nopal resulta ideal, al equilibrar el consumo de proteína y de energía (Ben Salem *et al.*, 2002b; Urrutia *et al.*, 2008). Los azúcares contenidos en el nopal son de lenta degradación, lo cual, al ser ofrecido antes del pastoreo, permite que las cabras aprovechen mejor la proteína soluble de las arbustivas (Ben Salem *et al.*, 2002b).

El nopal usado como complemento en la dieta del ganado mejora el aprovechamiento de otras fuentes de alimento, en especial de aquellos con alto contenido en fibra, como

los rastrojos de sorgo y maíz, de uso muy común en la región árida y semiárida del norte de México. Debido a su elevado contenido de azúcares solubles, de rápida y mediana velocidad de degradación, constituye un excelente complemento de alimentos altos en proteína, como el forraje de arbustivas y la pollinaza. Cuando el nopal es utilizado como complemento de arbustivas forrajeras cuyo contenido de sales es elevado, como el chamizo (*Atriplex canescens*), su elevado contenido de agua ayuda a la eliminación de esas sales (Ben Salem *et al.*, 2002b).

El consumo de nopal suele tener un efecto laxante en los animales, en especial cuando se consumen grandes cantidades o cuando las pencas consumidas son aún jóvenes, lo cual se debe posiblemente al elevado contenido de sales. Su sabor agradable y la elevada digestibilidad de la materia seca (50 al 70%) originan consumos elevados de nopal. El rápido paso por el sistema digestivo, combinado con el bajo contenido de fibra y el desequilibrio entre los niveles de calcio y fósforo, probablemente es la causa de la diarrea en el ganado. Las pencas más jóvenes son más laxantes por lo que es conveniente utilizar pencas de dos o tres años. El suministrar pajas o rastrojos antes del consumo del nopal, retarda la velocidad de paso y disminuye el efecto laxante. Se ha observado que el nopal tapón tiene un efecto laxante mayor que el de otras especies de nopal.

El hecho de ser una fuente de forraje verde todo el tiempo, constituye una ventaja adicional del nopal para la alimentación del ganado, y a menudo constituye la única fuente de precursores de vitamina A durante la estación de sequía.

Metabolitos Sanguíneos

Cuanto más alto sea el potencial productivo del rebaño, mayor será el riesgo de provocar trastornos metabólicos en los animales, producto del desbalance entre el ingreso y egreso de nutrientes al organismo. En ganado bovino, estas alteraciones han sido ampliamente estudiadas, desarrollándose los perfiles metabólicos como una herramienta para el estudio y diagnóstico de desbalances nutricionales, mediante la determinación de metabolitos sanguíneos indicadores de las vías metabólicas de proteínas, energía y minerales (Wittwer *et al.*, 2000).

El perfil metabólico sanguíneo aporta gran cantidad de información relacionada con la nutrición, sanidad animal y permite determinar factores de riesgo como desbalances nutricionales, que pueden incidir en el desempeño productivo y reproductivo de los rebaños. Es decir, las concentraciones de metabolitos sanguíneos reflejan la adecuada suplencia de nutrientes con relación a la utilización de los mismos (Razz y Clavero, 2004).

Las pruebas del perfil metabólico han sido utilizadas para evaluar la adecuada nutrición de dietas en vacas lecheras durante la lactancia y la concentración de algunos metabolitos se utiliza para determinar los requerimientos suplementarios de energía, aunque los niveles de glucosa sanguínea se consideran de valor medio o moderado como indicador del estado energético de los rumiantes (Pambu-Gollah *et al.*, 2000; Plumb, 1999); contrariamente a lo que ocurre con los niveles de urea en sangre, que es un indicador alto del estado proteico. Hammond (1997) menciona que el nivel de urea en sangre es uno de los indicadores más promisorios, el cual refleja el balance entre la proteína degradable y la energía fermentable en el rumen.

El desarrollo del rumen tiene una gran influencia en el metabolismo de glucosa y urea en los rumiantes. Muchos de los carbohidratos de la dieta son fermentados a ácidos grasos volátiles en el rumen por los microorganismos lo que resulta en escasa entrada de glucosa (Otchere *et al.*, 1974). Para contrarrestar la falta de absorción de glucosa de la dieta, un incremento en la función de gluconeogénesis en el hígado compensa la falta de glucosa que es esencial para el mantenimiento y crecimiento en rumiantes. En adición, el metabolismo del N, en particular, el nitrógeno reciclado en el sistema es significativamente afectado cuando los rumiantes inician la síntesis de proteína microbiana y las demás fuentes de nitrógeno de la dieta (Shingu *et al.*, 2007).

Glucosa

Las necesidades de glucosa aumentan en la etapa de lactancia y en el tercer tercio de la gestación. Este compuesto puede ser utilizado como fuente de energía para las células, como unidad de edificación de la galactosa y subsecuentemente lactosa, o como fuente

de glicerol necesario para la síntesis de grasa. Los sustratos para la producción de glucosa vía acetil Co.A son:

Lactato: Es la fuente de predominio de los átomos de carbón para la síntesis de la glucosa por medio de la gluconeogénesis. El lactato es producido durante la glicólisis anaeróbica por el músculo esquelético y es transportado al hígado donde se convierte a glucosa.

Piruvato: Es generado por el músculo y otros tejidos periféricos, puede ser transaminado hasta alanina que viaja al hígado para la gluconeogénesis.

Aminoácidos: Se refiere a los veinte aminoácidos, exceptuando la leucina y la lisina, pueden ser degradados hasta oxalacetato o piruvato para proporcionar esqueletos de carbono, participando de esta manera de la gluconeogénesis.

Glicerol es el remanente de la oxidación de los ácidos grasos, el cual puede ser utilizado en la gluconeogénesis (Martínez, 2005).

Las células de la glándula mamaria utilizan cuando mucho el 80 % de nutrientes disponibles de la sangre para la síntesis de leche. Los principales precursores de los constituyentes de la leche son aminoácidos libres, glucosa, acético, ácidos grasos y triglicéridos, de los cuales proteína, lactosa y grasa de la leche son producidos.

Limitando uno de los compuestos precursores reduce la producción y se dan cambios en la composición de la leche (Jelinek *et al.*, 1996). La producción de leche no es una función lineal de tiempo, la cual puede reflejar efectos de inadecuada disponibilidad de glucosa través del día (Landau *et al.*, 1996), también han notado que la respuesta a las concentraciones de glucosa en la vena de la glándula mamaria, con infusiones de glucosa intra-yugular es diferente, si se hacen aplicaciones diferentes veces al día. Mejor relación entre tiempos de ordeña y ritmos de glucosa pueden incrementar la eficiencia lechera en cabras. La concentración de glucosa en plasma de cabras lecheras en los primeros meses de lactancia y con una alimentación estable es de $59.76 \pm 1.26 \text{ mg dL}^{-1}$ de acuerdo a lo que reporta Khaled *et al.* (1999) y se observa una correlación positiva ($r = 0.36$) entre el contenido de grasa de la leche y el nivel de glucosa sanguínea. Esta concentración de glucosa sanguínea esta en el rango mínimo de lo que reporta ($60-100 \text{ mg dL}^{-1}$) Plumb (1999).

En cabras alimentadas con *Trigonella foenum-graecum* L, la producción promedio de leche en un periodo de 7 semanas fue significativamente mayor en las cabras que recibieron la leguminosa comparado con el grupo control ($1,236 \pm 38$ vs 1093 ± 43 mL d⁻¹). Aparentemente la semilla de fenugreek presentó efectos sobre la concentración de glucosa en plasma, sin embargo fue significativamente ($P < 0.05$) menor en el grupo de cabras tratadas con valores de 54.2 ± 1 vs 57.5 ± 1 mg dL⁻¹. Los reportes han indicado que los tratamientos con esta leguminosa resultan en una hipoglicemia en diferentes especies tales como la humana, ratas y conejos. Además esta planta ha sido usada en el control de los niveles de glucosa sanguínea en personas diabéticas. Asumiendo que esta planta contiene algunos constituyentes con propiedades hipoglicémicas (Alamer y Basiouni, 2005).

