

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



TESIS

**EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE VARIEDADES NATIVAS Y
MEJORADAS DE NOPAL (*OPUNTIA SP.*) PARA CONSUMO
ANIMAL**

PRESENTA

JOSÉ ARGELIO SANTOS HALISCAK

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIA ANIMAL**

DICIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



TESIS

**EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE VARIEDADES NATIVAS Y
MEJORADAS DE NOPAL (*OPUNTIA SP.*) PARA CONSUMO
ANIMAL**

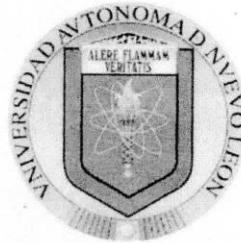
PRESENTA

JOSÉ ARGELIO SANTOS HALISCAK

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIA ANIMAL**

GRAL. ESCOBEDO, NUEVO LEÓN, MÉXICO, DICIEMBRE 2015

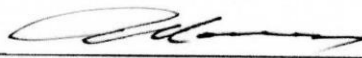
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA




**EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE VARIEDADES NATIVAS Y MEJORADAS DE
NOPAL (*Opuntia* sp.) PARA CONSUMO ANIMAL**

Aprobación de tesis por el comité particular de

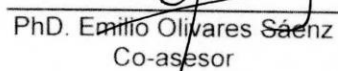
José Argelio Santos Haliscak



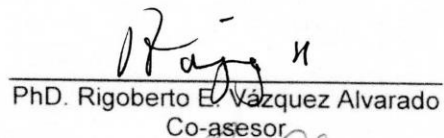
Ph.D. Jorge R. Kawas Garza
Asesor Principal



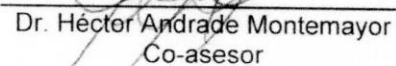
Dr. Héctor Fimbres Durazo
Co-asesor



Ph.D. Emilio Olivares Sáenz
Co-asesor



Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Co-asesor



Dr. Héctor Andrade Montemayor
Co-asesor

ESCOBEDO, N.L., MÉXICO

DICIEMBRE DE 2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco al PhD. Jorge Kawas Garza la oportunidad que me ha brindado de desarrollo personal y profesional al compartir su tiempo, experiencia y conocimientos, así como su amistad, durante mis estudios de posgrado, siempre con disposición y paciencia. Agradezco también a los integrantes del comité particular, a los doctores Rigoberto Vázquez Alvarado, Héctor Fimbres Durazo, Emilio Olivares Sáenz y Héctor Andrade Montemayor, el estar siempre ahí, compartiendo tiempo, información y sugerencias.

Al Dr. Gustavo Moreno Degollado, Director del Centro de Investigación en Producción Agropecuaria de la UANL, siempre alentando, compartiendo instalaciones y animales necesarios para el desarrollo de la investigación. A la Dra. Diana Zamora Ávila, por su apoyo y confianza brindada al ingresar al programa de posgrado conjunto. Al Dr. Luis Edgar Rodríguez Tovar, por ser mi tutor, gracias. Siempre agradecido con la Facultad de Agronomía y con la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), le agradezco al Dr. Juan Zárate, director de la FMVZ, quien siempre ha procurado el cómo sí, y ha facilitado las instalaciones del Laboratorio de Nutrición donde se efectuaron los análisis de digestibilidad. Por supuesto a la Universidad Autónoma de Nuevo León por la oportunidad de desarrollo personal, profesional y laboral.

Agradezco a AQUA Laboratorios y MNA de México por el apoyo de sus instalaciones y en el análisis de laboratorio de las muestras del estudio, así como al personal que labora en estas empresas, en especial a la QFB. Marisol Galván.

Al Centro Regional de Fomento Ganadero Vallecillo, de la UANL, y su personal administrativo, técnico y de campo, especialmente al Ing. Mario Ocón, al permitirme un lugar para desarrollar la investigación en campo.

Agradezco de manera especial a mi esposa Margarita, por darme la oportunidad de realizar esta meta, a pesar del tiempo robado, gracias por tu amor y apoyo. A mis hijos, María, Argelio y Daniel, su alegría y mi orgullo. A mis padres María y Argelio mi formación integral, siempre recuerdos, siempre su reflejo.

Por su confianza y su apoyo, siempre agradecido,

J. Argelio Santos H.

NOMENCLATURA

CAS	Cenizas solubles en ácido
CEL	Celulosa
CFDN	Cenizas en fibra detergente neutro
CFDA	Cenizas en fibra detergente ácido
CIA	Ceniza insoluble en ácido
DIV	Digestibilidad <i>in vitro</i>
EE	Error estándar
FDA	Fibra en detergente ácido
FDN	Fibra en detergente neutro
HEM	Hemicelulosa
Kg	Kilogramo
LDA	Lignina detergente ácido
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
NFDN	Nitrógeno en fibra detergente neutro
NFDA	Nitrógeno en fibra detergente ácido
°C	Grados centígrados
P	Probabilidad
PC	Proteína cruda

INDICE

LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	XII
RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Hipótesis	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Taxonomía y características morfológicas del nopal	5
2.2 Producción y uso del nopal.....	7
2.3 El nopal como alimento para rumiantes	9
2.4 Composición química del nopal.....	10
2.5 Perfil mineral de variedades de nopal.....	13
2.6 Consumo y digestibilidad	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Experimento 1. Composición química y valor nutritivo de una variedad nativa y una mejorada de nopal, en cuatro estaciones del año y tres niveles de MO en el suelo.....	18
3.1.1 Siembra del nopal	18
3.1.2 Obtención y análisis de muestras.....	19
3.1.3 Diseño estadístico del experimento 1.....	31

3.2	Experimento 2. Degradación <i>in vitro</i> de variedades de nopal con y sin espinas	32
3.2.1	Degradación de la materia seca	32
3.2.2	Diseño estadístico del experimento 2.....	32
4	RESULTADOS	38
4.1	Verano de 2013	38
4.2	Otoño de 2013.....	41
4.3	Invierno de 2013	43
4.4	Primavera de 2014	51
4.5	Todas las estaciones	52
5	DISCUSIÓN.....	61
5.2	Producción de materia seca y proteína	62
5.3	Concentraciones de proteína y constituyentes de la pared celular.....	63
5.4	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca.....	64
5.5	Macrominerales y minerales traza	65
6	CONCLUSIONES	67
7	BIBLIOGRAFÍA	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación taxonómica del nopal.	6
Cuadro 2. Producción nacional de nopal forraje, verdura y tuna en 2013.	8
Cuadro 3. Contenido de materia seca (MS), humedad (HUM), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) para tres variedades con espinas y tres sin espinas en el Municipio de Vallecillo, N. L.	11
Cuadro 4. Análisis bromatológico de diferentes especies y variedades de nopal (% MS).....	12
Cuadro 5. Concentraciones de nitrógeno y minerales en el clorénquima para tres especies de opuntia en ambientes diferentes.	14
Cuadro 6. Medias de la concentración de macrominerales (%) y microminerales (ppm) en diferentes variedades de nopal.....	15
Cuadro 7. Comparación de medias de las variables de minerales en tres variedades de nopal con espinas y tres sin espinas, en el Municipio de Vallecillo, N.L.	16
En el Cuadro 8, se observa que la variedad CE, aun siendo nativa, tuvo una mayor producción ($P = 0.004$) de MS por planta, en comparación con la variedad SE. La producción de MS (ton/ha) fue similar, teniendo la variedad CE mayor producción de MS ($P < 0.001$). La producción de MS por planta y por hectárea fueron similares ($P > 0.05$) entre niveles de composta.	38

Cuadro 9. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el verano de 2013.	39
Cuadro 10. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad <i>in vitro</i> de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el verano de 2013.	40
Cuadro. 11 Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el verano de 2013.	42
Cuadro 12. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el otoño de 2013.	44
Cuadro 13. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad <i>in vitro</i> de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el otoño de 2013.	45
Cuadro 14. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el otoño de 2013.	46
Cuadro 15. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el invierno de 2013.....	48
Cuadro 16. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad <i>in vitro</i> de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el invierno de 2013.	49
Cuadro 17. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el invierno de 2013.	50

Cuadro 18. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en la primavera de 2014.	53
Cuadro 19. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad <i>in vitro</i> de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en la primavera de 2014.	54
Cuadro 20. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en la primavera de 2014.	55
Cuadro 21. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en cuatro estaciones del año.	58
Cuadro 22. Proteína, cenizas y constituyentes de la pared celular y digestibilidad <i>in vitro</i> de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en cuatro estaciones del año.	59
Cuadro 23. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en cuatro estaciones del año.	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de la plantación en campo.	20
---	----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía. 1 Variedad con espinas (Forrajero Mina).	21
Fotografía 2. Variedad sin espinas (COPENA F1).	21
Fotografía 3. Preparación del terreno de siembra.	22
Fotografía 4. Composta de ganado bovino en corral.....	22
Fotografía 5. Tratamiento con caldo bordelés.	23
Fotografía 6. Medición de camas y área de siembra por tratamientos.	23
Fotografía 7. Extendido de la composta.	24
Fotografía 8. Incorporación de la composta.	24
Fotografía 9. Composta incorporada y terreno listo para la plantación.	25
Fotografía 10. Medición de espacios entre planta.	25
Fotografía 11. Excavación de los pozos.....	26
Fotografía 12. Plantación de los cladodios.....	26
Fotografía 13. Vista de cama plantada y otra en proceso.	27
Fotografía 14. Vista de camas plantadas.	27
Fotografía 15. Panorámica del estudio en campo.	28
Fotografía 16. Brotación de COPENA F1.....	28
Fotografía 17. Brotación de Forrajero Mina.	29
Fotografía 18. Desarrollo mostrado por Forrajero Mina.....	29
Fotografía 19. Desarrollo mostrado por COPENA F1.....	30
Fotografía 20. Bovino hembra fistulado utilizado para extraer líquido ruminal.....	33
Fotografía 21. Fistula abierta para la extracción del líquido ruminal.	34
Fotografía 22. Extracción de líquido ruminal.	35

Fotografía 23. Extracción de líquido ruminal a termo precalentado.	36
Fotografía 24. Incubadora Daisy modelo D200.	37

RESUMEN

Se evaluaron dos variedades de nopal, uno con espinas (CE, Forrajero Mina) y otro sin espinas (SE, COPENA F1), en un diseño de bloques completamente al azar con 4 estaciones del año (verano, otoño, e invierno de 2013, y primavera de 2014) y 3 niveles de composta (0, 61 y 122 tons/ha). Las variables medidas fueron producción de materia seca y proteína cruda, composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca. La variedad con espinas (CE) tuvo una mayor concentración de FDN, hemicelulosa, cenizas en FDN, hierro y manganeso, mientras la variedad sin espinas (SE) tuvo una mayor concentración de lignina, cenizas en FDA, calcio y zinc. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca fue mayor en la variedad SE. La inclusión de composta aumentó la producción de MS, proteína cruda (probablemente mayormente nitrógeno no-proteico), lignina, fósforo y zinc, mientras que bajó la concentración de cenizas en FDA. Las dos variedades de nopal tuvieron alto contenido de cenizas y de humedad, lo que reduce la densidad energética de este alimento para el ganado. El bajo contenido de proteína cruda y una alta concentración de nitrógeno asociado con la FDN y la FDA, puede reducir el consumo y la utilización de la proteína y la materia seca, debido a que el nitrógeno asociado a estas fracciones de fibra puede ser menos degradable.

Palabras clave: Nopal, Composición química, Digestibilidad *in vitro*, Composta.

SUMMARY

Two cactus varieties, one with spines (EC Forrajero Mina) and one without spines (SE, COPENA F1), were evaluated using a randomized complete block design with 4 seasons (summer, fall, and winter 2013 and spring 2014) and 3 levels of compost (0, 61 and 122 tons / ha). Variables measured included dry matter and protein production, chemical composition and *in vitro* dry matter digestibility. Variety CE had higher concentrations of NDF, hemicellulose, ash in NDF, iron and manganese, whereas variety SE had higher concentrations of lignin, ash in ADF, calcium and zinc. *In vitro* dry matter digestibility was higher in the SE variety. The inclusion of compost increased dry matter and crude protein production (probably mostly non-protein nitrogen), lignin, phosphorus and zinc, while decreasing the concentration of ash in FDA. The two cactus varieties had high ash and moisture content which reduce energy density of this feed for livestock. The low crude protein content and a high nitrogen concentration associated with FDN and FDA fractions may reduce feed consumption and protein utilization, since nitrogen associated with fiber fractions may be less degradable.

Key words: Nopal, chemical composition, *in vitro* digestibility, Compost

1 INTRODUCCIÓN

En México, el nopal ha sido utilizado desde tiempos prehispánicos, y junto con el maíz y el agave, han tenido un papel importante en el desarrollo de la civilización azteca (Keuneman, 2001). Tradicionalmente, se ha utilizado como verdura, fruta y forraje, siendo éste último el de mayor volumen de uso con 3 millones de hectáreas de nopal forrajero en forma silvestre y 150 mil hectáreas sembradas para forraje (Flores, 1993). El nopal (*Opuntia*) está bien adaptado a zonas que se caracterizan por condiciones de sequía, lluvia errática y suelos pobres sujetos a erosión, habiendo desarrollado adaptaciones fenológicas, fisiológicas y estructurales, que le han permitido gran eficiencia en el uso del agua disponible y la resistencia a períodos prolongados de sequía (Keuneman, 2001; Nefzaoui y Salem, 2002), por lo que pueden ser importantes para el desarrollo de sistemas de producción sustentables en regiones áridas y semiáridas tanto de autoconsumo como para comercialización, particularmente cuando baja la disponibilidad de forrajes para la alimentación del ganado.

Los cladodios o raquetas constituyen la mayor parte de la biomasa de los nopales, siendo una fuente económica de energía y agua, alto contenido de ceniza, calcio y carbohidratos, aunque bajos en proteína, fósforo y sodio, y con digestibilidad similar a otros forrajes fibrosos (Santos, 2009; Medina *et al.*, 2006; Gutiérrez y Vázquez, 2005; Nefzaoui y Salem, 2002; Fuentes, 1997; Castra *et al.*, 1977).

El nopal no presenta gran deterioro en condiciones de sequía, manteniendo su calidad forrajera, permanece verde, y cuando se le proporciona manejo de cultivo, puede producir hasta 17 a 23 toneladas de materia seca por hectárea con 10% de proteína cruda (Felker, 2003; Santos, 2009). Por otro lado, las plantaciones de nopal pueden reducir la presión de pastoreo sobre las poblaciones silvestres de nopal (Mondragón *et al.*, 2003).

En la región de San Carlos, Municipio de Vallecillo, N. L., el nopal silvestre ha sido utilizado comúnmente como recurso de emergencia en épocas de sequía y en invierno, permitiendo a los ganaderos mantener la población en sus animales, evitando pérdidas excesivas de peso y mortandad, aunque provocando escasez de las nopaleras silvestres por sobre-explotación y falta de planeación. Las variedades sin espinas y con espinas, han tenido comportamiento sobresaliente como forrajes en la zona de Marín y Vallecillo, N.L., y presentan una alta posibilidad para ser usados bajo condiciones de cultivo.

1.1 Objetivos

El propósito de este estudio fue determinar la composición química y la digestibilidad *in vitro* de una variedad de nopal sin espinas y una con espinas, en cuatro estaciones del año y con tres niveles de composta en suelo.

1.2 Hipótesis

La composición nutricional del nopal es influenciada por la época del año, el nivel de composta del suelo, y la variedad del nopal.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Taxonomía y características morfológicas del nopal

El nopal pertenece al género *Opuntia* y su ubicación taxonómica se presenta en el Cuadro 1 (Britton y Rose, 1963; Bravo, 1978). Son plantas que pueden tener hábito de crecimiento arbóreo, arbustivo o cespitoso. Los tallos están segmentados o articulados en cladodios, tienen hojas efímeras (pequeñas y cilíndricas), presenta gloquídeas y espinas variables. Las flores son generalmente laterales sésiles, solitarias y diurnas, y tienen pericarpio con hojas, areolas, gloquídeas y espinas. Los tubos florales son cortos o ausentes. Los frutos son indehiscentes (algunas veces secos en la maduración). La semilla es redondeada a oval, de 3 a 12 milímetros de diámetro.

Su distribución va desde Canadá, por la mayor parte del resto de Norteamérica, el Caribe, Centroamérica y casi hasta el extremo sur de Suramérica. El nopal es ampliamente conocido como un género de cactáceas con tallos segmentados y aplanados llamados cladodios (Anderson, 2001). Tiene gran eficiencia para utilizar agua para producir biomasa, en promedio tres veces más que en plantas C_4 y cinco veces más que en plantas C_3 (Novel, 1995).

Cuadro 1. Ubicación taxonómica del nopal.

Taxonomía	Britton y Rose (1963)	Bravo (1978)
Reino	Vegetal	Vegetal
División	Angiospermae	Magnoliophyta
Clase	Dicotiledoneae	Magnoliopsida
Orden	Opuntiales	Caryophyllales
Familia	Cactaceae	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae	Opuntiae
Género	Opuntia	Opuntia
Subgénero	Platyopuntia	Platyopuntia

2.2 Producción y uso del nopal

Reynolds y Arias (2003) estimaron que hay 900,000 ha de cultivo de nopal forrajero. En Brasil se estimó la superficie cultivada en 600,000 ha (Torres-Sales, 2009). En el norte de África (Túnez, Algeria y Marruecos), hay una superficie de 700,000 a 1,000,000 de hectáreas para producción de forraje (Nefzaoui y Salem, 2003).

Tradicionalmente el nopal es utilizado en México como verdura (nopalitos), como fruta, como colorante y para consumo de los animales, primordialmente durante la estación seca del año, y en sequías prolongadas, es importante para el mantenimiento y sobrevivencia del ganado bovino, ovino y caprino. En 2013, en el país se cultivaron 84,924 hectáreas de nopal, de las que 55,812 (65.7%) se dedicaron a la producción de tuna, 13,124 (15.5%) a la producción de verdura y 15,987 (18.8%) a la producción de forraje. El valor total de la producción fue de 3,573,942 miles de pesos (SAGARPA-SIAP, 2015) (Cuadro 2).

En 2007, la superficie sembrada de nopal forrajero fue de 11,227 hectáreas (SAGARPA-SIEP, 2015), por lo que al año 2013 se incrementó en 42.4%. Desde 1984, se tienen datos de siembra y producción de nopal forrajero, donde se reporta un aumento de 22 hectáreas en ese año, a 15,987 en el 2013. La producción aumentó de 750 a 140,723 toneladas, respectivamente, este último con un valor de \$54,377,050. Sin embargo, el rendimiento no ha mejorado mucho, ya que en 1990 fue de 30 t.ha⁻¹,

Cuadro 2. Producción nacional de nopal forraje, verdura y tuna en 2013.

Producto	Superficie sembrada (Ha)	%	Superficie cosechada (Ha)	Producción (T)	Rendimiento (T.Ha ⁻¹)	PMR ¹ (\$T ⁻¹)	Valor de producción (miles de pesos)
Forraje	15,987	18.83	9,461	140,723	14.9	386.4	54,377
Verdura	13,124	15.45	12,521	786,774	62.8	2,448.2	1,926,161
Tuna	55,812	65.72	50,823	487,375	9.6	3,269.4	1,593,404
TOTAL	84,924	100.00	72,805	1,414,872	87.3	6,103.9	3,573,942

¹ PMR = Precio Medio Rural
Fuente: SAGARPA-SIAP (2015)

mientras que en 2007 fue de 37 t.ha⁻¹, e incluso ha bajado en los últimos años hasta llegar a 14.87 t.ha⁻¹ en el 2013.

2.3 El nopal como alimento para rumiantes

En regiones semiáridas del mundo, los drásticos cambios climáticos causan limitaciones en la alimentación, que pueden afectar el rendimiento del ganado en pastoreo (Reveles y Flores, 2010; Alexandre y Mandonet, 2005; Ben Salem y Nefzaoui, 2003; Ben Salem y Smith, 2008; Silanikove, 2000). Estas limitaciones pueden incluir baja disponibilidad de forraje (subalimentación), baja calidad del forraje (baja concentración de nutrientes), y el contenido de metabolitos secundarios en las plantas pastoreadas, que afectan la utilización de nutrientes y el parasitismo (Kawas *et al.*, 2010; Ortega *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2007). Kawas *et al.* (2012) reportan concentraciones de proteína cruda (PC) de 14.6 a 26.3% en especies arbustivas disponibles en el agostadero y de leucaena (*Leucaena leucocephala*) introducida como banco de proteína, donde una alta proporción de esta proteína estaba ligada a la pared celular de las plantas (6.0 a 16.4% de FDN).

El nopal es comúnmente utilizado como suplemento en la alimentación de emergencia (Ben Salem y Smith, 2008) en las regiones semiáridas de países del continente Americano (Brasil, Chile y México) y Africano (Marruecos, África del Sur y Túnez). Algunas especies tienen alto contenido de fibra (hasta 58% de FDN, en base MS) y cenizas (hasta 25%), lo que puede reducir el consumo de energía y proteína, esta última determinada como nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA), que

puede estar asociada con la fracción de la pared celular de las plantas, la cual es menos degradable (Dávila-Gutiérrez, 1996). Ben Salem et al. (2003) reportaron la composición de nopal sin espinas (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*), con contenido de proteína cruda menor al 5%. Este nivel de PC proporciona menos del 7 a 8% requerido por las bacterias ruminales, cantidad necesaria en la dieta para la función normal del rumen (NRC, 1987). El contenido reportado de cenizas fue de 23.8%, del cual el 5.2% fue de calcio, y solamente el 0.1% fue fósforo (Ben Salem y Nefzaoui, 2003). Santos (2009) reporta valores de cenizas de 24.9 a 33.0% en tres especies de nopal mejoradas y tres nopales criollos. Otros autores reportaron contenidos de PC mayores, con rangos de 7.5 a 10%, como respuesta al manejo del cultivo (González, 1989). Santos reportó valores de PC de 7.5 a 9.7%, de FDN de 25.5 a 29.5%, y FDA de 12.7 a 16.5%, para tres variedades con espinas y tres sin espinas (Cuadro 3).

2.4 Composición química del nopal

El nopal puede ser un ingrediente importante para suplementar la dieta de animales domésticos, sin embargo su calidad está influenciada en gran parte por factores como especie, genotipo, variedad, suelo y clima (López *et al.*, 2003), y se reporta bastante variabilidad en los resultados de análisis bromatológicos efectuados en diferentes especies, variedades y años, por diferentes autores (Palomo, 1963; Griffith y Hare, 1906; Bauer y Flores; 1969; Lastras y Pérez, 1978). Los rangos de MS variaron de 8.0 a 17.5%, MO de 59.9 a 86.9%, PC de 2.8 a 8.8%, EE de 0.57 a 2.66%, FC de 3.0 a 18.9%, ceniza de 8.9 a 31.6%, y ELN de 43.2 a 81.3% (Cuadro 4).

Cuadro 3. Contenido de materia seca (MS), humedad (HUM), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) para tres variedades con espinas y tres sin espinas en el Municipio de Vallecillo, N. L.

Variedad	MS	HUM	PC	FDN	FDA
Liso Forrajero ¹	10.2	89.8	9.1	27.9	12.7
COPENA CE2 ¹	10.2	89.8	7.6	28.7	13.9
COPENA F1 ¹	13.5	86.5	7.5	29.5	16.6
Forrajero Mina ²	13.3	86.7	9.7	27.3	13.7
Criollo Vallecillo ²	11.9	88.2	9.1	27.2	15.4
Nopal Tapón ²	8.2	91.8	8.5	25.5	16.5
Promedio	11.2	88.8	8.6	27.7	14.8

¹ Sin espinas

² Con espinas

Cuadro 4. Análisis bromatológico de diferentes especies y variedades de nopal (% MS).

Especie	MS	MO	PC	GC	Fibra	Ceniza	ELN	Autor
<i>O. chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.11	4.32	26.55	64.33	Palomo, 1963
<i>O. tenuispina</i>	12.45	70.21	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52	Palomo, 1963
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.44	68.87	Palomo, 1963
<i>O. rastrera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	Palomo, 1963
<i>O. azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	59.84	Palomo, 1963
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	Palomo, 1963
<i>O. engelmannii</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32	Palomo, 1963
<i>O. lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75	Palomo, 1963
<i>O. lindehimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	Palomo, 1963
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	Palomo, 1963
<i>O. streptacantha</i>	16.01	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. leucotricha</i>	14.01	74.01	7.56	2.66	14.01	26.00	49.78	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. cacanapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.21	27.49	54.04	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. duranguensi</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91	Bauer y Flores, 1969
<i>O. ficus-indica</i>	13.36	81.55	3.66	1.76	9.18	18.45	69.95	Bauer y Flores, 1969
<i>O. ficus-indica</i>	8.01	-----	6.81	1.01	-----	8.88	81.25	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. ficus-indica</i>	7.96	-----	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. imbricata</i>	10.41	-----	5.01	1.81	7.81	17.30	68.11	Lastras y Pérez, 1978

2.5 Perfil mineral de variedades de nopal

Los minerales son elementos de importancia estructural, reacciones enzimáticas y de balance hídrico, tanto en plantas como en animales. En el Cuadro 5, se pueden observar niveles de minerales en tres especies de nopal. En el Cuadro 6, se muestran resultados reportados por Vázquez y Valdez (2006), y en el Cuadro 7, se observan los contenidos de minerales reportados por Santos (2009) para tres variedades con espinas y tres sin espinas en el Municipio de Valecillo, N. L.

2.6 Consumo y digestibilidad

En estudios realizados con caprinos y ovinos para evaluar el consumo y digestibilidad de las dietas que contienen nopal, se ha observado que la suplementación con nopal incrementó los consumos de alimento y agua (Costa *et al.*, 2009; Tegegne *et al.*, 2007), e incrementó la digestibilidad de la PC y de la MO (Cordoba-Torres *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2012). Así mismo, se ha encontrado que la calidad nutricional depende en parte de la especie de nopal, pero disminuye con la madurez de los cladodios (Tegegne, 2002). Pinos-Rodríguez *et al.* (2010) encontraron que una mayor producción de MS y PC por hectárea se obtuvo con la cosecha de cladodios a los 70 días. Andrade *et al.* (2011) reportaron mayor digestibilidad de la MO y de PC en cladodios grandes en comparación con cladodios chicos, en dietas conteniendo 20% de cladodios. Esto concuerda con Tegegne (2007), quien reporta que ningún cordero bajo de peso, en un estudio evaluando niveles de nopal en la dieta, registrándose la mayor ganancia de peso con

Cuadro 5. Concentraciones de nitrógeno y minerales en el clorénquima para tres especies de opuntia en ambientes diferentes.