En cabras lactantes alimentadas con diferentes concentraciones de proteína (100 % y 85 % de los requerimientos), la relación de proteína degradable en rumen y proteína de sobrepaso fue de 75:25 dieta I y 60:40 en la dieta II. En la dieta III las cabras recibieron solo el 85 % de los requerimientos de proteína cruda con una relación de 60:40. Los niveles de glucosa sanguínea no fueron afectados por el consumo de proteína cruda de la dieta (36.70 ± 1.86 , 34.57 ± 1.29 y 37.23 ± 1.17 mg dL⁻¹ (Pailan and Kaur, 1996). En cabras Alpina en pastoreo suplementadas con 0.660 Kg en el tratamiento A y B, 0.330 Kg en el tratamiento C y 0.0 Kg de concentrado por Kg de leche producido sobre 1.5 Kg d⁻¹ para el tratamiento D. El forraje fue una mezcla vegetal pastoreada por las cabras para los tratamientos A, B y C, excepto el tratamiento A que fue confinado y alimentado con heno de alfalfa. La concentración promedio de glucosa en los rebaños por tratamiento A, B, C y D; fue 44.1, 45.4, 44.9 y 40.1 mg dL⁻¹ respectivamente ($P < 0.05$) donde se observa que el menor nivel de glucosa sanguínea lo presenta el tratamiento D, las concentraciones altas de glucosa sanguínea puede ser el resultado de una suplementación de proteína cruda en la dieta, además se presentan elevadas concentraciones de amonio en el rumen resultando una gran absorción en el rumen de este compuesto o de la desaminación de aminoácidos (gluconeogénesis) no usados para el crecimiento de tejido corporal (Min *et al.*, 2005).

Urea

En caprinos también se ha utilizado el análisis de metabolitos sanguíneos y de otros fluidos orgánicos, como leche, para evaluar el balance nutricional de la cabra lechera. En esta especie, se han descrito como indicadores del aporte nutricional las determinaciones de las concentraciones sanguíneas de glucosa, β hidroxibutirato (β HB), cuerpos cetónicos totales, ácidos grasos no esterificados (NEFA), colesterol, triglicéridos y urea. Además, ciertos indicadores productivos como producción de leche y condición corporal complementan los indicadores sanguíneos, dado que también se ven afectados por los desbalances nutricionales (Cabiddu *et al.*, 1998).

La urea es el producto final del metabolismo del nitrógeno en los mamíferos. El metabolismo de este compuesto por los rumiantes tiene características únicas que son:

Producción de amonio por la degradación de proteínas en la fermentación ruminal.

Absorción de amonio a través de la pared del rumen y entrada al portal de la circulación.

Síntesis de urea con parte del amonio existente.

Reciclaje de la urea desde la saliva y a través de la pared del rumen.

Utilización de la urea para la síntesis de proteína microbiana del rumen.

Absorción de proteína, aminoácidos y nitrógeno en el tracto digestivo bajo.

La cantidad reciclada de urea es aumentada por el consumo de carbohidratos y nitrógeno. Esta relación positiva entre la concentración de nitrógeno ureico en sangre y consumo de fuentes nitrogenadas es coincidente con los reportes en cabras (Shingu *et al.*, 2007; Wittwer *et al.*, 1993). Uno de los indicadores más promisorios es el nivel de urea en sangre, el cual refleja el balance entre la proteína degradable y la energía fermentable en el rumen (Razz y Clavero, 2004). Diversos autores han señalado que valores altos de urea se encuentran en rebaños que utilizan dietas con alto aporte proteico, describiendo también una estrecha relación entre la concentración de urea y la relación proteína-energía de la dieta de vacas, ovejas y cabras (Bed *et al.*, 1998; Cannas *et al.*, 1998). Lo anterior es debido a que tanto los aumentos de proteína dietaria como los déficit de energía determinan un aumento de la concentración de amonio ruminal y la urea se sintetiza en el hígado a partir de amonio, en cantidades proporcionales a la concentración ruminal de éste (Cunningham, 1996).

La concentración sanguínea de nitrógeno ureico en cabras adultas se reporta de 12.6 a 28 mg dL⁻¹ (Plumb, 1999). Sin embargo, en cabras adultas alimentadas con niveles de proteína alto, medio y bajo, la concentración de urea en sangre es de 33.3, 22.0 y 8.3 mg dL⁻¹ respectivamente; las concentraciones de urea incrementan con incrementos en el nivel de proteína en la dieta, lo cual indica una relación positiva entre concentración de urea sanguínea y consumo de proteína. La concentración presenta menos variación cuando se reporta por raza, cabras Alpina presentaron 21.2 mg dL⁻¹, Angora 18.5 mg dL⁻¹ y Nubias 23.9 mg dL⁻¹. Las cabras de raza Angora tuvieron el menor valor de urea comparado con otras razas, esto podría ser un reflejo de una mejor utilización de este compuesto (Sahlu *et al.*, 1993). En cabras Saanen y mestizas de Saanen, alimentadas con forraje (alfalfa fresca, heno y silo de maíz), concentrado comercial y subproductos de fruta en proporción promedio de 60, 10 y 30% respectivamente, entre la tercera y sexta semana de lactancia, se reportan concentraciones promedio de urea de 60.07, 97.91 y 78.09 mg dL⁻¹ estos valores son altos debido al alto aporte protéico entre un 16 y un 70 %, acompañado de un déficit energético (Ríos *et al.*, 2006). Mientras que Khaled *et al.*, (1999) en cabras en producción de leche y alimentación estable, con 13.64 % de proteína y 4.90 Mcal E.M., la concentración promedio de urea en sangre fue de 53.28 mg dL⁻¹. En cabras lactantes alimentadas con diferentes concentraciones de proteína (100 % y 85 % de los requerimientos), la relación de proteína degradable en rumen y proteína de sobrepaso fue de 75:25 dieta I y 60:40 en la dieta II. En la dieta III las cabras recibieron solo el 85 % de los requerimientos de proteína cruda con una relación de 60:40. Las concentraciones de urea en sangre (43.85±1.03, 46.16±2.39, 38.60±1.48 mg dL⁻¹, respectivamente) fueron menores en el grupo III (P< 0.05) que en los otros grupos afectados, manifestado por la menor producción de amonio en el rumen, debido a la más baja suplementación proteica en la dieta (Pailan y Kaur, 1996). En el caso de vacas sanas o novillos en la etapa de finalización, las concentraciones de urea menores de 7 mg dL⁻¹ indican una eficiencia de proteína en la dieta en relación con el consumo de energía digestible. En animales de rápido crecimiento o en vacas lecheras altas productoras las concentraciones de nitrógeno ureico menores de 15 mg dL⁻¹ indican un deficiencia relativa de proteína en la dieta (Hamnjond y Chase, 2009).

MATERIALES Y METODOS

Localización del Área de Estudio

El estudio de campo se llevó acabo en la granja de cabras "San Jorge"; que se encuentra localizada en el poblado del Peyote, municipio de Guadalucazar, S. L. P., ubicada en el km 68 de la carretera federal 57 México-Laredo. En las coordenadas geográficas 22° 39'19.13" de Latitud Norte y 100° 36'32.13" Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y a una altitud de 1660 msnm. El clima es seco frío, con temperatura media anual de 18.1° C y una precipitación media anual de 355 mm.

Animales

Se utilizaron 20 cabras de la raza Alpina entre uno a cuatro partos, con un peso corporal promedio de 34.33±6.85 kg Las cabras se incorporaron al estudio conforme fueron pariendo, para iniciar el muestreo a los siete días después del parto, y mantenerlo hasta la semana nueve de lactancia.

Tratamientos

Se evaluaron los siguientes tratamientos: T₁.- 40 % de concentrado + 60 % de forraje (alfalfa) (7 cabras); T₂.- 40 % de concentrado + 40 % de alfalfa + 20 % de nopal (7 cabras); T₃.- 40 % de concentrado + 20 % de alfalfa + 40 % de nopal (6 cabras). Las dietas se formularon para cubrir los requerimientos de nutrientes como proteína cruda (16.0 %), energía metabolizable (2.0 Mcal kg⁻¹) para mantenimiento y una producción de 2.0 l de leche d⁻¹ (NRC, 1981). Las fórmulas de las dietas que se utilizaron en los tres tratamientos se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Dietas formuladas para alimentar cabras de raza Alpina en producción de leche usando niveles crecientes de nopal (*Opuntia ficus indica*) en sustitución de alfalfa.

Ingredientes	Tratamiento 1 (kg)	Tratamiento 2 (kg)	Tratamiento 3 (kg)
Total concentrado	40.0	40.0	40.0
Sorgo grano	17.0	5.0	7.0
Avena grano	7.5	15.0	10.0
Harina de soya	8.0	12.0	15.0
Melaza	5.0	5.0	5.0
Urea	0.0	0.5	1.0
Sal	1.0	1.0	1.0
Minerales	1.5	1.5	1.0
Total forraje	60.0	60.0	60.0
Heno de alfalfa	60.0	40.0	20.0
Nopal	0.0	20.0	40.0
Total	100	100	100

Variables en Estudio

Las variables en estudio fueron:

Consumo de materia seca (MS)

Peso vivo (kg)

Producción de leche (L)

Componentes de la leche (%)

sólidos totales

grasa

proteína

lactosa

sólidos no grasos

Parámetros sanguíneos

glucosa (mg dL⁻¹)

urea (mg dL⁻¹)

Manejo General

Las cabras después del parto se distribuyeron en cada uno de los tratamientos lo más balanceado posible en relación al peso, número de partos y se alojaron en corrales, con dimensiones de 7 x 7m, equipados con comedero y bebedero tipo canoa. El concentrado se proporcionó por la mañana una vez al día durante la ordeña, el forraje se ofreció dos veces al día a las 10:00 a.m. y a las 2:00 p.m.

Consumo de materia seca (MS)

Se determinó para cada uno de los tratamientos, para lo cual se pesó diariamente la cantidad de alimento ofrecido y la cantidad de alimento rechazado. El consumo se estimó de forma global para cada tratamiento, debido a que las cabras permanecieron en corrales comunes.

Peso vivo

Los animales se pesaron por las mañanas cada 14 días, previo ayuno de 15 horas, durante todo el periodo experimental (nueve semanas).

Producción de leche

Después del parto las cabras se ordeñaron manualmente a las 8:00 hs durante nueve semanas, separando las crías de sus madres a las 17:00 hs del día anterior. La producción de leche se registró una vez a la semana de forma individual durante el periodo experimental.

Muestreo y análisis químico de la leche

El mismo día que se determinó la producción de leche, se tomaron muestras de 250 ml de leche por cabra. Las muestras se procesaron al momento que fueron colectadas en el Laboratorio de Leche de la Facultad de Agronomía, se determinó la composición

química de la leche en porcentaje: sólidos totales, grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos. Se utilizó un equipo MilkoScan[™] Minor tipo 78100.

Metabolitos sanguíneos

Se tomaron muestras de sangre por punción de la vena yugular en las semanas 1,3,5,7 y 9 del periodo experimental, previo ayuno de 15 hr, con tubos de 7 ml provistos de vacío y anticoagulante (EDTA). Las muestras de sangre se almacenaron y transportaron al laboratorio en una hielera provista con hielo. Las muestras se centrifugaron a 3000 rpm x 15 min. para separar el plasma, el cual se colectó con pipetas Pasteur y se transfirió a tubos de ensayo. El plasma se utilizó para realizar las determinaciones de glucosa y urea. La glucosa se determinó por el método de la glucosa-oxidasa (Merck-Mexico, SA; Art 3393) y la urea por el método colorimétrico (Merck-Mexico, SA; Art 3341). La lectura de la absorbancia se realizó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 500 y 546 nM, respectivamente. Los resultados se expresaron en mg dL⁻¹.

Análisis Estadístico

Los resultados se sometieron a Análisis de Varianza, para lo que se utilizó el paquete estadístico JMP Star Statistics, Ver 4.0 (2004), utilizando el siguiente modelo lineal de efectos fijos:

$$Y_{ij} = \mu + TD_i(1,2,3) + PL_j(1,2,3,\dots,9) + (TD \times PL)_{ij} + \xi_{ij}$$

Donde Y_{ij} : Consumo de alimento, producción, componentes de leche, peso vivo y parámetros sanguíneos

μ = Media poblacional

TD_i : Efecto de el i - ésimo tipo de dieta (1,2,3)

PL_j : Efecto de el j - ésimo periodo de lactación (1,2,3,...9)

Interacción = $(TD \times PL)_{ij}$

ξ_{ij} Error residual NID $(0, \delta_e^2)$

Cuando se detectaron efectos significativos ($P < 0.05$) debidos al tratamiento, se aplicó la Prueba de Tukey ($P < 0.05$) para comparación de medias, utilizando el mismo paquete estadístico.

FNQST1A83

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consumo de Alimento

El consumo de concentrado fue similar ($P>0.05$) en las cabras de los tres tratamientos alimenticios, mientras que el consumo de forraje fue diferente entre los tres tratamientos ($P<0.05$). En los tratamientos en los que se sustituyó la alfalfa por nopal, el consumo de forraje se redujo, debido a que las cabras no consumieron la totalidad del nopal ofrecido, en especial, en el nivel alto de nopal (Cuadro 3). La inclusión de 20% de nopal ocasionó un incremento significativo ($P<0.05$) en el consumo de forraje, siendo el tratamiento en el que mayor consumo se registró. Sin embargo, la inclusión de 40% de nopal redujo el consumo total de forraje, debido a que el consumo de nopal fue mayor que con la inclusión de 20%, pero no logró duplicar el consumo, probablemente debido a que al elevar el nivel de ofrecimiento de nopal, el consumo de agua también se elevó, limitando la capacidad gástrica. Debido a lo anterior, el consumo total de materia seca se redujo ($P<0.05$) en este último tratamiento. Esto sugiere que el elevado contenido de agua del nopal (entre 87 y 92%) constituye una limitante para lograr consumos elevados de este forraje. La utilización de nopal en la alimentación de cabras en producción de leche, en sistemas intensivos estabulados, se ha considerado como una estrategia orientada a reducir los costos de producción y a elevar la sostenibilidad del sistema de producción, al constituir un recurso alimenticio de bajo costo y, sobre todo, de bajo consumo de agua, al mismo tiempo que es un forraje disponible todo el año, aún en épocas de estiaje. Sin embargo, en general se le ha considerado como un alimento de pobre calidad, debido principalmente a su bajo contenido de materia seca y proteína cruda. No obstante, en época reciente se ha ido incorporando gradualmente en los sistemas alimenticios de los animales de granja, llegando a constituir una fracción importante en algunos sistemas de producción (Cordeiro y Gonzaga, 2003).

Cuadro 3. Consumo en kg de alfalfa, nopal y concentrado (en base seca) de cabras alimentadas con dietas a base de concentrado y alfalfa, con sustituciones del 20 y 40% de la alfalfa por penca de nopal.

	ALFALFA	NOPAL	FORRAJE	CONCENTRADO	TOTAL
0% NOPAL	1.61±0.02	0.00	1.61±0.02 ^b	1.18±0.03	2.79±0.03 ^b
20% NOPAL	1.11±0.00	0.53±0.01	1.64±0.009 ^a	1.19±0.00	2.83±0.01 ^a
40% NOPAL	0.54±0.00	0.61±0.05	1.15±0.048 ^c	1.19±0.00	2.34±0.05 ^c

^{a, b, c} literales diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente

Producción de Leche

El nivel de nopal afectó ($P=0.0074$) la producción de leche, al igual que el periodo de lactancia, pero no la interacción de los dos factores. La mayoría de las variables relacionadas con la calidad de la leche fueron afectadas ($P<0.05$) por el periodo de lactancia, pero no por el nivel de inclusión de nopal en la dieta ni por la interacción de los dos factores (Cuadro 4). Sólo el contenido de sólidos totales y lactosa no se vieron afectados por el periodo de lactancia.

Cuadro 4. Efecto de la dieta, el periodo y la interacción entre ambos factores sobre la producción y calidad de leche de cabras raza Alpina alimentadas con niveles crecientes de nopal.