Elemento	<i>O. engelmannii</i> ¹	<i>O. ficus-indica</i> ²	<i>O. albicarpa</i> ³
Nitrógeno (%)	0.90	2.61	0.87
Fosforo (%)	0.13	0.33	0.14
Potasio (%)	1.48	1.18	2.42
Calcio (%)	9.66	6.33	-----
Magnesio (%)	1.05	1.43	1.03
Sodio (ppm)	78.0	31.0	46.0
Manganeso (ppm)	28.0	54.0	22.0
Cobre (ppm)	4.0	15.0	-----
Zinc (ppm)	11.0	52.0	16.0
Hierro (ppm)	61.0	88.0	58.0

¹ Nobel *et al.* (1987)

² Nobel (1988)

³ López (1988).

Cuadro 6. Medias de la concentración de macrominerales (%) y microminerales (ppm) en diferentes variedades de nopal.

Variedades	Macrominerales (%)			Microminerales (ppm)		
	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Cu
Atlixco	9.08	1.07	2.87	67.54	15.04	4.00
COPENA V1	7.74	1.04	3.23	66.05	15.03	4.00
Jalpa	6.93	0.74	2.89	70.58	12.54	7.04
Milpa Alta	5.70	0.69	2.78	55.07	12.16	4.02
Nopal Negro	7.75	0.82	2.04	39.60	13.47	4.16
Rojo Vigor	7.06	0.62	2.12	47.35	11.49	3.59
Villanueva	6.16	0.61	3.32	52.12	12.23	4.07

Fuente: Vázquez y Valdez (2006)

Cuadro 7. Comparación de medias de las variables de minerales en tres variedades de nopal con espinas y tres sin espinas, en el Municipio de Vallecillo, N.L.

Variedad	Mg (%)	Ca (%)	K (%)	P (%)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
Liso Forrajero ¹	0.94 ^{ab}	9.38 ^{ab}	4.49 ^b	0.14	2.54	21.55 ^b	14.72	73.77
COPENA CE2 ¹	0.93 ^{ab}	10.55 ^a	3.48 ^c	0.13	2.51	25.34 ^b	15.67	37.90
COPENA F1 ¹	0.75 ^b	8.12 ^{ab}	4.31 ^b	0.13	2.44	19.48 ^b	16.78	53.11
Forrajero Mina ²	1.06 ^{ab}	8.17 ^{ab}	4.31 ^{cd}	0.13	2.72	22.78 ^b	17.17	69.39
Criollo Vallecillo ²	1.21 ^a	8.77 ^{ab}	2.53 ^d	0.14	2.87	20.32 ^b	13.47	78.75
Nopal Tapón ²	1.09 ^{ab}	7.71 ^b	5.89 ^a	0.15	3.14	43.55 ^a	15.80	66.12

¹ Con espinas

² Sin espinas

a, b, c, d. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05)

el tratamiento que contenía 20% de nopal. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para evaluar la disponibilidad de la proteína de cultivos intensivos de nopal (Pinos-Rodríguez et al., 2010).

Por otra parte, existe poca información sobre el efecto de la estación del año en la composición, degradabilidad, y contenido de energía del nopal. Abdi *et al.* (2009) reportaron en *O. ficus indica* y *O. amyclea*, mayor contenido de MS, mucílago y minerales en el verano, pero menor contenido de PC, MO y FDA. En este estudio no hubo cambios en el contenido de compuestos fenólicos, oxalatos o saponinas.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro Regional de Fomento Ganadero Vallecillo (CRFGV) de la UANL, ubicado en la carretera Vallecillo entronque Sabinas Hidalgo-Parás Km. 22.5, San Carlos, Municipio de Vallecillo, N. L., en 26° 32' 55" latitud norte y 99° 47' 15" longitud oeste, y con una elevación de 192 metros sobre el nivel del mar. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición y Producción Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y en AQUA Laboratorios, S.A. de C.V.

3.1 Experimento 1. Composición química y valor nutritivo de una variedad nativa y una mejorada de nopal, en cuatro estaciones del año y tres niveles de MO en el suelo.

3.1.1 Siembra del nopal

Una variedad de nopal criollo (con espinas) y una mejorada (sin espinas) fueron plantadas en suelo con 3 niveles de MO (0, 1.5 y 3% de composta, equivalentes a 0, 61 y 122 t.ha⁻¹). La variedad con espinas fue Forrajero Mina y la variedad sin espinas fue COPENA F1. Estas fueron sembradas en camas de 1.2 m, a doble hilera, con separación de 0.5 m entre plantas y 0.6 m entre hileras. La longitud de la cama por tratamiento (niveles de composta) fue de 5 m, con una separación entre camas de 1.2 m, para hacer una longitud total de las camas de 17.4 m. Se establecieron camas que incluyeron los tres niveles de composta, para cada variedad de nopal. El número de plantas por nivel de composta fue de 20, para un total de 60 plantas por variedad. El

diseño incluyó 5 camas (repeticiones) por variedad, para un total de 300 plantas por variedad y 600 para el experimento completo (Figura 1). El proceso de siembra y desarrollo de las dos variedades de nopal se presentan en las Fotografías 1 a 19.

El terreno de siembra se preparó con un paso de arado y dos pasos cruzados de rastra. Se cuadró, y se midieron y delinearon las camas de siembra. Se pesó la composta de acuerdo a los tratamientos (0, 61 y 122 t.ha⁻¹), y se distribuyó de acuerdo al diseño en bloques al azar.

Los cladodios que se usaron, se cosecharon de plantas madre y se trataron con caldo bordelés (0.5 kg de sulfato de cobre y 1.5 kg de cal en 10 l de agua) para prevenir pérdida de cladodios por infección de bacterias y hongos. Estos se dejaron reposar bajo sombra una semana antes de plantarse, para que los cortes efectuados en los cladodios tuvieran tiempo de cicatrizar (Mondragón *et al.*, 2003; Vázquez, 2006). Los cladodios tratados y reposados se plantaron de acuerdo al diseño experimental.

3.1.2 Obtención y análisis de muestras

Cinco muestras de cada variedad de nopal, nativo y mejorado, fueron obtenidas en cuatro estaciones del año (15 de julio de 2013; y 15 de octubre de 2013; 15 de enero de 2014; y 15 de abril de 2014), y analizadas para determinar su composición química. Las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 60°C hasta alcanzar un peso constante, y molidas en un molino Wiley con malla de 1 mm, antes

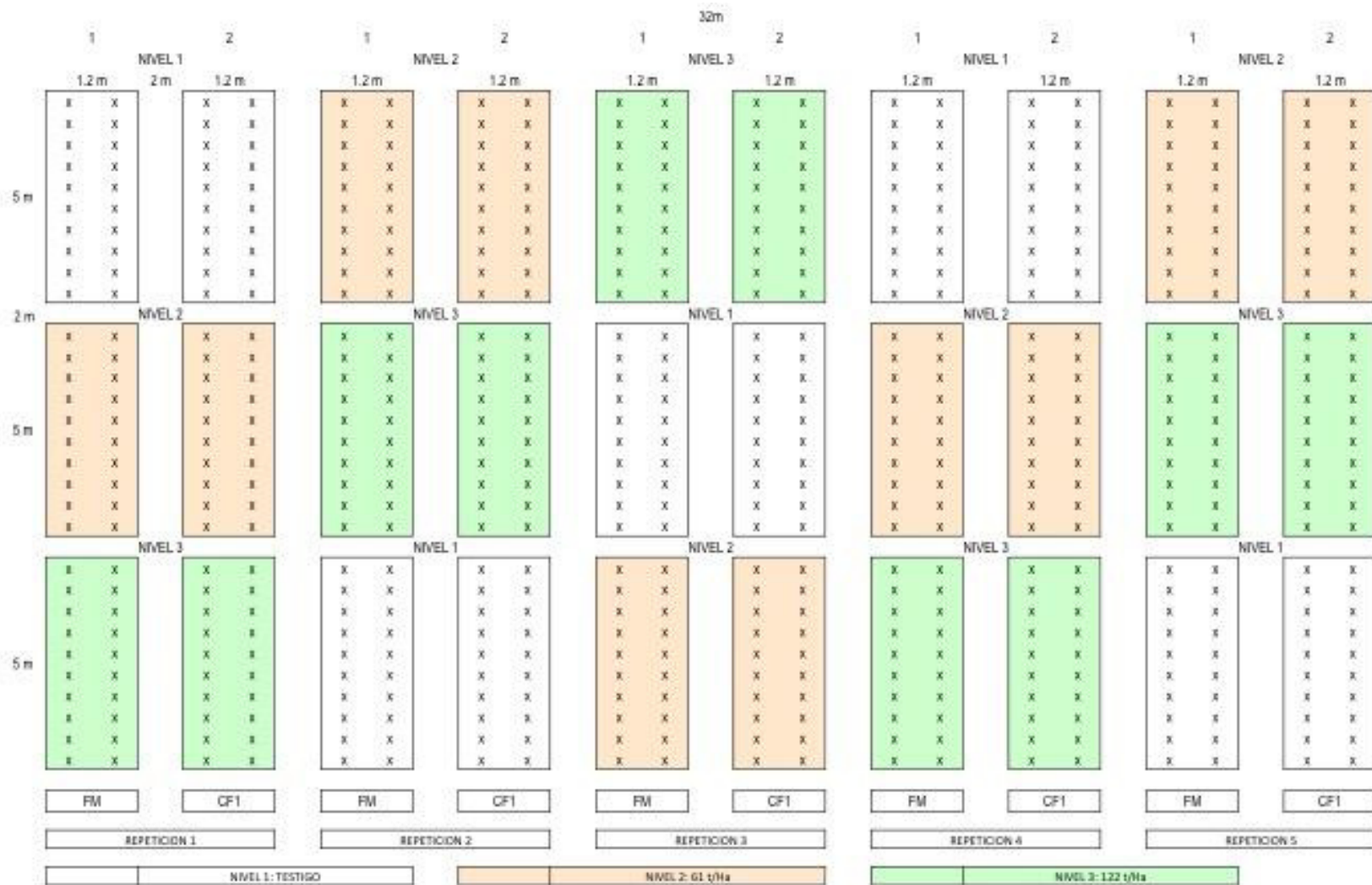


Figura 1. Plano de la plantación en campo.



Fotografía. 1 Variedad con espinas (Forrajero Mina).



Fotografía 2. Variedad sin espinas (COPENA F1).



Fotografía 3. Preparación del terreno de siembra.



Fotografía 4. Composta de ganado bovino en corral.



Fotografía 5. Tratamiento con caldo bordelés.



Fotografía 6. Medición de camas y área de siembra por tratamientos.



Fotografía 7. Extendido de la composta.



Fotografía 8. Incorporación de la composta.



Fotografía 9. Composta incorporada y terreno listo para la plantación.



Fotografía 10. Medición de espacios entre planta.



Fotografía 11. Excavación de los pozos.



Fotografía 12. Plantación de los cladodios.



Fotografía 13. Vista de cama plantada y otra en proceso.



Fotografía 14. Vista de camas plantadas.



Fotografía 15. Panorámica del estudio en campo.



Fotografía 16. Brotación de COPENA F1.



Fotografía 17. Brotación de Forrajero Mina.



Fotografía 18. Desarrollo mostrado por Forrajero Mina.



Fotografía 19. Desarrollo mostrado por COPENA F1.

de ser analizadas. La materia seca residual (MS) fue obtenida de muestras secadas en la estufa de aire forzado a 105°C. Los contenidos de proteína cruda (PC) y cenizas de las muestras también fueron determinadas (AOAC, 1997). La proteína cruda se calculó como N Kjeldahl x 6.25 (Goering y Van Soest, 1970). Las muestras se analizaron para fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), celulosa (CEL) y ceniza insoluble en ácido (CIA), de acuerdo a los métodos reportados por Goering and Van Soest (1970), utilizando un analizador de fibra de ANKOM Technology Modelo A200. En este estudio, los valores de FDN y FDA fueron presentados en base libre de cenizas como FDN_{mo} y FDA_{mo}, respectivamente (Udén *et al.*, 2005). El contenido de hemicelulosa (HEM) de las muestras fue calculado como FDN_{mo} menos FDA_{mo}. El contenido de cenizas solubles en ácido (CAS) fue calculado como cenizas menos CIA. El nitrógeno asociado con la FDN (NIDN) y la FDA (NIDA) también fue determinado. Las concentraciones de macro-minerales (Ca, P, Na, K, Mg y S) y minerales traza (Fe, Mn, Zn, Cu, I, Co, Cr y Se) fueron determinadas usando un Espectrómetro de Emisión Óptico-Inductivo acoplado a Plasma (OES-ICP).

3.1.3 Diseño estadístico del experimento 1

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un diseño de bloques al azar usando el programa estadístico SPSS (2005), con un arreglo factorial 2 x 4 x 3 (2 variedades, 4 estaciones del año y 2 niveles de composta), y para la comparación de medias, se utilizó el método de Tukey.

3.2 Experimento 2. Degradación *in vitro* de variedades de nopal con y sin espinas

3.2.1 Degradación de la materia seca

Para la degradación de la materia seca (MS) *in vitro*, fluido ruminal fue obtenido de animales fistulados (Fotografías 20-23) consumiendo un concentrado a base de sorgo, harina de soya, grano seco de destilería, melaza y una premezcla de vitaminas y minerales, con 15% de PC. La cantidad ofrecida diariamente fue de 4 kg. Además, se ofreció 20 kg de nopal verde y paca de zacate Klein a libre acceso. El método de degradación *in vitro* fue aquel recomendado por Mehrez and Ørskov (1977), modificado para condiciones *in vitro* usando un equipo Ankom Daisy II® (Ankom Technologies, 2015; Fotografía 24). Dos muestras de cada especie de nopal fueron introducidas en bolsas F57 de Ankom®, previamente pesadas e identificadas. Se consideró una muestra blanco, repitiendo el estudio dos veces para un total de 240 muestras.

3.2.2 Diseño estadístico del experimento 2

La degradación *in vitro* de la MS se llevó a cabo mediante un análisis of varianza para un diseño en bloques al azar, usando el método general lineal de SAS (Mehrez and Ørskov, 1977). El modelo incluyó el tratamiento y todas las posibles interacciones, con la especie de nopal como la unidad experimental (Littel *et al.*, 1998).



Fotografía 20. Bovino hembra fistulado utilizado para extraer líquido ruminal.



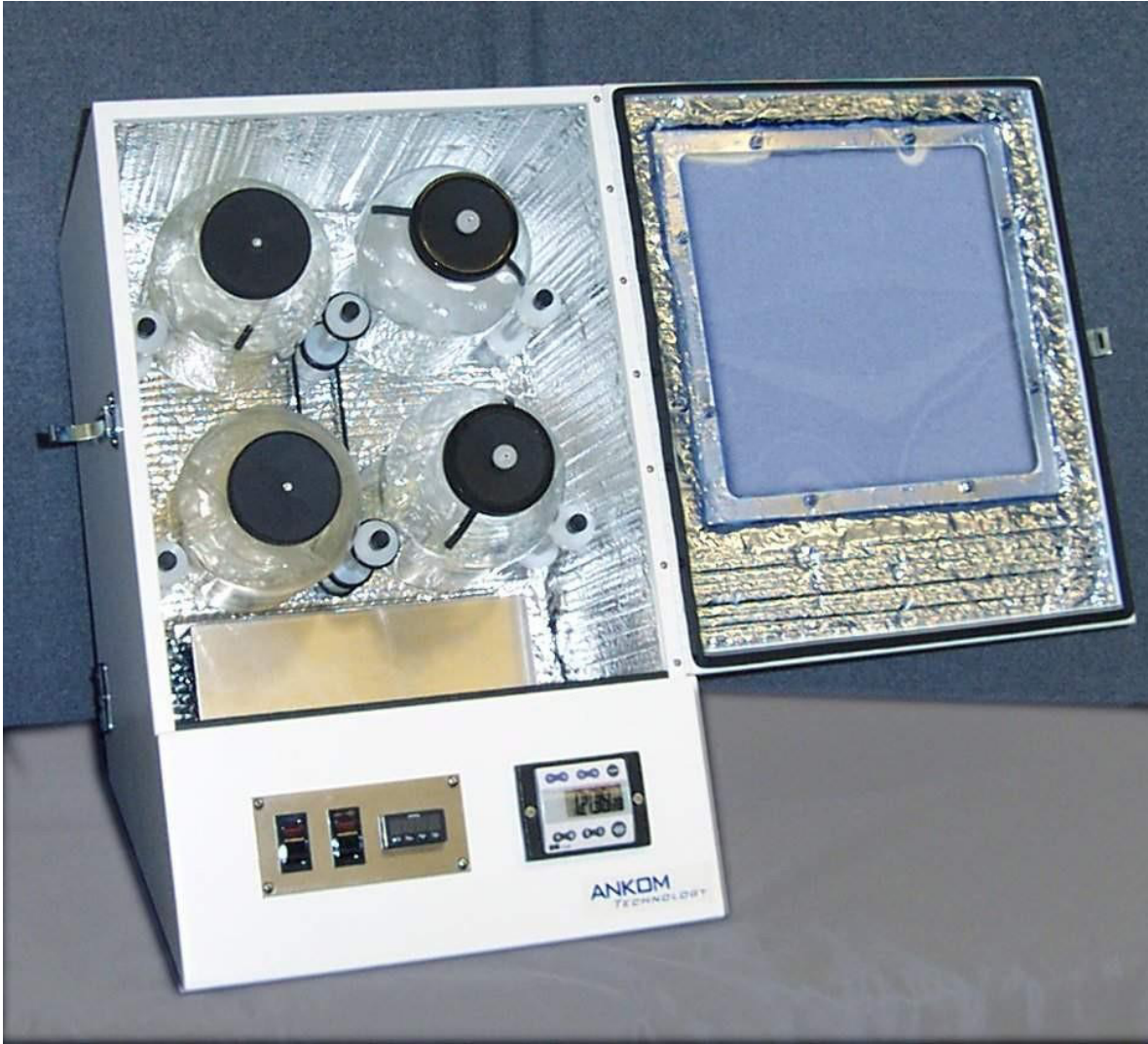
Fotografía 21. Fistula abierta para la extracción del líquido ruminal.



Fotografía 22. Extracción de líquido ruminal.



Fotografía 23. Extracción de líquido ruminal a termo precalentado.



Fotografía 24. Incubadora Daisy modelo D200.

4 RESULTADOS

4.1 Verano de 2013

En el Cuadro 8, se observa que la variedad CE, aun siendo nativa, tuvo una mayor producción ($P = 0.004$) de MS por planta, en comparación con la variedad SE. La producción de MS (ton/ha) fue similar, teniendo la variedad CE mayor producción de MS ($P < 0.001$). La producción de MS por planta y por hectárea fueron similares ($P > 0.05$) entre niveles de composta.

En el Cuadro 9, se observa una diferencia ($P = 0.015$) en el contenido de PC, siendo de 13.1% para SE y 11.6% para CE. Se observó un incremento ($P = 0.034$) en el contenido de PC conforme aumentó el inclusión de composta.

La concentración de FDA fue menor ($P = 0.001$) para la variedad CE que para la variedad SE, lo que puede afectar la digestibilidad de la MS de la última (Cuadro 9). En la variedad CE, la concentración de lignina ($P < 0.001$) fue menor que en la variedad SE.

El contenido de FDA aumentó ($P = 0.014$) con la inclusión de composta (Cuadro 9). Los valores encontrados para hemicelulosa fueron diferentes ($P = 0.001$), siendo mayor para la variedad CE (12.7%) en comparación con la variedad SE (8.5%). Además, se presentó una interacción ($P = 0.013$) entre variedades y niveles de composta para NFDN.

Cuadro 9. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el verano de 2013.

Variable ¹	Variedad ²		EE	P	Nivel de composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
MS (%)	6.75	5.77	0.24	.011	6.91	5.73	6.15	0.008	0.29
PMS									
Por planta (kg)	0.084 ^a	0.042 ^b	0.006	< .001	0.061	0.057	0.069	0.007	0.461
Por ha (t ⁻¹)	0.64 ^a	0.32 ^b	0.04	< .001	0.47	0.44	0.53	0.053	0.461
PPC (kg ha ⁻¹)	78 ^a	43 ^b	7.11	.002	54	54	72	8.70	0.268

¹ MS, materia seca; PMS, producción de materia seca; PPC, producción de proteína cruda.

² Variedades de nopal: CE, forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 10. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad *in vitro* de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el verano de 2013.

Variable ¹	Variedad ²		EE	P	Nivel de composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Cenizas (%)	29.68	29.16	0.58	0.522	30.37	28.98	28.90	0.68	0.282
Proteína (%)	11.59 ^b	13.14 ^a	0.40	0.015	11.26 ^b	12.59 ^{ab}	13.26 ^a	0.53	0.034
FDN (%)	25.79	25.15	0.80	0.622	25.42	25.22	25.77	1.06	0.930
FDA (%)	14.31 ^b	16.55 ^a	0.40	0.001	14.17 ^b	16.25 ^a	15.87 ^a	0.47	0.014
Hemicelulosa (%)	12.66 ^a	8.52 ^b	0.70	0.001	12.27	9.32	10.18	0.90	0.364
Lignina (%)	0.87 ^b	1.64 ^a	0.08	< .001	1.21	1.15	1.41	0.10	0.158
CFDN (%)	2.37	2.15	0.20	0.449	2.80	1.87	2.10	0.24	0.035
CFDA (%)	0.19	0.08	0.07	0.253	0.27	0.08	0.06	0.08	0.151
NFDN (%)	0.89	0.99	0.03	0.025	0.92	0.90	1.00	0.03	0.109
NFDA (%)	0.52	0.56	0.03	0.409	0.53	0.55	0.54	0.04	0.933
DIV (%)	74	72	2.16	0.952	71	76	72	2.64	0.370

¹ FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; CFDN, cenizas en FDN; CFDA, cenizas en FDA; NFDN, nitrógeno en FDN; NFDA, nitrógeno en FDA; DIV, digestibilidad *in vitro* de la MS.

² Variedades de nopal: CE, forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Interacción entre variedades y niveles de composta para NFDN (P = 0.013).

En el Cuadro 10, se observa que la variedad SE tuvo un mayor ($P < 0.001$) contenido de calcio (3.28%) que la variedad CE (2.81%). El contenido de fósforo también fue mayor ($P = 0.013$) para la variedad SE (0.24%) que para la variedad CE (0.21%). Con respecto a los minerales traza, se observaron diferencias significativas entre las dos variedades para Mn ($P = 0.005$) y Mo ($P < 0.001$). La concentración de Cu en la variedad SE fue menor en comparación con la variedad CE.

Entre niveles de composta, se detectaron diferencias en fósforo ($P < 0.001$), zinc ($P < 0.001$) y cobre ($P < 0.001$). También se observó una interacción ($P = 0.31$) entre variedades y nivel de composta para cobre.

4.2 Otoño de 2013

En el Cuadro 11, se observó que no hubo diferencia ($P > 0.05$) entre las variedades CE y SE, para la producción de MS por planta o por hectárea. Un aumento en la producción de MS por planta ($P = 0.04$) y por hectárea ($P = 0.019$) se observó con un incremento del nivel de composta.

En el Cuadro 12, no se observa una diferencia ($P = 0.677$) en el contenido de PC entre la variedad CE (10.7%) y la variedad SE (10.5%). En la variedad CE, la concentración de lignina ($P < 0.001$) fue menor que en la variedad SE. El contenido de FDN fue mayor para la variedad CE ($P < 0.001$), mientras que para los niveles de composta no hubo diferencia ($P > 0.05$). Los valores obtenidos para hemicelulosa fueron diferentes ($P < 0.001$), siendo mayor para la variedad CE (9.5%) en comparación con la variedad SE (4.2%).

Cuadro. 11 Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el verano de 2013.

Variable	Variedad ¹		EE	P	Nivel de composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Calcio (%)	2.81 ^b	3.28 ^a	0.04	< .001	3.08	3.09	2.97	0.50	0.148
Fosforo (%)	0.21 ^b	0.24 ^a	0.01	0.013	0.16 ^b	0.24 ^a	0.26 ^a	0.01	< .001
Magnesio (%)	1.39	1.31	0.05	0.365	1.30	1.36	1.40	0.07	0.530
Sodio (%)	0.05	0.06	0.00	0.052	0.05	0.05	0.06	0.00	0.140
Potasio (%)	1.54	1.41	0.07	0.221	1.60	1.47	1.36	0.08	0.185
Hierro (ppm)	86.88	66.20	4.49	0.005	73.44	74.38	81.79	5.49	0.522
Manganeso (ppm)	71.84 ^a	51.84 ^b	3.21	< .001	53.72	61.66	70.15	3.93	0.026
Zinc (ppm)	41.20	36.87	2.36	0.210	26.33 ^b	40.64 ^{ab}	50.13 ^a	2.89	< .001
Cobre (ppm)	6.03	5.35	0.24	0.057	4.28 ^b	6.15 ^a	6.65 ^a	0.030	< .001
Molibdeno (ppm)	1.19 ^a	1.08 ^b	0.01	< .001	1.14	1.13	1.13	0.01	0.670

¹ Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.

a, b, c. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Interacción entre variedades y niveles de composta para Cu (P = 0.31).

La incorporación de composta al suelo incrementó la producción de PC por ha ($P = 0.006$) y el contenido de PC de los nopales ($P < 0.001$), aunque no hubo una diferencia entre los dos niveles de composta. La composta también aumento las concentraciones de NFDN ($P = 0.004$). La concentración de FDA fue mayor para los niveles de composta ($P = 0.003$) que para el tratamiento sin composta.

En el Cuadro 13, se observan diferencias entre las variedades CE y SE en las concentraciones de sodio ($P = 0.001$), hierro ($P = 0.035$) y manganeso ($P = 0.012$). Las concentraciones de calcio, magnesio, potasio, zinc, cobre y molibdeno no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre las dos variedades.

Entre niveles de composta, no se detectaron diferencias ($P > 0.05$) en las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre y molibdeno. El contenido de fósforo fue similar para las dos variedades, sin embargo, aumentó significativamente con la inclusión de composta ($P < 0.001$).