Variable	Dieta	Periodo	Interacción
Producción diaria de leche, Kg	0.0074	0.0001	ns
Contenido de sólidos totales %	ns	ns	ns
Contenido de grasa, %	ns	0.0001	ns
Contenido de proteína cruda, %	ns	0.0024	ns
Contenido de lactosa, %	ns	ns	ns
Contenido de sólidos no grasos, %	ns	0.0016	ns

La producción promedio de leche y sus componentes se muestra en el Cuadro 5. En general, el nivel de producción de leche tendió a reducirse conforme se incrementó la cantidad de nopal en la ración. El contenido de sólidos totales en la leche se observó una tendencia similar sin llegar a ser significativa. El resto de las variables de calidad de leche no muestran una tendencia atribuible al consumo de nopal. Sólo en producción de leche se detectaron diferencias significativas debidas al nivel de nopal.

Cuadro 5. Producción y calidad promedio de leche de cabras de raza Alpina alimentadas con niveles crecientes de nopal.

Variable	Nivel de nopal en la dieta		
	Bajo (0.0%)	Medio	Alto
Producción de Leche (Kg d ⁻¹)	1.39±0.30 ^a	1.30±0.28 ^a	1.16±0.17 ^b
Sólidos Totales (%)	11.75±1.02	11.58±0.75	11.45±0.79
Grasa (%)	3.37±.93	3.14±0.48	3.09±0.67
Sólidos No Grasos (%)	8.41±0.30	8.46±0.32	8.38±0.15
Proteína (%)	3.13±0.30	3.21±0.27	3.13±0.22
Lactosa (%)	4.21±0.13	4.18±0.17	4.17±0.10

^{a,b,c} literales diferentes en la misma línea son diferentes estadísticamente

La producción de leche fue afectada por el nivel de nopal en la dieta y por el período de lactancia (Figura 1). A lo largo de la lactancia, la producción siguió una tendencia normal, elevándose a partir del inicio de ésta para alcanzar el pico de producción alrededor de la quinta semana, tendiendo a disminuir gradualmente en las siguientes semanas. En general, la producción de leche tendió a ser mayor en las cabras alimentadas con el nivel bajo de nopal y menor con el nivel alto. Aunque los niveles de producción no fueron elevados, pues se mantuvieron entre 1 y 2 litros diarios, fueron suficientes para permitir que se expresara el efecto de la inclusión de nopal en la dieta. En vacas Holstein, González *et al.* (1998) observaron una correlación negativa ($r = -0.98$) entre el nivel de inclusión de nopal en la dieta y la producción diaria de leche, lo cual fue atribuido a que al elevar el nopal se redujo el consumo total de materia orgánica. Esto concuerda con los resultados del presente estudio, en donde se observó que al elevar el nivel de nopal se redujo el consumo voluntario y la producción de leche.

En contraste, Araújo *et al.*, (2008) observaron en vacas lecheras alimentadas con niveles crecientes de nopal enriquecido con urea, para obtener dietas isonitrogenadas,

que la producción de leche se incrementó al incluir nopal en la dieta, sin afectar el contenido de grasa o la producción de leche corregida a 3.5% de grasa. Los autores atribuyen estos resultados a que al incluir nopal en la dieta, se incrementó linealmente el consumo de energía.

En general se ha visto que al incluir nopal en la dieta en sustitución de forrajes tradicionales, como ensilaje de sorgo o heno de pasto, se reduce el consumo de materia seca, sin embargo, se incrementa el consumo de carbohidratos no fibrosos (Araújo *et al.*, 2008). Estos carbohidratos solubles son rápidamente fermentados en el rumen, mejorando el aporte de energía, lo que propicia mayores producciones de leche en vacas, aunque hasta cierto nivel de consumo (Wanderley *et al.*, 2002; Araújo *et al.*, 2008).

El nopal es un forraje con reducido contenido de proteína cruda (Fuentes *et al.*, 1999; De la Rosa *et al.*, 1999; Ben Salem *et al.*, 2002; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2008), por lo que al ser utilizado en sustitución de forrajes con mayores contenidos de este nutriente, como la alfalfa, es necesario incluir algún ingrediente que aporte nitrógeno o proteína, tales como harina de urea o soya, respectivamente (Araújo *et al.*, 2008). En el presente estudio, las dietas utilizadas fueron formuladas para obtener un aporte de nitrógeno similar en todas ellas, por lo que no es posible atribuir las diferencias en el consumo o en la producción a un desbalance en el consumo de este nutriente.

Por otro lado, se ha observado que la eficiencia alimenticia se incrementa conforme se eleva la cantidad de nopal en la dieta (González *et al.*, 1998; Araújo *et al.*, 2008), aunque parece que esto ocurre hasta cierto grado, es decir, que la respuesta a niveles crecientes de nopal podría ser de tipo cuadrática (Wanderley *et al.*, 2002). Sin embargo, en los niveles de nopal utilizados en el presente estudio, no se observó una tendencia a disminuir la eficiencia alimenticia, lo que permite suponer que los niveles utilizados están por debajo del máximo, en el cual la eficiencia comienza a disminuir. Efectivamente, Wanderley *et al.* (2002) observaron que la eficiencia es creciente hasta niveles cercanos al 50% de inclusión de nopal en la dieta de vacas lecheras.

En el presente estudio, el contenido de grasa no se afectó por el nivel de nopal en la dieta, lo cual concuerda con resultados obtenidos en vacas lecheras (Wanderley *et al.*, 2002; Araújo *et al.*, 2008). De igual forma, el contenido de sólidos totales, proteína

cruda, sólidos no grasos y lactosa no se vieron afectados, lo que indica que el uso de nopal en niveles de 20%, no sólo no afecta la producción de leche, sino que tampoco afecta su calidad, mientras que niveles del 40%, aunque afecta la producción, no afecta la calidad de la leche, lo cual concuerda con Araújo *et al.* (2008).

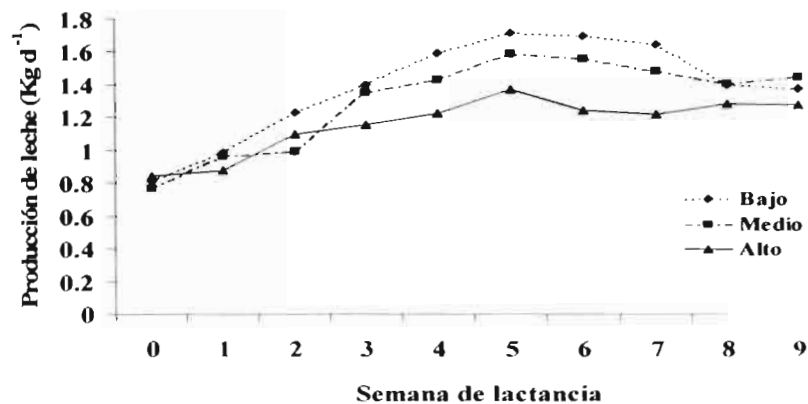


Figura 1. Producción diaria de leche (kg d⁻¹) en cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

Composición de la Leche

Sólidos totales

El contenido de sólidos totales (ST) tendió a disminuir conforme progresó la lactancia, sin que se detectaran diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos en ninguna de las semanas evaluadas (Figura 2). Los ST se mantuvieron por encima del 10% en los tres niveles de consumo de nopal en todos los períodos evaluados, lo que supone una leche de calidad suficiente para incorporarse a las industrias queseras y dulceras.

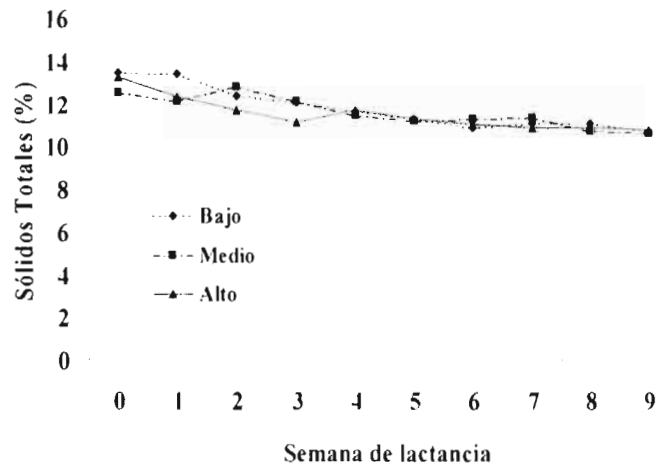


Figura 2. Contenido de sólidos totales (%) en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

Grasa

El porcentaje promedio de grasa en leche tendió a disminuir con la lactancia, estabilizándose a partir de la tercera semana. Las variaciones observadas entre niveles de inclusión de nopal en la dieta fueron muy ligeras en todas las semanas de lactancia, por lo que la variación observada a lo largo del período experimental siguió una tendencia similar en todos los niveles (Figura 3). Cuando se inicia la lactancia el contenido de grasa es mayor y la producción de leche es baja, pero a partir de la tercer semana de lactancia la producción de leche se incrementa y se da una menor producción de grasa en el periodo de lactación, a esto se le conoce como un efecto de dilución, causado por el incremento en el volumen de leche producida hasta el pico de la lactancia (Chilliard *et al.*, 2003). Otros investigadores mencionan que el periodo de lactancia afecta principalmente el contenido de grasa, observándose el mayor contenido de grasa en las

primeras semanas, para luego descender (Díaz *et al.*, 2004), tal y como ocurrió en este trabajo.

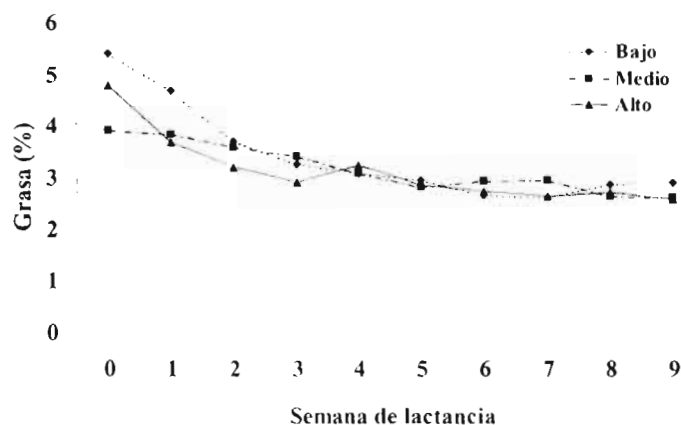


Figura 3. Contenido de grasa (%) en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

Proteína cruda

El contenido de proteína de la leche siguió una tendencia similar al observado en el contenido de grasa, a disminuir conforme avanzó la lactancia, alcanzando los menores niveles al final del período de observación, en la novena semana, que fueron de 2.71, 2.91 y 2.91% en las cabras consumiendo los niveles bajo, medio y alto, respectivamente (Figura 4). Cambios en la composición de la leche ocurren hacia el final de la lactancia el contenido de grasa, proteína, sólidos y minerales se incrementan, mientras el contenido de lactosa decrece (Park *et al.*, 2007). La producción de grasa y proteína están inversamente relacionados con el nivel de producción durante el periodo de lactancia (Lombaard, 2006).

Morand-Fehr (1981) reporta una correlación alta ($r=0.96$) entre el porcentaje de grasa en leche de cabras, contrariamente Hadjipanayiotou (1995) encontró correlaciones muy

bajas entre el porcentaje de grasa y de proteína en la leche ($r=0.06$). Además menciona que hay un alto interés en el contenido de proteína de la leche. El contenido de sólidos totales y proteína son los compuestos químicos más importantes en la elaboración de queso, especialmente la caseína tiene una influencia significativa sobre tiempo y firmeza de cuajada, este compuesto es responsable de la débil textura del yogurt de leche de cabra, además la β caseína es la responsable del decremento en la producción de queso, por su solubilidad (Park *et al.*, 2007), por eso la proteína se utiliza como un indicador del precio de la leche de cabra.

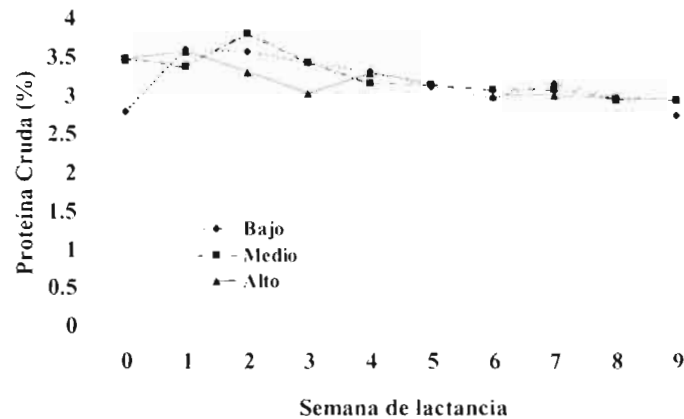


Figura 4. Contenido de proteína cruda (%) en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia

Sólidos no grasos

El contenido de sólidos no grasos (SNG) fue significativo ($P<0.05$) durante el periodo de lactancia, aunque fue muy variable, observándose mayores variaciones en la leche de cabras alimentadas con los niveles bajo (0.0%) y medio que con el alto (Figura

5). Los sólidos no grasos cuantifican el contenido de proteína, lactosa y minerales. Los niveles de SNG estuvieron en los rangos de 7.85 a 8.89 % para los animales alimentados con el nivel 0.0 % de nopal; de 8.07 a 9.2 % para los animales con el nivel medio, y los animales que recibieron el nivel alto de nopal 8.26 a 8.56 % fue el grupo con menos variación en el contenido de SNG. Estos resultados son similares a los reportados por Park *et al.* (2007), Sahlu *et al.* (1995) 8.9 y 7.75 % de SNG respectivamente. Es importante mencionar que esta variable no ha sido estudiada en cabras, lo que constituye una nueva aportación al conocimiento de la composición de la leche.

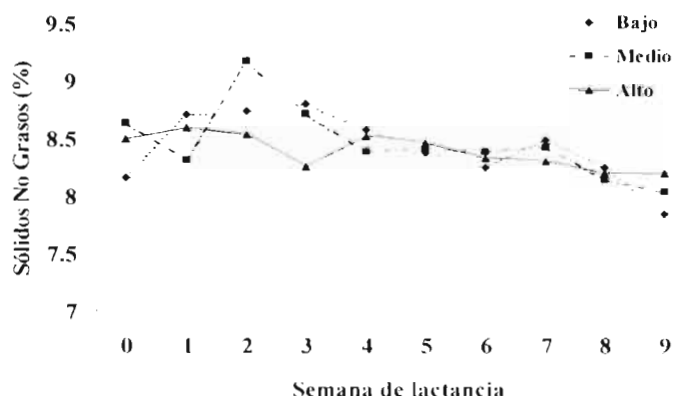


Figura 5.- Contenido de sólidos no grasos (%) en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

Lactosa

El contenido de lactosa en la leche fue el parámetro de calidad que más varió a lo largo del período de observación (Figura 6), aunque las variaciones observadas no siguieron un patrón bien definido que pudiera atribuirse al nivel de consumo de nopal. Sin embargo, parece ser que con el nivel alto de consumo de nopal el contenido de lactosa fue más estable, manteniéndose entre 3.95 y 4.25%, mientras que con los otros

dos niveles de nopal las variaciones fueron mayores, rebasando en algunos casos el 4.5% o descendiendo de 3.9%. Sin embargo, el nivel de nopal en la dieta, el periodo y la interacción no fueron significativos ($P>0.05$) en el contenido de lactosa.

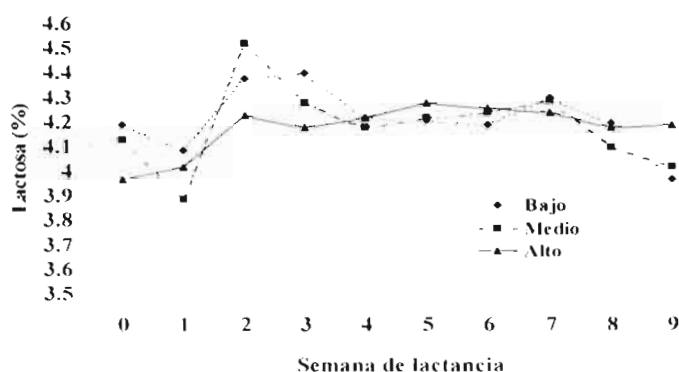


Figura 6. Contenido de lactosa (%) en leche de cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

Peso Corporal

El peso corporal no se vio afectado ($P>0.05$) por los niveles de inclusión de nopal, el periodo de lactancia o la interacción de los dos factores (Cuadro 6). Las cabras a las que se les ofreció el nivel alto de nopal mostraron un peso similar al de las cabras de los demás tratamientos, a pesar de que el consumo de alimento se redujo significativamente. En estas cabras, la producción de leche también se redujo, lo que probablemente evitó que se registraran pérdidas de peso.