4.3 Invierno de 2013

En el Cuadro 14, se observa que la variedad CE tuvo mayor contenido de MS ($P < 0.001$) y mayor producción de MS por planta ($P = 0.001$) y por hectárea ($P = 0.003$), en comparación con la variedad SE.

La inclusión de composta, aumentó el contenido ($P < 0.001$) y la producción de ($P = 0.008$) de MS. La producción de PC fue mayor para la variedad CE ($P = 0.006$) y aumentó con la inclusión de composta ($P < 0.001$).

Cuadro 12. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el otoño de 2013.

Variable ¹	Variedad ²		Nivel de composta (t.ha ⁻¹)						
	CE	SE	EE	P	0	61	122	EE	P
MS (%)	6.45	6.30	0.24	0.668	7.16	5.94	6.03	0.289	0.014
PMS									
Por planta (kg)	0.167	0.261	0.03	0.055	0.126	0.235	0.281	0.40	0.033
Por ha (t ⁻¹)	1.28	2.00	0.01	0.089	0.96 ^b	1.80 ^{ab}	2.16 ^a	0.19	0.019
PPC (kg ha ⁻¹)	145	208	21.9	0.347	87 ^b	200 ^a	244 ^a	24.4	0.006

¹ MS, materia seca; PMS, producción de materia seca; PPC, producción de proteína cruda.

² Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 13. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad *in vitro* de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el otoño de 2013.

Variable ¹	Variedad ²		EE	P	Nivel de Composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Proteína (%)	10.67	10.457	0.453	0.677	8.723 ^b	11.63 ^a	11.34 ^a	0.422	< .001
Cenizas (%)	32.24	34.57	0.485	0.003	35.09 ^a	33.48 ^{ab}	31.65 ^b	0.590	0.002
FDN (%)	23.08 ^a	18.63 ^b	0.681	< .001	19.44	20.89	22.24	0.834	0.084
FDA (%)	13.57	14.44	0.458	0.194	12.17 ^b	14.74 ^a	15.11 ^a	0.561	0.003
Hemicelulosa (%)	9.51 ^a	4.18 ^b	0.713	0.006	7.27	8.14	7.12	0.65	0.138
Lignina (%)	0.56 ^b	1.29 ^a	0.084	< .001	0.62	1.08	1.04	0.103	0.016
CFDN (%)	2.72	1.99	0.401	0.214	2.77	2.10	2.18	0.452	0.594
CFDA (%)	0.52	0.51	0.094	0.948	0.79	0.36	0.39	0.114	0.037
NFDN (%)	0.63	0.76	0.043	0.045	0.53 ^b	0.81 ^a	0.74 ^a	0.054	0.004
NFDA (%)	0.32	0.37	0.028	0.210	0.33	0.34	0.35	0.034	0.930
DIV (%)	72	76	1.78	0.145	76	74	70	2.17	0.168

¹ FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; CFDN, cenizas en FDN; CFDA, cenizas en FDA, NFDN, nitrógeno en FDN; NFDA, nitrógeno en FDA; DIV, digestibilidad *in vitro* de la MS.

² Variedades de nopal: CE, forrajero Mina; SE, COPENA F1.

a, b. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Interacción entre variedad y niveles (P = 0.026) para digestibilidad *in vitro*.

Cuadro 14. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el otoño de 2013.

Variable	Variedad ¹		EE	P	Nivel de Composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Calcio (%)	2.84	2.80	0.028	0.240	2.84	2.83	2.80	0.035	0.625
Fosforo (%)	0.14	0.15	0.012	0.760	0.09 ^b	0.17 ^a	0.17 ^a	0.015	< .001
Magnesio (%)	1.55	1.26	0.119	0.094	1.25	1.48	1.48	0.145	0.454
Sodio (%)	0.014 ^a	0.036 ^b	0.001	0.009	0.04	0.04	0.04	0.002	0.655
Potasio (%)	1.22	1.15	0.095	0.604	1.00	1.28	1.27	0.119	0.200
Hierro (ppm)	61.10 ^a	38.14 ^b	7.14	0.035	50.39	57.31	41.17	8.55	0.446
Manganeso (ppm)	33.09 ^a	27.91 ^b	1.31	0.012	31.65	29.10	30.72	1.54	0.563
Zinc (ppm)	43.75	50.00	4.21	0.306	46.62	48.70	45.30	5.16	0.896
Cobre (ppm)	20.38	26.49	3.69	0.256	19.26	28.45	22.58	4.41	0.379
Molibdeno (ppm)	0.89	0.95	0.117	0.754	0.93	0.95	0.88	0.144	0.937

¹ Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.
a, b, c. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

En el Cuadro 15, se observa una diferencia ($P = 0.016$) entre el contenido de PC entre la variedad SE (8.2%) y la variedad CE (9.2%). La concentración de FDA fue mayor para la variedad SE ($P < 0.001$) y para los niveles de composta de 61 y 122 ton/ha ($P = 0.002$). El contenido de FDN fue mayor para la variedad CE ($P < 0.001$). El contenido de hemicelulosa fue mayor ($P < 0.001$) para la variedad CE (24.3%) en comparación con la variedad SE (6.8%). Las concentraciones de lignina ($P < 0.001$) y NFDA ($P = 0.002$) en la variedad CE fueron menores que en la variedad SE, mientras que las concentraciones de CFDN ($P = 0.004$) y NFDN ($P = 0.002$) fueron menores para la variedad SE. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca fue mayor ($P < 0.001$) para la variedad SE.

La inclusión de composta en el suelo incrementó el contenido de PC ($P < 0.001$), aunque no se observó diferencia entre los dos niveles de composta (Cuadro 15). No se observó diferencia ($P = 0.784$) en el contenido de FDN, aunque aumentó significativamente los contenidos de lignina ($P = 0.012$) y NFDN ($P = 0.001$), y redujo los valores de CFDA ($P = 0.008$) y CFDN ($P = 0.002$).

En el Cuadro 16, se puede observar que solamente la concentración de zinc fue mayor ($P = 0.023$) para la variedad SE. La inclusión de composta, se redujo el contenido de calcio ($P = 0.003$), mientras que aumentó las concentraciones de fósforo ($P < 0.001$) y zinc ($P = 0.001$). Se encontró una interacción ($P = 0.26$) entre variedad y niveles de composta para cenizas. En esta estación, se presentaron interacciones entre variedad y niveles de composta para calcio ($P = 0.011$), manganeso ($P = 0.007$), zinc ($P = 0.017$) y molibdeno ($P = 0.007$).

Cuadro 15. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el invierno de 2013.

Variable ¹	Variedad ²		EE	P	Nivel de composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
MS (%)	8.7 ^a	6.3 ^b	0.241	< .001	8.9 ^a	6.8 ^b	6.8 ^b	0.295	< .001
PMS									
Por planta (kg)	1.6 ^a	1.0 ^b	0.105	0.001	0.96 ^b	1.60 ^a	1.36 ^{ab}	0.122	0.008
Por ha (t ⁻¹)	11.8 ^a	7.7 ^b	0.759	0.003	7.4	11.5	10.6	1.04	0.018
PPC (kg ha ⁻¹ ; base MS)	1205 ^a	759 ^b	95.7	0.006	487 ^b	1173 ^a	1285 ^a	117.2	< 0.001

¹ MS: materia seca; PMS: producción de materia seca; PPC: producción de proteína cruda.

² Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}: Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 16. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad *in vitro* de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el invierno de 2013.

Variable ¹	Variedad ²		EE	P	Nivel de Composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Proteína (%)	9.2 ^a	8.2 ^b	0.232	0.016	6.2 ^b	9.5 ^a	9.9 ^a	0.284	< 0.001
Cenizas (%)	27.7 ^b	29.8 ^a	0.630	0.036	29.7	28.9	27.7	0.772	0.215
FDN (%)	34.8 ^a	20.3 ^b	1.81	< .001	28.8	26.9	27.0	2.22	0.784
FDA (%)	10.6 ^b	13.5 ^a	0.228	< .001	11.1 ^b	12.4 ^{ab}	12.6 ^a	0.279	0.002
Hemicelulosa (%)	24.3 ^a	6.8 ^b	1.862	< .001	17.7	14.5	14.4	2.28	0.504
Lignina (%)	0.40 ^b	1.10 ^a	0.71	< .001	0.54 ^b	0.80 ^a	0.93 ^a	0.087	0.012
CFDN (%)	6.1 ^a	4.5 ^b	0.359	0.004	6.7 ^a	4.8 ^{ab}	4.3 ^b	0.439	0.002
CFDA (%)	0.9 ^b	1.8 ^a	0.171	0.002	2.00 ^a	1.20 ^b	0.95 ^b	0.210	0.008
NFDN (%)	0.96 ^a	0.76 ^b	0.039	0.002	0.68 ^b	0.99 ^a	0.91 ^{ab}	0.051	0.001
NFDA (%)	0.41 ^b	0.65 ^a	0.053	0.005	0.49	0.50	0.59	0.065	0.499
DIV (%)	61 ^b	88 ^a	2.28	< .001	78	73	71	2.79	0.214

¹ FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; CFDN, cenizas en FDN; CFDA, cenizas en FDA, NFDN, nitrógeno en FDN; NFDA, nitrógeno en FDA; DIV, digestibilidad *in vitro* de la MS.

² Variedades de nopal: CE, forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Interacción entre variedad y niveles de composta para cenizas (P = 0.026).

Cuadro 17. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en el invierno de 2013.

Variable	Variedad ¹		EE	P	Nivel de composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Calcio (%)	2.94	2.95	0.029	0.860	3.01 ^a	2.90 ^{ab}	2.87 ^b	0.036	0.003
Fosforo (%)	0.18	0.18	0.012	0.876	0.07 ^b	0.21 ^a	0.25 ^a	0.015	< .001
Magnesio (%)	2.13	2.04	0.080	0.466	2.03	2.05	2.18	0.105	0.523
Sodio (%)	0.06	0.05	0.004	0.255	0.05	0.06	0.06	0.005	0.339
Potasio (%)	1.87	2.04	0.106	0.276	1.80	2.01	2.06	0.130	0.360
Hierro (ppm)	25.5	21.8	1.87	0.172	25.5	22.5	23.0	2.35	0.604
Manganeso (ppm)	25.9	23.0	1.20	0.126	25.3	25.7	22.4	1.47	0.293
Zinc (ppm)	34.3 ^b	40.4 ^a	1.68	0.023	29.4 ^b	41.2 ^a	41.5 ^a	2.05	0.001
Cobre (ppm)	6.8	4.9	0.477	0.008	5.8	5.7	6.2	0.557	0.825
Molibdeno (ppm)	1.26	1.25	0.010	0.293	1.24	1.27	1.25	0.011	0.178

¹ Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Interacción entre variedad y niveles de composta para calcio (P = 0.011).

Interacción entre variedad y niveles de composta para manganeso (P = 0.007).

Interacción entre variedad y niveles de composta para zinc (P = 0.017).

Interacción entre variedad y niveles de composta para molibdeno (P = 0.007).

4.4 Primavera de 2014

En el Cuadro 17, se observó que la variedad CE tuvo una mayor producción de MS por planta ($P = 0.006$) y por hectárea ($P = 0.006$), en comparación con la variedad SE. Se observó una mayor ($P = 0.018$) producción de PC con la variedad CE. La inclusión de composta incrementó la producción de MS por planta ($P = 0.003$) y por hectárea ($P = 0.002$), y aumentó la producción de PC ($P = 0.001$).

En el Cuadro 18, se observa que el contenido de PC no fue diferente ($P > 0.05$) entre las dos variedades. El contenido de hemicelulosa fue mayor ($P = 0.001$) para la variedad CE que para la variedad SE, mientras que el contenido de lignina fue mayor para la variedad SE ($P = 0.014$). El contenido de FDN fue mayor para la variedad CE ($P = 0.001$).

Una mayor concentración de PC ($P = 0.001$) se obtuvo con conforme aumentó la inclusión de composta (Cuadro 18). El contenido de FDA fue mayor para los tratamientos con composta ($P < 0.001$). No se observó una diferencia ($P = 0.199$) en la concentración de FDN entre niveles de composta. Una mayor inclusión de composta redujo el contenido de cenizas ($P = 0.01$). Las concentraciones de ceniza en FDA y en FDN fueron mayores para la variedad CE ($P = 0.001$), y la inclusión de composta, disminuyó la concentración de cenizas en FDN ($P = 0.01$).

La digestibilidad *in vitro* (DIV) de la MS fue mayor ($P < 0.001$) para la variedad SE (78.9%) que para CE (60.8%). Aunque la DIV se redujo de 75.2% a 64.7% con un aumento de 0 a 122 kg/ton de composta por ha, esta no fue significativa ($P = 0.11$).

En el Cuadro 19, se puede observar que la variedad SE tuvo mayor ($P = 0.007$) contenido de calcio que la variedad CE. El contenido de fósforo no fue diferente ($P = 0.155$) entre variedades, sin embargo, se observó un aumento significativo ($P = 0.002$) con la inclusión de composta. Con respecto a los minerales traza, se observó diferencia ($P < 0.05$) en la concentración de zinc entre variedades. Entre niveles de composta, no se obtuvieron diferencias en las concentraciones de macrominerales o minerales traza.

4.5 Todas las estaciones

En el Cuadro 20, se observa que la variedad CE tuvo una mayor producción ($P = 0.006$) de MS por planta y por hectárea ($P = 0.035$) en comparación con la variedad SE. Al aumentar el nivel de composta, se incrementó la producción de MS por planta ($P = 0.018$) y por hectárea ($P = 0.018$).