Metabolitos Sanguíneos

Los análisis estadísticos detectaron diferencias ($P < 0.05$) debidas principalmente al periodo de lactancia. En ningún caso se detectaron diferencias debidas a la dieta e interacción. Los valores de F que arrojaron los análisis en las variables sanguíneas se muestran en el Cuadro 6. Se puede observar que el período de lactancia afectó las variables sanguíneas, en especial la concentración de urea.

Cuadro 6. Efecto del nivel de nopal en la dieta, el periodo de lactancia y la interacción sobre el peso corporal y algunos componentes de química sanguínea de cabras de raza Alpina.

Variable	Dieta	Periodo	Interacción
Cambio de peso vivo, Kg	ns	ns	ns
Glucosa, mg dL ⁻¹	ns	0.0359	ns
Urea, mg dL ⁻¹	ns	0.0003	ns

Glucosa

En las Figuras 7 a 8 se muestran las variaciones de glucosa y urea en sangre. El período de lactancia tendió a modificar los metabolitos. Es interesante notar que la inclusión de 20% de nopal presenta la mayor concentración de glucosa durante el periodo de lactancia, pero sin que sea significativo, en relación a los animales que consumieron 0.0 y 40.0 % de nopal (Figura 7). Sin embargo, a través del periodo de lactancia se encontró diferencia ($P < 0.05$) en los niveles de glucosa sanguínea. La máxima concentración de glucosa sanguínea de las cabras se presentó en la quinta semana de lactancia, para ir disminuyendo a través del periodo experimental y presentar la menor concentración en la semana nueve del periodo experimental, para los tres niveles de nopal. Cabe señalar que en esta semana los niveles de glucosa sanguínea para los animales que recibieron nopal en la dieta es el mas bajo y la mayor concentración la presenta los animales que no consumieron nopal (Bajo), sin que esto sea significativo ($P > 0.05$). La mayor concentración de glucosa se presenta en la semana cinco que coincide

con la mayor producción de leche (pico de la lactancia). Es importante señalar que a pesar de la baja concentración de glucosa sanguínea hasta la semana siete se encuentra por arriba de los 30mg dL^{-1} . Después de esta semana los valores de glucosa sanguínea se vuelven críticos especialmente para los animales que reciben la dieta con nopal, estos valores indican subnutrición. La baja concentración de glucosa que se presenta en las últimas semanas del periodo experimental podría ser debido al uso de la glucosa sanguínea como productor de energía para la síntesis de leche y a la reducción del consumo de alimento. Los niveles de glucosa sanguínea en el periodo de lactancia son muy parecidos a los que reporta Min *et al.*, (2005) en cabras Alpina en pastoreo y son superiores a lo que reporta (36.70 ± 1.86 , 34.57 ± 1.29 y 37.23 ± 1.17 mg dL^{-1}) Pailan y Kaur (1996), en cabras lactantes alimentadas con diferentes niveles de proteína. La única excepción fue en la semana final del periodo de lactancia. Bach (2001) señala que un balance energético negativo se caracteriza por niveles sanguíneos bajos de glucosa. Bajo estas condiciones, los mecanismos de regulación homeorrética (acción de distribuir la energía disponible hacia las distintas funciones metabólicas) establecen la prioridad de utilizar los nutrientes hacia la producción láctea por encima de la función reproductiva.

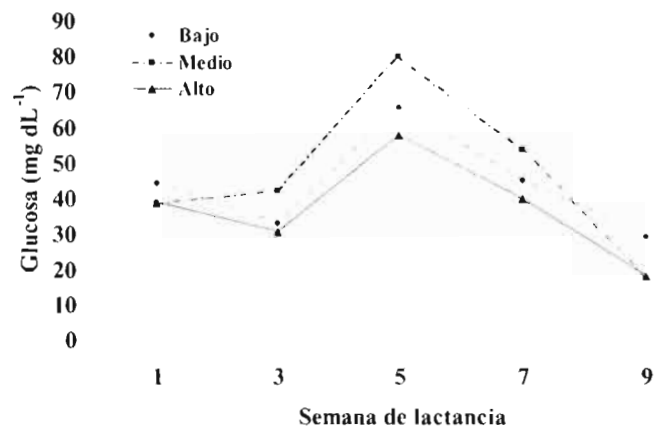


Figura 7. Valores promedio de glucosa en sangre en cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

Urea

El nivel de nopal en la dieta no afectó ($P > 0.05$) la concentración de urea en sangre. Sin embargo, en la Figura 8 se observa que el periodo de lactancia presenta un efecto significativo ($P < 0.05$) en la concentración de urea sanguínea. En la semana tres y nueve se observa la más alta concentración de urea sanguínea, también en estas dos semanas del periodo de lactancia se presentó un mayor déficit de energía (Figura 7). Al respecto diversos autores han señalado que valores altos de urea se encuentran en rebaños que utilizan dietas con alto aporte proteico, describiendo también una estrecha relación entre la concentración de urea y la relación proteína-energía de la dieta de vacas, ovejas y cabras (Bed *et al.*, 1998; Cannas *et al.*, 1998). Lo anterior es debido a que tanto los aumentos de proteína dietaria como los déficit de energía determinan un aumento de la concentración de amonio ruminal y la urea se sintetiza en el hígado a partir de amonio, en cantidades proporcionales a la concentración ruminal de éste (Cunningham, 1996).

Las menores concentraciones de urea en sangre se presentan en las semanas uno, cinco y siete, son los tiempos en que la concentración de glucosa es mayor,

especialmente en la semana cinco, es en esta semana donde el nivel de urea en sangre alcanza su menor concentración, pero también es donde se da la mayor concentración de glucosa. Lo cual refleja el balance entre la proteína degradable y la energía fermentable en el rumen (Razz y Clavero, 2006).

Los valores de urea en sangre que se obtuvieron en este trabajo están dentro de los rangos normales que mencionan, para cabras en producción de leche, otros autores (Pailan y Kaur, 1996; Ríos *et al.*, 2006).

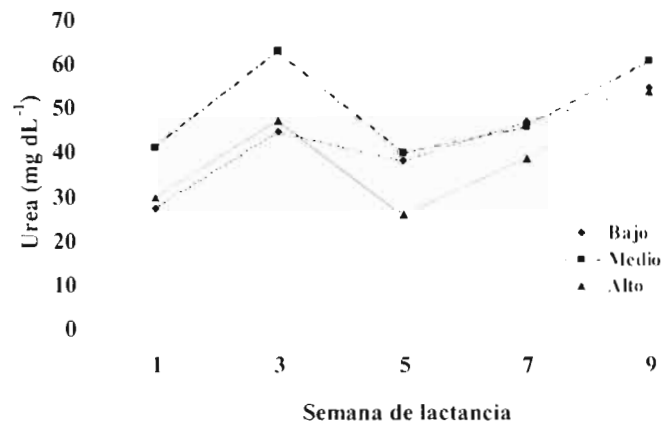


Figura 8. Valores promedio de urea en sangre en cabras de raza Alpina alimentadas con tres niveles de nopal durante la lactancia.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la inclusión de nopal en un nivel del 20 % aumentan el consumo de alimento, sin afectar la producción de leche. Sin embargo, el 40 % redujo ambas variables. El uso de nopal en la dieta de cabras en lactación, no afectó la composición de la leche, el peso de los animales ni los metabolitos sanguíneos. Sin embargo, el periodo de lactación afectó la producción y composición de leche, en parámetros químicos de importancia económica como la proteína cruda. La concentración de glucosa en sangre fue afectada de manera negativa y en consecuencia el nivel de urea en sangre en los animales que consumieron dietas con nopal.

LITERATURA CITADA

- Alamer, A..M.; Basiouni, F. G. 2005. Feeding effects of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum* L.) on lactation performance, some plasma constituents and growth hormone level in goats. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 8:1553-1556.
- Araújo C.C.V., Andrade F.M., Costa C.M., Da Silva, M.F., De Lima L.E. 2008. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim-tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37:689-693.
- Bach, A. 2001. La reproducción del vacuno lechero: nutrición y fisiología. XVII Curso de especialización FEDNA. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
<http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/2001CAPV.pdf>.2001.
- Bed, S., Nikodemusz, E. Nagy, Z., Seregi, J. 1998. Milk urea and lactose as indicators of the protein and energy status in lactating ewe and goats. En REU. Technical Series. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. 50:204-211.
- Beltrán L.S, Loredó O.C. 2008. Evaluación de arbustivas forrajeras en zonas áridas. En: Memoria Electrónica del V Simposium Internacional de Pastizales, Saltillo, Coahuila, México. s/p.
- Beltrán L.S, Loredó O.C. y Urrutia M.J. 2005. Manejo y rehabilitación de agostaderos de zonas áridas y semiáridas. En: Loredó O.C., Prácticas para la Conservación del Suelo y Agua en Zonas Áridas y Semiáridas. Libro Técnico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental San Luis. pp. 157-187.
- Ben Salem, H., Abdouli, H., Nefzaoui, A., El-Mastouri, A., Ben-Salem, L. 2005. Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. *Small Rumin. Res.* 59: 229-237.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben-Salem, L. 2002a. Nitrogen supplementation improves the nutritive value of *Opuntia ficus-indica* f. *inermis*-based diets and sheep growth. *Acta Hort.* 581:317-321.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben-Salem, L. 2002b. *Opuntia ficus-indica* f. *inermis* and *Atriplex nummularia* L.: Two complementary fodder shrubs for sheep and goats. *Acta Hort* 581:333-341.

- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben-Salem, L. 2004. Spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *Small Rumin. Res.* 51:65-73.
- Cabiddu, A., Molle, G., Branca, A., Decandia, M., Pes, A., Santucci, P.M., Masoero, F., Calamari, L. 1998. Relationship between BCS, metabolic profile and milk quantity and quality in goats Browning a mediterranean shurbland. *Stocartsvo.* 52:202-207.
- Cannas, B. Pes, A., Mancuso, R., Vodret, J., Nudda, A. 1998. Effect of dietary energy and protein concentration on the concentration of milk urea nitrogen in dairy ewe. *J. Dairy Sci.* 81:499-508.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J, Lamberet, G. 2003. A Review of Nutritional and Physiological Factors Affecting Goat Milk Lipid Synthesis and Lipolysis. *J. Dairy Sci.* 86:1751-1770.
- Cordeiro, DS. D, Gonzaga, A.S. 2003. *Opuntia* como forraje en el noreste semiárido del Brasil. En: *El nopal (Opuntia spp.) para forraje*. FAO. 2003. Departamento de Agricultura.
- Cunningham, J. 1996. *Fisiología Veterinaria*. Interamericana, Ciudad de México; Mc. Graw-Hill.
- De Dock, G. 2003. El uso del nopal como forraje en las zonas áridas de Sudáfrica. En: *El nopal (Opuntia spp.) para forraje*. FAO. 2003. Departamento de Agricultura.
- De la Rosa, R., Tovar, Ll., Hernández, A. 1999. Consumo, digestibilidad, balance de nitrógeno y cambio de peso vivo en caprinos consumiendo tres especies de nopal y consumiendo nopal con heno de alfalfa. En: *Memoria de la XIV Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. Montecillos, Edo de México, México; 85-90.
- Díaz, G.M.O., Torres, H.G., Ochoa, C.M.A., Mandeville, P.B., González, G.R. 2004. Efecto del sexo de la cría y la etapa de lactancia en los componentes de la leche de cabras F1 Alpino x Nubia. *Memorias de la XIX Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. pp. 219-223.
- Echavarría, C.F.G., Gutiérrez, L.R., Ledesma, R.R.I., Bañuelos, V.R., Aguilera, S.J.I., Serna, P.A.. 2006. Influence of small ruminant grazing systems in a semiarid range in State of Zacatecas Mexico. I Native vegetation. *Téc. Pecu. Méx.* 44: 203-217.
- Everitt, J.H. Gonzalez, C.L. 1981. Seasonal nutrient content in food plant of white-tailed deer on the south Texas plains. *Journal of Range Management*, 34:506-510.

- Felker, P. 2003. La utilización de Opuntia como forraje en los Estados Unidos de América. En: El nopal (Opuntia spp.) para forraje. FAO. Departamento de Agricultura.
- Flores, V.C.A., Aranda, O.G. 1997. Opuntia-based ruminant feeding systems in Mexico. J. PACD; pp. 3-8.
- Flores, G.F. 2007. La CONAZA en Lucha Contra la Desertificación. Ponencia presentada en el Foro Nacional de Conservación de Suelos y Combate a la Desertificación, San Luis Potosí, México.
- Fuentes, R.J.M., Jiménez, C.L., Suárez, G.L., Torres, H.M., Murillo, S.M.E., López, G.J.J., Ortiz, de la R.B. 1999. Evaluación nutricional de cuatro especies de nopal (Opuntia spp.) forrajero. En: memorias de la XIV Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Montecillos, Edo de México, México; 482-488.
- Gathaara, G.N., Felker, P. Land, M. 1989. Influence of nitrogen and phosphorus in Opuntia engelmannii tissue N and P concentrations, biomass production and fruit yields. Journal of Arid Environments, 16:337-346.
- González, C.F., Llamas, L.G., Bonilla, C.J.A. 1998. Utilización del nopal como sustituto parcial de alfalfa en dietas para vacas lecheras. Téc. Pecu. Méx. 36:73-81.
- Gonzalez, C.L. 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (Opuntia lindheimerii Engelm.). Journal of Arid Environments, 16:87-94.
- Hadjipanayiotou, M. 1995. Composition of ewe, goat and cow milk and of colostrum of ewes and goats. Small Rum. Res. 18:255-262.
- Hamniord, A.C. Chase, Jr. C.C. 2009. Uso de indicadores en la sangre y la leche para determinar el estado nutricional y reproductivo del ganado vacuno. Consorcio Tropiclleche.
<http://www.ciat.cgiar.org/tropiclleche/documentos/libro/resumenes/48783.html>.
- Hammond, A.C. 1997. Update on bund and mun as a guide for protein supplementation in cattle. University of Florida. <http://www.dps.ufl.edu/pub/frns1997.pdf>.
- Hernández, V., Díaz, M., Tovar, L.I. 1998. Producción de leche, cambio de peso y condición corporal de cabras alimentadas con diferentes proporciones de nopal y ryegrass. En: Memorias de la XIII Reunión Nacional sobre Caprinocultura, San Luis Potosí, S.L.P. México. pp. 247-250.
- Jelinek, P., Gajdusek, S., Illek, J. 1996. Relationship between selected indicators of milk and blood in sheep. Small Rum. Res. 20: 53-57.
- JMP Star Statistics. Version 4.0.3 (Academic) 2000. SAS Institute Inc.

- Juárez, A.S., Montoya, R., Nevarez, G., Cerrillo, M.A. 2004. Seasonal variations in chemical composition and dry matter degradability of the forage consumed by goats in a highly deteriorated rangeland of North Mexico. *South Afric J Anim Sci.* 34(Suppl. 1):68-71.
- Khaled, N.F., Illek, J., Gajdúsek, S. 1999. Interactions between nutrition, blood metabolic profile and milk composition in dairy goats. *Acta Vet. Brno.* 68:253-258.
- Landau, S., Morand-Fehr, P., Bas, P., Schmidely, P. Giger-Reverdin, S. (1996). Nutritional efficiency for conception, pregnancy and lactation in goats with an emphasis on glucose and nitrogen metabolism. *FAO/CIHEAM- Options Mediterraneennes.* pp.59-70.
- Lombaard, C.S. 2006. Hierarchical bayesian modelling for the analysis of the lactation of dairy animals. Ph. D. Thesis. Faculty of Economic and Management Sciences, Department of Mathematical Statistics, University of the Free State Bloemfontein.
- López, G.J., Fuentes, R.J., Rodríguez G.A. 2003. Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México. En: *El nopal (Opuntia spp.) para forraje.* FAO. Departamento de Agricultura.
- Luna, V.J., Urrutia, M.J. 2008. Nopal para forraje en el altiplano potosino. Folleto para Productores No. 49. Febrero. C.E. San Luis. CIRNE, INIFAP, SAGARPA. 31 p.
- Martínez, M.A.L. 2005. Origen de los nutrientes utilizados en la síntesis de la leche. En *Factores nutricionales que afectan a la composición de la leche de vaca III. Caprinotecnia: alimentación, sanidad y mejoramiento genético.* p. 23.
- Mazuca, N.R.M., Romero-Paredes, R.J., Cano, R.P. 1995. Utilización del nopal (*Opuntia spp*) en dietas para cabras lactantes. 1. Digestibilidad, producción de leche.
- Medina, R.M., Tirado, E.G., Mejía, H.I., Camarillo, S.I., Cruz-Vázquez, C. 2006. In situ digestibility in dehydrated ground prickly pear diets containing a fibrolitic enzymes product. *Pesq. Agropec. Bras.* 41:1173-1177.
- Mellado, M., Foote, R.H., Rodriguez, A., Zarate, P. 1991. Botanical composition and nutrient content of diets selected by goats grazing on desert grassland in northern Mexico. *Small Rumin Res* 6:141-150.
- Mellado, M., Estrada, R., Olivares, L., Pastor, F., Mellado, J. 2006. Diet selection among goats of different milk production potential on rangeland. *J. Arid Environ.* 66 127-134.