La producción de PC fue mayor ($P = 0.037$) para la variedad CE y la producción de PC aumentó ($P = 0.001$) con la inclusión de la composta. La época de invierno 2014 tuvo los niveles más altos ($P = 0.001$) de producción de MS por planta, producción de MS por hectárea ($P = 0.001$), y producción de PC por hectárea ($P = 0.001$), seguida por las épocas de primavera (2014), otoño (2013) y verano (2013).

Se presentaron interacciones ($P = 0.013$) entre estación y variedad para producción de MS por planta; entre estación y nivel de composta ($P = 0.049$) para producción de PC por hectárea; entre estación, nivel de composta y variedad ($P =$

Cuadro 18. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en la primavera de 2014.

Variable ¹	Variedad ²				Nivel de composta (t.ha ⁻¹)				
	CE	SE	EE	P	0	61	122	EE	P
MS (%)	8.4	7.9	0.632	0.617	8.1	7.5	6.9	0.774	0.422
PMS									
Por planta (kg)	0.8	0.4	0.078	0.006	0.30 ^b	0.61 ^{ab}	0.84 ^a	0.095	0.003
Por ha (t ⁻¹)	5.8	3.2	0.595	0.006	2.3 ^b	4.7 ^{ab}	6.5 ^a	0.729	0.002
PPC (kg ha ⁻¹ ; base MS)	499 ^a	299 ^b	55.2	0.018	161.0 ^b	421.0 ^{ab}	615.2 ^a	67.6	0.001

¹ MS: materia seca; PMS: producción de materia seca; PPC: producción de proteína cruda.

² Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 19. Proteína, cenizas, constituyentes de la pared celular y digestibilidad *in vitro* de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en la primavera de 2014.

Variable ¹	Variedad ²		EE	P	Nivel de Composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	CE	SE			0	61	122		
Proteína (%)	8.3	8.6	0.357	0.576	6.6 ^b	8.9 ^a	9.9 ^a	0.437	< .001
Cenizas (%)	27.5 ^b	30.3 ^a	0.578	0.002	31.3 ^a	28.2 ^{ab}	27.1 ^b	0.708	0.001
FDN (%)	43.3 ^a	25.2 ^b	1.27	< .001	36.2	34.4	32.1	1.56	0.199
FDA (%)	13.5	14.3	0.481	0.261	11.9 ^b	13.9 ^{ab}	15.9 ^a	0.589	< .001
Hemicelulosa (%)	29.8 ^a	10.9 ^b	1.21	< .001	24.3 ^a	20.5 ^{ab}	16.2 ^b	1.49	0.004
Lignina (%)	0.91 ^b	1.75 ^a	0.222	0.014	0.99	1.51	1.50	0.272	0.320
CFDN (%)	5.9 ^a	4.1 ^b	0.264	< .001	6.4 ^a	4.6 ^b	4.0 ^b	0.324	< .001
CFDA (%)	0.3 ^b	1.3 ^a	0.142	< .001	0.9	0.9	0.6	0.174	0.379
NFDN (%)	0.84	0.96	0.073	0.271	0.84	0.94	0.93	0.090	0.656
NFDA (%)	1.03	1.23	0.098	0.168	1.15	1.16	1.08	0.120	0.888
DIV (%)	61 ^b	79 ^a	2.80	< .001	75	70	65	3.51	0.119

¹ FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; CFDN, cenizas en FDN; CFDA, cenizas en FDA; NFDN, nitrógeno en FDN; NFDA, nitrógeno en FDA; DIV, digestibilidad *in vitro* de la MS.

² Variedades de nopal: CE, forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b, c}, Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 20. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en la primavera de 2014.

Variable	Variedad ¹		Nivel de composta (t.ha ⁻¹)						
	CE	SE	EE	P	0	61	122	EE	P
Calcio (%)	3.05 ^b	3.20 ^a	0.036	0.007	3.21	3.07	3.10	0.044	0.085
Fosforo (%)	0.17	0.22	0.023	0.155	0.10 ^b	0.22 ^{ab}	0.26 ^a	0.028	0.002
Magnesio (%)	3.24	3.71	0.272	0.231	3.13	3.87	3.43	0.334	0.314
Sodio (%)	0.05	0.05	0.001	0.159	0.05	0.05	0.05	0.001	0.502
Potasio (%)	1.72	1.66	0.143	0.777	1.58	1.94	1.55	0.175	0.241
Hierro (ppm)	77.5	75.0	6.24	0.781	64.6	80.3	84.0	7.64	0.189
Manganeso (ppm)	40.9	34.3	3.32	0.177	40.7	39.1	33.1	4.06	0.401
Zinc (ppm)	39.4 ^b	51.2 ^a	3.27	0.019	44.6	47.6	43.6	4.01	0.763
Cobre (ppm)	5.7	5.3	0.413	0.495	5.6	5.7	5.1	0.506	0.691
Molibdeno (ppm)	0.54	0.53	0.005	0.204	0.53	0.54	0.55	0.007	0.078

¹ Variedades de nopal: CE, Forrajero Mina; SE, COPENA F1.

^{a, b}. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

0.047) para producción de MS por hectárea; entre estación, nivel de composta y variedad ($P = 0.018$) para materia seca; y entre estación, nivel de composta y variedad ($P = 0.021$) para producción de proteína cruda por hectárea.

En el Cuadro 21, se observa un aumento en el nivel de PC ($P = 0.04$), aunque no se observó diferencia entre los dos niveles de composta. Las concentraciones de cenizas disminuyeron ($P = 0.001$) con la inclusión de la composta.

El contenido de FDN fue mayor ($P < 0.001$) para la variedad CE. En cuanto a los niveles de composta, no hubo diferencia ($P = 0.491$) en las épocas. La época de primavera de 2014 tuvo el valor más alto ($P < 0.001$), seguida por las épocas de invierno de 2013, verano de 2013 y otoño de 2013. Las concentraciones de hemicelulosa fueron diferentes ($P < 0.001$), siendo mayor para la variedad CE (17.5%), en comparación con la variedad SE (7.9%). En la variedad CE, las concentraciones de lignina ($P < 0.001$) fueron menores que en la variedad SE y la inclusión de composta aumento ($P = 0.008$) los valores de lignina.

En las épocas, los valores de cenizas en FDN ($P < 0.001$) y ceniza en FDA ($P < 0.001$) fueron mayores para las épocas de primavera de 2014 y de invierno de 2013, en comparación con las épocas de otoño y verano de 2013. El valor del nitrógeno en FDA fue mayor ($P < 0.001$) en la época de primavera de 2014 ($P < 0.001$).

Se presentaron interacciones entre estación y variedad ($P < 0.001$) para cenizas; entre estación y variedad ($P < 0.001$) para FDN; entre estación y variedad ($P < 0.001$) para hemicelulosa; entre estación y variedad ($P = 0.022$) para cenizas en FDN; entre estación y variedad para ($P < 0.001$) cenizas en FDA; entre estación y variedad para nitrógeno en FDN; entre estación y variedad ($P < 0.001$) para DIV; entre

estación y nivel de composta para PC; entre estación, nivel de composta y variedad ($P = 0.021$) para PC y entre estación, nivel de composta y variedad ($P = 0.015$) para lignina.

En el Cuadro 22, se observaron mayores concentraciones de calcio ($P = 0.001$) y zinc ($P = 0.031$) se encontraron en la variedad SE, mientras que mayor concentración de hierro ($P = 0.020$) y manganeso ($P = 0.005$) se obtuvo en la variedad CE (Cuadro 22). Con la inclusión de composta aumentó el contenido de fósforo ($P < 0.001$) y de zinc ($P = 0.025$).

Las concentraciones de magnesio fueron mayores ($P < 0.001$) para las épocas de primavera de 2014 y de invierno de 2013, en comparación con las épocas de otoño y de verano de 2013. El potasio presentó mayor concentración ($P < 0.001$) en la época de primavera de 2014, en comparación a la época de otoño de 2013. El hierro presentó mayor concentración ($P < 0.001$) en la época de primavera de 2014, teniendo la época de invierno de 2013 la menor concentración. La época de verano de 2013 presentó la mayor concentración ($P < 0.001$) de manganeso en comparación con las demás épocas. La época de otoño de 2013 presentó la mayor concentración ($P < 0.001$) de cobre en comparación con las demás épocas y la concentración de molibdeno fue mayor ($P < 0.001$) durante las épocas de verano de 2013, invierno de 2013 y otoño de 2013. Se presentó interacción entre estación y variedad ($P < 0.001$) para calcio y entre estación y variedad ($P = 0.011$) para manganeso.

Cuadro 21. Producción de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en cuatro estaciones del año.

Variable ¹	Estaciones				Variedad ²						Nivel de composta (t.ha ⁻¹)				
	Verano 2013	Otoño 2013	Invierno 2013	Primavera 2014	EE	P	CE	SE	EE	P	0	61	122	P	EE
MS (%)	6.5	6.5	6.9	8.2	0.335	0.001	7.3	6.7	0.237	.055	7.3	6.5	7.1	0.290	0.128
PMS															
Por planta (kg)	0.06 ^b	0.21 ^b	1.17 ^a	0.58 ^b	0.064	< .001	0.6	0.4	0.055	.006	0.4	0.6	0.6	0.090	0.007
Por ha (t ⁻¹)	0.48 ^b	1.64 ^b	8.27 ^a	4.49 ^{ab}	0.484	< .001	4.2	3.2	0.342	.035	2.8	3.9	4.5	0.419	0.018
PPC (kg ha ⁻¹)	61 ^b	180 ^b	886 ^a	399 ^b	49.24	< .001	434	329	34.82	.037	196	393	556	69.64	< .001

¹ MS: materia seca; PMS: producción de materia seca; PPC: producción de proteína cruda base MS.

² Variedades de nopal: CE, con espinas; SE, sin espinas.

Interacción (P = 0.013) entre estación y variedad para producción de MS por planta.

Interacción (P = 0.047) entre estación, nivel de composta y variedad para Producción de MS por ha.

Interacción (P = 0.018) entre estación, nivel de composta y variedad para MS.

Interacción (P = 0.049) entre estación, y nivel de composta para producción de PC por ha.

Interacción (P = 0.021) entre estación, nivel de composta y variedad para producción de PC por ha.

a, b. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 22. Proteína, cenizas y constituyentes de la pared celular y digestibilidad *in vitro* de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en cuatro estaciones del año.

Variable ¹	Estaciones				Variedad ²				Nivel de composta (t.ha ⁻¹)							
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	EE		SE		EE		0		61		122	
	2013	2013	2013	2014	EE	P	CE	SE	EE	P	0	61	122	EE	P	
Proteína (%)	12.6 ^a	10.3 ^{ab}	7.5 ^b	8.5 ^b	0.350	< .001	9.6	9.8	0.248	0.490	8.1 ^b	9.9 ^{ab}	11.2 ^a	0.303	0.040	
Cenizas (%)	25.5	33.4	28.8	28.9	0.941	< .001	29.2	29.0	0.665	0.352	30.1	29.1	28.1	0.815	< .001	
FDN (%)	22.9 ^b	20.9 ^b	27.6 ^{ab}	34.2 ^a	1.171	< .001	30.5 ^a	22.3 ^b	0.828	< .001	26.8	26.2	26.1	1.014	0.491	
FDA (%)	14.8 ^a	14.0 ^a	12.0 ^b	13.9 ^a	0.416	< .001	13.0	14.4	0.294	0.906	12.3	13.9	14.9	0.360	0.844	
Hemicelulosa (%)	8.1 ^b	6.9 ^b	15.5 ^{ab}	20.3 ^a	1.257	< .001	17.5 ^a	7.9 ^b	0.889	< .001	14.5	12.4	11.3	1.089	0.085	
Lignina (%)	1.18 ^{ab}	0.93 ^{bc}	0.69 ^c	1.33 ^a	0.099	< .001	0.70 ^b	1.40 ^a	0.070	< .001	0.83 ^b	1.05 ^{ab}	1.22 ^a	0.085	0.008	
CFDN (%)	2.10 ^b	2.08 ^b	5.26 ^a	5.01 ^a	0.240	< .001	4.09 ^a	3.14 ^b	0.170	0.005	4.53	3.28	3.02	0.208	0.849	
CFDA (%)	0.07 ^b	0.49 ^b	1.36 ^a	0.83 ^{ab}	0.094	< .001	0.45 ^b	0.92 ^a	0.067	0.031	0.93 ^a	0.63 ^b	0.51 ^b	0.082	0.025	
NFDN (%)	0.91 ^a	0.62 ^b	0.83 ^a	0.90 ^a	0.046	< .001	0.83	0.80	0.033	0.365	0.75	0.86	0.84	0.040	0.418	
NFDA (%)	0.57 ^b	0.34 ^b	0.53 ^b	1.13 ^a	0.041	< .001	0.58	0.71	0.029	0.140	0.64	0.64	0.65	0.035	0.444	
DIV (%)	73	74	74	70	1.631	0.290	67 ^b	79 ^a	1.166	0.001	75 ^a	73 ^{ab}	70 ^b	1.413	0.040	

¹ MS: materia seca; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; CFDN: cenizas en FDN; CFDA: cenizas en FDA; NFDN: nitrógeno en FDN; NFDA: nitrógeno en FDA; DIV: digestibilidad *in vitro* de la MS.