- Méndez, V.J.C. 2006. Calidad nutrimental de árboles y arbustos con potencial forrajero para rumiantes del Altiplano Potosino. Tesis de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 28 p.
- Migaki, G., Hinson, L.E., Imes, G.D., & Garner, F.M. 1969. Cactus spines in the tongues of slaughtered cattle. *J. of the American Veterinary Medical Association*, 155:1489-1492.
- Min, B.R., Hart S.P., Sahl, T., Satter, L.D. 2005. The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. *J Dairy Sci.* 88: 2604–2615.
- Morlán, C.A.A., De Lucas, T.J., Valdez, L.E. 2005. Caracterización de sistemas de producción de pequeños rumiantes en Venado y Villa de Arista, San Luis Potosí. Memorias de la XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura, Culiacán, Sin. México. pp. 625-631.
- Morand-Fehr, P. 1981. Nutrition and feeding of goats: application to temperate climatic conditions. In: C. Gall (Editor), *Goat Nutrition*. Academic Press, London, Chapter 6, pp.193–232.
- National Research Council. 1981. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Number 15. Nutrient Requirements of Goats. Angora, Dairy and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy of Sciences. pp.10.
- Nefzaoui, A., Ben Salem, H. 2002. Forage, fodder and animal nutrition. In: Nobel, P.S. (Ed), *Cacti: Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, CA, USA, pp.190-210.
- Nefzaoui, A., Ben Salem, H. 2003. Opuntia forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región Wana. En: *El nopal (Opuntia spp.) para forraje*. FAO. Departamento de Agricultura.
- Nobel, P.S. 2003. Ecofisiología de *Opuntia ficus-indica*. En: *El nopal (Opuntia spp.) para forraje*. FAO. Departamento de Agricultura.
- Otchere, E.O., McGilliard, A.D. y Young, J. W. 1974. Quantitation of linked glucose polymers passing to the small intestine in cattle. *J. Dairy Sci.* 57:1189-1195.
- Pailan, G.H., Kaur, H. 1996. Influence of dietary protein content and digestibility on milk yield and blood constituents in lactating goats. *Small Rum. Res.* 20:47-51.
- Pambu-Gollah, R.; Cronje, P.B.; Casey, N.H. 2000. An evolution for the use of blood metabolite concentrations as indicator of nutritional status in free-ranging indigenous goats. *South Afric. J. Anim. Sci.* 30:115-120.

- Park, Y.W., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G.F.W. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rum. Res.* 68:88-113.
- Pinos-Rodríguez, J.M., Duque-Briones, R., Reyes-Agüero, J.A., García-López, J.C., González-Muñoz, S. 2006. Effect of species and age on nutrient content and in vitro digestibility of *Opuntia* spp. *J. Appl. Anim. Res.* 30:13-17.
- Plumb, D.C. 1999. *Veterinary drug handbook*. Plumb, D. C. Editor. Iowa State Press. 173 p.
- Razz, R., Clavero, T. 2004. Niveles de urea, fósforo, glucosa e insulina de vacas en ordeño suplementadas con concentrado en un sistema de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. *Revista Científica*. Vol. XIV. No. 4.365-369.
- Retamal, N., Duran, J.M., Fernandez, J. 1987a. Seasonal variations of chemical composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). *J. Science of Food and Agriculture*, 38:303-311.
- Ríos, C., Marín, M.P., Catafau, M., Wittwer, F. 2006. Concentraciones sanguíneas de hidroxibutirato, NEFA, colesterol y urea en cabras lecheras de tres rebaños con sistemas intensivos de producción y su relación con el balance nutricional. *Arch. Med. Vet.* 38, No. 1:19-23.
- Ruiz, Z.F., Olivas, S.R., Saucedo, V.L.R. 1996. Efecto de la inclusión del nopal (*Opuntia ficus indica*) en los cambios de peso y producción de leche de cabras en corral. *Memorias de la XI Reunión Nacional sobre Caprinocultura*, Chapingo, México. pp. 108-111.
- Sahlu, T., Hart, S.P., Fernandez, J.M. 1993. Nitrogen metabolism and blood metabolites in three goat breeds fed increasing amounts of protein. *Small Ruminant Research*. 10:281-292.
- Sánchez, C., García, H.M. 2006. Utilización de tuna de cabra (*Opuntia* sp.) enriquecida con urea en cabras bajo explotaciones tradicionales de zonas semiáridas del estado Lara, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 24:457-466.
- Shingu, H., Hayashi, H., Touno, E., Oshibe, A., Kushibiki, S., Oda, S., Kato, K., Obara, Y. 2007. Characteristics of developmental changes in the kinetics of glucose and urea in Japanese Black calves: Comparison with Holstein calves. *Journal Animal Sci.* 185.2910-2915.
- Shoop, M.C., Alford, E.J., Mayland, H.F. 1977. Plains prickly pear is good for cattle. *Journal of Range Management*, 30:12-17.
- Soryal, K., Zeng, S., Min, B., Hart, S. 2004. Effect of feeding treatments and lactation stages on composition and organoleptic quality of goat milk Domiati Cheese. *Small Rumin. Res.* 54: 121-129.

- Stintzing, F.C., Carle, R. 2005. Cactus ítems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* (49):175-194.
- Tegegne, F. 2002. Fodder potential of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Hort.* 581:333-341.
- Teles, F.F.F., Stull, J.W., Brown, W.H., Whiting, F.M. 1984. Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *J. Science of Food and Agriculture*, 35:41-425.
- Urrutia, M.J., Díaz, G.M.O., Rivera, L.T., Gámez, V.H., Beltrán, L.S., Luna, V.J., 2008. Use of cactus pad (*Opuntia ficus indica*) as a supplement of lactating does grassing on semiarid grassland. 9th International Conferences of Goats. Querétaro, Qro. México. p. 203.
- Vázquez, A.R.E., Valdez, C.R., Gutiérrez, O.E., Blanco, M.F. 2008. Caracterización e identificación de nopal forrajero en el noreste de México. VI Simposium Taller Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México. Marín, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición* 14 (Ed especial):21-36.
- Villegas-Díaz, J.L.O., Aguilar-Borjas, J.H., Andrade-Montemayor, H.M., Basurto-Gutiérrez, R., Jiménez-Severiano, H., Vera-Ávila, H.R. 2007. Efecto del tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre la degradabilidad in situ y cinética de degradación de la proteína cruda en caprinos. En: Memoria (electrónica) de la XXII Reunión Nacional sobre Caprinocultura, Zacatecas, Zac.
- Wittwer, F. 2000. Empleo estratégico de indicadores bioquímicos en el control de problemas metabólicos nutricionales en bovinos. En: XIII Reunión Científico Técnica. Asociación Argentina de Veterinarios de Laboratorios de Diagnóstico. Merlo, San Luis Argentina. pp.19-27.
- Wittwer, F., Optiz, H., Reyes, J., Contreras, P.A., Böhmwald, H. 1993. Determinación de urea en muestras de leche de rebaños bovinos para el diagnóstico de desbalance nutricional. *Arch. Med. Vet.* 25:165-172.