² Variedades de nopal: CE, con espinas; SE, sin espinas.

Interacción (P < 0.001) entre estación y variedad para cenizas.

Interacción (P < 0.001) entre estación y variedad para FDN.

Interacción (P < 0.001) entre estación y variedad para hemicelulosa.

Interacción (P = 0.022) entre estación y variedad para cenizas en FDN.

Interacción (P < 0.001) entre estación y variedad para cenizas en FDA.

Interacción (P = 0.029) entre estación y variedad para nitrógeno en FDN.

Interacción (P < 0.001) entre estación y variedad para digestibilidad *in vitro*.

Interacción (P = 0.049) entre estación y nivel de composta para proteína.

Interacción (P = 0.021) entre estación, nivel de composta y variedad para proteína.

Interacción (P = 0.015) entre estación, nivel de composta y variedad para lignina.

a, b, c. Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

Cuadro 23. Macrominerales y minerales traza de dos variedades de nopal, una con espinas y una sin espinas, con tres niveles de composta en cuatro estaciones del año.

Variable	Estaciones				EE	P	Variedad ¹		EE	P	Nivel de composta (t.ha ⁻¹)			EE	P
	Verano 2013	Otoño 2013	Invierno 2013	Primavera 2014			CE	SE			0	61	122		
Calcio (%)	2.97 ^{bc}	2.82 ^c	2.94 ^{bc}	3.13 ^a	0.053	0.001	2.9 ^b	3.1 ^a	0.038	.001	3.1	3.0	2.9	0.046	0.040
Fosforo (%)	0.20 ^a	0.14 ^b	0.18 ^{ab}	0.19 ^a	0.013	0.011	0.17	0.19	0.009	.352	0.10 ^b	0.20 ^{ab}	0.23 ^a	0.011	< .001
Magnesio (%)	1.35 ^b	1.40 ^b	2.02 ^{ab}	3.47 ^a	0.161	< .001	2.08	2.05	0.114	.866	1.93	2.14	2.12	0.139	0.491
Sodio (%)	0.05 ^a	0.04 ^b	0.05 ^a	0.05 ^a	0.003	0.001	0.05	0.05	0.002	.906	0.05	0.05	0.05	0.002	0.844
Potasio (%)	1.43 ^{ab}	1.11 ^b	1.96 ^a	1.69 ^{ab}	0.090	< .001	1.57	1.52	0.063	.634	1.43	1.68	1.53	0.078	0.085
Hierro (ppm)	73.9 ^a	47.1 ^{ab}	21.8 ^b	76.3 ^a	4.192	< .001	59.8 ^a	49.8 ^b	2.964	.020	51.5	56.1	56.8	5.928	0.541
Manganeso (ppm)	61.9 ^a	28.4 ^b	22.9 ^b	37.6 ^b	2.356	< .001	41.1 ^a	34.3 ^b	1.666	.005	37.1	37.4	38.6	2.040	0.849
Zninc (ppm)	39.0 ^b	46.9 ^a	35.9 ^b	45.3 ^a	2.584	0.010	39.0 ^b	44.6 ^a	1.827	.031	36.7 ^b	44.5 ^a	44.1 ^a	2.237	0.025
Cobre (ppm)	5.7 ^b	22.8 ^a	5.7 ^b	5.5 ^b	1.332	< .001	9.3	10.5	0.942	.365	8.7	10.9	10.1	1.153	0.418
Molibdeno (ppm)	1.14 ^a	0.93 ^{ab}	1.14 ^a	0.54 ^b	0.053	< .001	0.98	0.90	0.038	.140	0.94	0.98	0.89	0.046	0.444

¹ Variedades de nopal: CE, con espinas; SE, sin espinas.
 Interacción (P < .001) entre estación y variedad para Ca.
 Interacción (P = .011) entre estación y variedad para Mn.
 a, b, c, Valores con letras diferentes varían entre sí (P < 0.05).

5 DISCUSIÓN

5.1. Estación del año

El nopal puede ser usado para suplementar dietas en animales domésticos, sin embargo, su calidad es influenciada por genotipo, especie, variedad, suelo y clima (López *et al.*, 2003). Diferentes autores reportan diferentes resultados en análisis bromatológicos de nopal (Palomo, 1963; Griffith y Hare, 1906; Bauer y Flores, 1969; Lastras y Pérez, 1978), con rangos para MS de 8.0 a 17.5%, MO de 59.9 a 86.9%, PC de 2.8 a 8.8%, EE de 0.57 a 2.66%, FC de 3.0 a 18.9%, ceniza de 8.9 a 31.6%, y ELN de 43.2 a 81.3%. En el presente estudio los valores encontrados para MS van de 6.5 a 8.2 %, PC de 7.5 a 12.6%, FDN de 20.9 a 34.2%, FDA de 12.0 a 14.8%.

Existe poca información sobre el efecto de la estación del año en la composición, degradabilidad, y contenido de energía del nopal. Abdi *et al.* (2009) reportaron en *O. ficus indica* y *O. amyctea*, mayor contenido de MS, mucílago y minerales en el verano, pero menor contenido de PC, MO y FDA, mientras que en el contenido de compuestos fenólicos, oxalatos o saponinas no se presentaron cambios. En el presente trabajo, en verano se presentaron los mayores contenidos de PC (12.6%), FDA (14.8%) y nitrógeno en FDN (0.91%). En primavera, la composición química fue: MS (8.2%), FDN (34.2%), hemicelulosa (20.3%) y cenizas en FDA (1.13%). En invierno, la composición fue: cenizas en FDN (5.26%) y cenizas en FDA (1.35%). El valor más alto de PC (12.6%) se presentó en el verano, cuando los cladodios del nopal eran más jóvenes, en comparación con cladodios de más edad, lo que concuerda con lo reportado por Nobel (1983), López (1988) y López *et al.* (1990).

5.2 Producción de materia seca y proteína

En promedio durante el año, la producción de MS para la variedad CE fue de 4.2 toneladas por hectárea y para la variedad SE fue de 3.2. Estos resultados son mayores a los reportados por Santos (2009), y considerando que las plantaciones de nopal forrajero alcanzan su potencial de producción hasta los 5 a 7 años de edad (López *et al.*, 2003), se podría pensar que pueden alcanzar las 17 toneladas de MS por hectárea (Felker, 2003). El nopal se utiliza en regiones áridas y semiáridas de los continentes Americano y Africano como suplemento de emergencia (Ben Salem y Smith, 2008), es de uso generalizado durante las sequías recurrentes del norte de México, proporcionando energía digerible, agua y vitaminas (Reynolds y Arias, 2003).

Un incremento en la producción de PC durante el año del estudio conforme aumento el nivel de composta puede deberse a que esta contiene mucho nitrógeno. Se ha reportado que incorporación de excretas de ganado o aves como una manera de fertilizar los forrajes, ha aumentado su contenido de proteína cruda, mucha de la cual es nitrógeno no-proteico (Valdez *et al.*, 2009).

En todas las estaciones, la inclusión de composta incrementó la producción de MS. El incremento en la producción de MS y PC durante el verano, otoño e invierno, y durante la primavera, pudo deberse al clima, pues el nopal deja de tener actividad metabólica cuando las temperaturas están por debajo de los 10°C (Nobel, 1988). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Felker (2003).

5.3 Concentraciones de proteína y constituyentes de la pared celular

En todas las estaciones del año, la variedad CE tuvo mayores concentraciones de FDN, hemicelulosa y cenizas en FDN, mientras que la variedad SE, tuvo mayores concentraciones de PC, FDA, lignina, cenizas en FDA y nitrógeno en FDA. Los altos contenidos de fibra (hasta 58% FDN) y cenizas (hasta 25%), pueden reducir el consumo de energía y proteína, esta última determinada como nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA), y puede estar asociada con la fracción de la pared celular de las plantas, la cual es menos degradable (Dávila-Gutiérrez, 1996).

Las concentraciones de PC obtenidos en el presente estudio fueron más altas a las reportados por diversos autores (Ben Salem *et al.*, 2003; González, 1989; Santos, 2009). Como ya se mencionó, fertilizar con compostas aumentar el contenido de nitrógeno de las plantas, y consecuentemente, el contenido de proteína cruda (Valdez *et al.*, 2009). Ben Salem *et al.* (2003) reportaron la composición de nopal sin espinas (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*), con contenido de proteína cruda menor al 5%. Este nivel de PC proporciona menos del 7 a 8% requerido por las bacterias ruminales, cantidad necesaria en la dieta para la función normal del rumen (NRC, 1987), sin embargo, en este estudio todos los valores de PC fueron superiores (8.5 a 12.6%). En respuesta al prácticas de manejo del cultivo, valores de PC, con rangos de 7.5 a 10% por González, (1989). Mientras que valores de 7.5 a 9.7% fueron reportados Santos (2009).

Los valores obtenidos para FDN y FDA son similares a los reportados por Mondragón *et al.* (2003) y Santos (2009), sin embargo son más bajos que los

reportados por Andrade (2012). En otro estudio se reportaron valores de FDN de 25.5 a 29.5%, y FDA de 12.7 a 16.5%, para tres variedades con espinas y tres sin espinas (Cuadro 3, Santos, 2009). Los valores para nitrógeno en FDN fueron similares para las dos variedades. Los contenidos de nitrógeno en FDN y nitrógeno en FDA fueron menores a los reportados por Cordova-Torres *et al.* (2009). La inclusión de composta incrementó los valores de PC, FDA, nitrógeno en FDN, lignina, en las cuatro estaciones, sin embargo, disminuyó los valores para cenizas y ceniza en FDA.

5.4 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Los valores de digestibilidad *in vitro* para la variedad CE variaron de 61 a 74% durante el año, mientras que para la variedad SE los valores para DIV variaron de 72 a 88%. Andrade *et al.* (2012) reporta valores de digestibilidad de la MS de 59 a 62%. Tegegne (2001) reportó valores de digestibilidad de la MS de 70 a 78%. Aparentemente, la reducción en la digestibilidad *in vitro* de la MS en la variedad con espinas, se debió a una mayor concentración de FDN. La calidad nutritiva del nopal depende de la especie y disminuye con la madurez de los cladodios (Tegegne, 2002), y se ha encontrado una mayor producción de MS y PC cosechando cladodios de 60 días (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2010). La digestibilidad de la MO y de PC es mayor en cladodios grandes en comparación con cladodios chicos (Andrade *et al.*, 2011), y las mayores ganancias de peso en corderos también se han dado con dietas conteniendo 20% de nopal (Andrade *et al.*, 2011; Tegegne, 2007). Sin embargo se requiere de más estudios para evaluar la disponibilidad de la proteína en cultivos intensivos de nopal (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2010).

Con la inclusión de la composta, la digestibilidad *in vitro* disminuyó de 75 a 70%. Valores reportados por Castañeda *et al.* (2008) que van de 52 a 56% en forraje sin fertilización y de 43 a 45% en forrajes con fertilización. La reducción en la DIV de la MS parece deberse a un aumento en la FDA. Debido a que las muestras se secaron a 60° C, y la lignina no aumentó significativamente ($P > 0.05$), descartamos reacciones poliméricas que pudieran ser la causa del aumento de este residuo fibroso. Dietas con nopal para caprinos y ovinos incrementaron los consumos de alimento y la digestibilidad de la MO y de la PC, y redujeron el consumo de agua (Costa *et al.*, 2009; Tegegne *et al.*, 2007), e incrementaron la digestibilidad de la PC y de la MO (Cordoba-Torres *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2012).

5.5 Macrominerales y minerales traza

En este estudio, las concentraciones de cenizas (29.2% para CE y 29.0% para SE) fueron menores a las reportadas por Salem y Nefzaoui (2003), aunque similares a los valores reportados por Santos (2009), de 24.9 a 33.0% en tres especies de nopal mejoradas y tres nopales criollos. Ben Salem y Nefzaoui (2003) reportan concentraciones de cenizas de 23.8%, del cual el 5.2% fue de calcio, y solamente el 0.1% fue fósforo. En el presente estudio el calcio fue 10% del valor de las cenizas, mientras que el fósforo fue menor a 0.7%. El alto contenido de cenizas se debe a las altas concentraciones de calcio y oxalatos que contiene el nopal. El nopal es una de las plantas con contenido de cenizas más alto, y sus principales componentes son el calcio, el magnesio y sodio, y la forma en la que está presente el calcio depende de la edad de los cladodios, siendo el oxalato de calcio la forma con mayor presencia en cladodios de menor edad, reduciéndose su contenido conforme va avanzando la edad

(Pérez y Mondragón, 2003; Arnott, 1982; Franceschi y Horner, 1980; Mcoon y Nakata, 2004; Rojas-Molina et al., 2011).

Durante el año, la variedad CE tuvo las concentraciones más altas para Fe y Mn, mientras que la variedad SE tuvo las concentraciones más altas de Ca y Zn. Las concentraciones de P, Mg, Na, K, Cu y Mo, fueron similares ($P > 0.05$) para las dos variedades. Mientras que las concentraciones de Ca fueron menores, las de P, Mn y Zn fueron mayores, y las de Mg, K, Fe y Cu fueron similares a los reportados por otros autores (Nobel et al., 1987; Nobel, 1988; López, 1988; Vázquez y Valdez, 2006; Santos, 2009).

La inclusión de composta aumentó los valores de P y Zn en todas las estaciones, lo que concuerda con lo reportado por Zúñiga-Tarango (2009) para P, pero no para Zn, que disminuyó con la inclusión de fertilizante orgánico en su estudio.

6 CONCLUSIONES

Las dos variedades de nopal tuvieron un alto contenido de cenizas y de humedad, lo que reduce la densidad energética de este alimento para el ganado. El bajo contenido de proteína cruda y una alta concentración de nitrógeno asociado con la FDN y la FDA, puede reducir el consumo y la utilización de la proteína. El nitrógeno asociado con las fracciones de fibra pueden ser menos degradable. La incorporación de composta en el suelo aumentó la producción de materia seca y proteína cruda de las dos variedades de nopal, el cual pudiera ser no-proteico.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, S., H. Ben-Salem, A. I. Martín-García, E. Molina-Alcaide. 2009. Ruminant fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f.inermis) cactus cladodes and diets including cactus. Anim. Fd. Sci. Tech. (149) 333-340.
- Alexandre, G. y N. Mandonnet. 2005. Goat meat production in harsh environments. Small Rumin. Res. 60, 53-66.
- Anderson, E. F. 2001. The Cactus Family. Timber Press, Oregon, USA. pp 776.
- Andrade-Montemayor H. M., A. V. Cordova-Torres A. V., G. Bernal-Santos, T. García-Gasca, R. J. Kawas. 2012. Alternativas alimenticias y suplementos para caprinos en el semiárido: Productos regionales. pp 120-160. En Sánchez-Dávila F., R. A. Ledezma-Torres, A. González-Gómez (Editores). Memorias del Seminario Nacional sobre Caprinocultura en Regiones Semiáridas. Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Escobedo, N. L. México. 2012. 254 p.
- Andrade-Montemayor H. M., A. V. Cordova-Torres, A. Aguilera-Barreyro, T. García-Gasca, J. R. Kawas. 2011. Caracterización química y degradabilidad ruminal del nopal (*Opuntia ficus indica*) y de variedades silvestres de *Opuntia* como alternativa en la suplementación de caprinos. RESPYN Edición especial No. 5-2011 pp 153-168.

- Ankom Technologies. 2014. http://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/D200I-D200_MANUAL_REV_B_101713.pdf. (consultado el 20 de noviembre de 2014).
- AOAC, Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C. 1997.
- Arnott, H. J. 1982. Three systems of biomineralization in plants with comments on the associated organic matrix. Biological Mineralization and Desmineralization. G. H. Nancollas. Berlin. Ed. Springer. pp 199-218.
- Bauer, R. R. y C. Flores V. 1969. Análisis bromatológico de cuatro variedades de *Opuntia ficus-indica* en Chapingo. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Ben Salem, H. and T. Smith. 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. Small Rumin. Res. 77, 174-194.
- Ben Salem, H. y A. Nefzaoui. 2003. Feed blocks as alternative supplements for sheep and goats. Small Rumin. Res. 49, 275-288.
- Bravo, H. 1978. Las Cactáceas de México. 2ª Ed. Vol. 1. UNAM, México. pp. 775
- Britton, N. L. y J. N. Rose. 1963. The Cactaceae: description and illustrations of plants of the cactus Family. New York, USA.
- Castañeda C., M., Duque Q., M., Galvis G., R. D., Correa C., H. J. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la edad de corte sobre la digestibilidad intestinal *in vitro* de la proteína del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín vol.61 no.2 Medellín July/Dec. 2008.

- Castra, J. S., S. Pérez y E. Riquelme. 1977. Evaluation of thornless prickly pear silages as a feedstuff for ruminants. Preceedings Western Section, American Society of Animal Science 28: 127-128.
- Cordova-Torres, A., L. Gutiérrez-Berroeta, J. R. Kawas, T. García-Gasca, A. Aguilera-Barreiro, G. Mlda, H. M. Andrade-Montemayor. 2009. El nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas: Efecto del tamaño o madurez de la penca en la digestibilidad in vivo y composición. VI Congreso Latinoamericano de la Asociación de especialistas en pequeños rumiantes y camélidos sudamericanos. XXIV Reunión de la AMPCA. Querétaro, México. pp 143-151.
- Costa, G. R., Beltro-Filho M. N., Nunes de Medeiros A., Naves G., Egypto-Quiroga R. R., Melo S. A. A. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L. Miller) in the diet of dairy goats, its contribution as a source of water. Small Rum. Res. 82: 62-65.
- Dávila-Gutiérrez, X. D. 1996. Digestión de los componentes del contenido y la pared celular de cactáceas consumidas por la tortuga *Gopherus berlandieri*, en condiciones de cautiverio. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L., México.
- Espinosa, O. V. E., Rivera H. G. y García, H. L. A. 2007. Utilidades económicas generadas por la lechería familiar. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente. Vol. 7 núm. 14. pp 19-41.
- Felker, P. 2003. Utilization of opuntia for forage in the United States of America. En: Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). El Nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma,

- Italia. <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0c.htm#BM12>. Consultado el 15 de noviembre de 2015.
- Franceschi, V. R., Horner, H. T. 1980. Calcium oxalate crystals in plants. *Bot. Rev.* 46:361-4279.
- Fuentes, R. J. 1997. El Nopal: Alternativa forrajera en las zonas áridas del norte de México. pp. 82-87. En: Vázquez-Alvarado, R. E., C. Gallegos-Vázquez, N. Treviño—Hernández y Y. Díaz-Torres (Comp.) *Memorias del VI Simposium-Taller “Aprovechamiento del Nopal”*. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L.
- Goering, H. K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Handbook No. 379*. ARS-USDA, Washington, DC.
- González, C. L. 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica* Engelm.). *J. Arid Environ.* 46:157-237.
- Griffiths, D. y Hare, R. F. 1906. The prickly pear and other cacti as food for stock New Mexico College of Agriculture and Mechanic Arts, Agriculture Experimental Station Bulletin, 60.
- Gutiérrez, O.E. y R. Vázquez A. 2005. Uso del nopal en la alimentación de ovinos. 3er ciclo de conferencias “La producción ovina en Nuevo León” Unión Ganadera regional de Nuevo León. Guadalupe, N. L.
- Kawas, J. R., H. Andrade-Montemayor, and C. D. Lu. 2010. Strategic nutrient supplementation of free-ranging goats. *Small Rumin. Res.* 89, 234-243.
- Kawas, J. R., J. E. Segura-Carmona, R. Carrera, H. Andrade-Montemayor y H. Ibarra-Gil. Nutrient and secondary metabolite concentrations of brows species

- consumed by goats and deer in northeast Mexico. XI International Conference on Goats, Gran Canaria, España. (2012) N-75, p 322.
- Kueneman, E. 2001. Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169. Roma, Italia.
- Lastras, E. J. y S. Pérez P. 1978. Digestibilidad in vivo y in vitro de ensilaje de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Littell, R. C., P. R. Henry and C.B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. J. Anim. Sci. 76, 1216-1231.
- López, M., J. L. 1988. Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore). Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- López, M., J. L., J. P. Cruz H. y A. López J. 1990. Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T). En J. J. López G. y M. J. Ayala O. (Editores). El Nopal su conocimiento y aprovechamiento. III Reunión Nacional y I Internacional (memorias). UAAAN, Buenavista, Saltillo, Mx.
- López G., J.J., R. Fuentes, J. M. y A. Rodríguez G., A. 2003. Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México. En Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). El Nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0c.htm#BM12>. Consultado el 15 de noviembre de 2015.

- Mconn. Nakata, P. A. 2004. Oxalate reduces calcium availability in the pads of the prickly pear cactus through formation of calcium oxalate reduces. *J. Agricultural and Food Chemistry*. 52:1371-1374.
- Medina, M. R., Tirado, G. E., Mejía, H. I. y Cruz, V. C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesq. Agropev. Bras.*, Brasilia. 41:7. 1173-1177.
- Mehrez, A.Z., y E. R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci.* 88: 645-650.
- Mondragón, J. C., S. J. Méndez G. y G. Olmos O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: De la reforestación al cultivo hidropónico. En: Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). *El Nopal (Opuntia spp.) Como Forraje*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0c.htm#BM12>. Consultado el 15 de noviembre de 2015.
- National Research Council. 1987. *Predicting Feed Intake of Food Producing Animals*. Washington, D.C. National Academy Press.
- Nefzaoui, A. y H. Ben Salem. 2002. Forage, fodder and animal nutrition. En Nobel P. S. (ed.). "Cacti, Biology and Uses". University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California. pp 199-210.
- Nefzaoui, A. y H. Ben Salem. 2003. *Opuntia* forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región Wana. En: Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). *El Nopal (Opuntia spp.) como forraje*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma, Italia.

<http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0c.htm#BM12>. Consultado el 15 de noviembre de 2015.

- Nobel, P. S., Ch. E. Rusell, P. Felker, J. Galo, y E. Acuña. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agron. J.* 79(3):550-555.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. USA. 270 p.
- Nobel, P. S. 1995. Environmental biology. En: Barbera G., P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (Eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant and Protection Paper 132.
- Ortega, P. R., Murillo, A. B., Espinoza, V. J. L., Palacios, E. A., Carreón, P. L., Palacios, M. E. y Plascencia, J. A. 2010. Chemical composition and proportion of precursors of rumenic and vaccenic acids in alternative forages for the feeding of ruminants in arid ecosystems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12: 33-45.
- Palomo, G: D. R. 1963. Datos sobre los nopales utilizados como forraje de invierno en el Noreste de México. Tesis profesional. Escuela de Agricultura y Ganadería. ITESM. Monterrey, México.
- Pinos-Rodríguez J. M., J. C. Velázquez, S. S. González, J. R. Aguirre, J. C. García, G. Alvarez, y Y. Jasso. S. 2010. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. *African J. Anim. Sci.* 40 (3) 245-250.
- Revels, H. M. y Flores, O. M. A. 2010. El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. VII Simposium-Taller Nacional y Ier Internacional

- “Producción y Aprovechamiento del Nopal” RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 5:130-144.
- Reynolds, S. G. y E. Arias-Jimenez. 2003. En: Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). El Nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma, Italia.
- Rojas-Molina, J. I., E. Gutiérrez-Cortez; L. Gutiérrez-Aguilar; A. Rojas-Molina; C. Ibarra-Alvarado; y M. A. Aguilera-Barreiro. 2011. Distribución e identificación dl calcio presentes en la penca de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Pp 115-118. . En: Vázquez-Alvarado R. E., F. Blanco-Macías y R. Valdez-Cepeda. (Editores). Memorias del X Simposium-Taller Nacional y III Internacional de Producción y Aprovechamiento de Nopal y Maguey.. Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Escobedo, N. L., México.
- SAGARPA-SIAP. 2015. Anuario estadístico de la Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perenes 2013. Modalidad: riego + temporal. México. <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 15 de noviembre de 2015.
- Santos-Haliscak, J. A. 2009. Evaluación de la productividad y caracterización de tres variedades de nopal mejorado y tres criollos. Tesis profesional, Facultad de Agronomía, U. A. N. L., Escobedo, N. L. México. 2009. 69p.
- SAS. User’s Guide. 1998. Statistics 6.12. SAS Ins., Inc. Cary, NC.
- Silanikove, N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. Small Rumin. Res. 35, 181-193.
- Statistical Program for the Social Sciences (SPSS) 2005. SPSS Base 10.0 User’s Guide. Disponible en: www.spss.com.

- Tegegne F. 2003. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feed in Ethiopia. En: Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). El Nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0c.htm#BM12>. Consultado el 15 de noviembre de 2015.
- Tegegne F. 2002. Fodder potential of *Opuntia ficus indica*. Acta Hort. 581, 343-346.
- Tegegne F., Kijora C., Peters K. 2007. Study of the optimal levels of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. Small Rumin. Res. 72, 157-164.
- Torres-Sales, A. 2010. Sistemas de producción de nopal forrajero en Brasil. VII Simposium-Taller Nacional y Ier Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal". RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 5:57-69.
- Udén, P., P. H. Robinson and J. Wiseman. 2005. Use of detergent system terminology and criteria for submission of manuscripts on new, or revised, analytical methods as well as descriptive information on feed analysis and/or variability. Snim. Feed Sci. And Tech. 118 pp 181-186.
- Valdez-Cepeda, R. D., F. Blanco-Macías, R. Magallanes-Quintanar, R. E. Vázquez-Alvarado y M. Reveles-Hernández. 2009. Avances en la nutrición del nopal en México. pp. 1-14. En: Vázquez-Alvarado R. E., F. Blanco-Macías y R. Valdez-Cepeda. (Editores). Memorias del VIII Simposium-Taller Nacional y Ier Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal. Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Escobedo, N. L., México.

- Vázquez A., R. E. 2006. Aspectos importantes de la siembra y fertilización en nopal verde. Taller práctico. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.
- Vázquez A., R. E. y R. Valdez C. 2006. Caracterización nutricional del nopal basado en macroelementos. En Vázquez-Alvarado, R. E. y F. Blanco-Macías (Comp.). Memorias del “V Simposium-Taller, Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México”. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L., México.
- Zúñiga-Tarango R., Orona-Castillo I., Vázquez-Vázquez C., Murillo-Amador B., Salazar-Sosa E., López-Martínez J. D., García-Hernández J. L., Rueda-Puente E. 2009. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en diferentes tratamientos de fertilización. J. PACD (2009) 11: 53–68.