

EVALUACION AGROECOLOGICA Y NUTRICIONAL DEL NOPAL
FORRAJERO (*Opuntia spp*) EN COAHUILA, MEXICO.

JUAN JOSE LOPEZ GONZALEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
Area: Producción Agrícola



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
SUBDIRECCION DE POSTGRADO
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México



Enero de 2004

14561

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

EVALUACIÓN AGROECOLÓGICA Y NUTRICIONAL DEL NOPAL
FORRAJERO (*Opuntia spp*) EN COAHUILA, MÉXICO.

TESIS

POR

JUAN JOSÉ LÓPEZ GONZÁLEZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

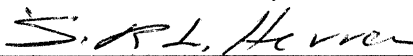
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
ÁREA: PRODUCCIÓN AGRICOLA

COMITÉ PARTICULAR

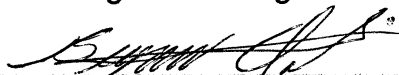
Asesor Principal:


Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez

Asesor:


Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera


Asesor:


Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa

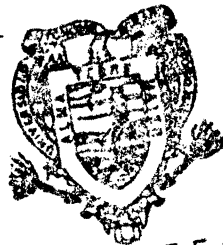
Asesor:


Dr. Alejandro Zárate Lupercio

Asesor:


Dr. Jorge Galo Medina Torres


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Postgrado



Buenavista, Saltillo, Coahuila. Enero de 2004.

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jesús M. Fuentes, por su impulso a iniciar esta etapa de mi formación y su disposición, orientación y sugerencias para la realización y culminación de este trabajo.

Al Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera, por su valiosa colaboración y respaldo en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa, por su asesoría, recomendaciones y sugerencias en la revisión del documento.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por su amistad, sus acertadas sugerencias en la revisión del documento.

Al Dr. Jorge Galo Medina, por su estímulo.

Al Dr. Eulogio Pimienta y al M. C. Alejandro Muñoz Urias, por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A los M. C. Víctor M. Rodríguez Carreón, Myrna Julieta Ayala y Oscar Ulises Martínez, por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al M. C. José Eduardo García Martínez, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A la Biol. Francisca Ramírez Godina y a la T. A. Norma Leticia Portos Gaona por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A la Q. F. B. Carmen Pérez Martínez y al M. C. Oscar Reboloso Padilla C, por su ayuda en el análisis de la leche.

Lic. Víctor Manuel López González por su valiosa colaboración en la revisión y corrección del manuscrito.

Al Ing. Gabriel García Ponce, por su amistad y ayuda para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros del Departamento de Recursos Naturales Renovables, de la División de Ciencia Animal y de la Universidad.

A todas aquellas personas que de una manera u otra, colaboraron en la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por la oportunidad que me a dado para superarme en mi vida profesional.

A la memoria de mis padres

Juan López Preciado

y

Aurora González de López

A la memoria de mis abuelitos

Jesús F. López Rodríguez

y

Aurora García de González

A mis hermanos y sobrinos

Maria Dolores y Eduardo: Eduardo y Dolores

Oscar López González

Víctor y Rosa Maria: Víctor Manuel y Karina

Roberto y Amalia Cecilia: Ana Cecilia y Roberto

Aurora y Federico: Federico y Aurora

A mis padres políticos

Dr. Juan Manuel Siller y Siller

y

Norma Villarreal de Siller

con cariño

A mis hermanos políticos y sobrinos

Maria Angélica y Carlos Humberto: Carlos Humberto

Amalia y Gregorio: Gregorio Javier

Irma y Lorenzo: Carlos Alberto, Irma Maria y Diana Linet

Cristina y Gustavo: Cristina, Carolina y Gustavo

Carlos Simón y Ana Laura: Carlos Simón y Diego

Juan Manuel y Verónica Patricia: Valeria y Juan Manuel

A mis tíos y primos

A mis maestros

A mis compañeros y amigos

A mi querida esposa

Norma María y a mi hijo Juan José,

por todo el apoyo que me han brindado siempre

Con amor

Índice de Contenido

	Pág.
Índice de Cuadros.....	xiii
Índice de Figuras.....	xvii
Compendio.....	xix
Summary.....	xxi
Resumen.....	xxiv
INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	1
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Hipótesis.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
Importancia del nopal... ..	8
Distribución de <i>Opuntia</i>	9
Mundial.....	9
Continente americano.. ..	10
México.....	11
Características del género <i>Opuntia</i>	12
Generales.....	12
Taxonómicas.....	13
a) Agrupación taxonómica del género <i>Opuntia</i>	15
<i>Opuntia imbricata</i> (Howorth) De Candolle.....	18
<i>Opuntia microdasys</i> (Lehmann) Pfeiffer.....	22
<i>Opuntia rufida</i> Engelmán.....	22
<i>Opuntia rastrera</i> Weber.	23
<i>Opuntia lindheimeri</i> Engelmán.....	23
<i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>tricolor</i> (Griffiths).	24
<i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>subarmata</i> (Elizondo & Wehbe).....	25
<i>Opuntia cantabrigiensis</i> Lynch.	26
<i>Opuntia ficus-indica</i> (Linné) millar.....	27

Genéticas.....	28
a) Estudios histológicos y cromosómicos.....	28
b) Cromosomas.....	29
Nutritivas.....	31
Las características generales del nopal.....	32
a) Agua.....	32
b) Análisis bromatológicos.....	32
c) Sales minerales.....	34
d) Digestibilidad.....	34
Usos del nopal.....	37
Mundial	37
El uso del nopal en México se puede dividir en tres épocas...	39
a) Época precortesiana.....	39
b) Época de la conquista.....	41
c) Época actual.....	43
Establecimiento ecológico de nopal forrajero.....	43
Aspectos fisiológicos y fotosíntesis.....	46
Consumo del nopal forrajero.....	48
Usos del nopal en la producción animal.....	50
Bovinos de carne.....	50
Bovino de leche.....	54
Ovinos.....	56
Caprinos.....	58
MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
Descripción del área de estudio.....	59
Identificación y determinación del estado actual de las poblaciones.....	63
Evaluación del establecimiento del nopal rastrero.....	64
Factores abióticos.....	65
a) Clima.....	65
b) Temperatura.....	65
c) Geología.....	65

d) Suelos.....	65
Factores bióticos.....	66
a) Vegetación.....	66
Selección del sitio.....	67
Selección del material vegetativo.....	67
Sistema de plantación.....	67
a) Plantación con surcado Lister.....	68
a1) Evaluación de producción de biomasa.....	69
a2) Daños por plagas, roedores y lagomorfos.....	69
a3) Establecimiento de pencas.....	69
Análisis estadístico.....	70
Análisis histológico y cromosómico del nopal.....	70
Selección del material vegetativo.....	71
Estudio anatómico.....	71
Análisis estadístico.....	73
Determinación del número cromosómico.....	73
Material utilizado.....	73
Tratamiento de los cladodios.....	74
Recolección de ápices radicales.....	74
a) Pretratamiento.....	74
b) Fijación.....	74
c) Elaboración de preparaciones temporales.....	74
d) Identificación.....	74
Evaluación del valor nutritivo del nopal.....	75
Preparación del sustrato.....	76
Obtención del líquido ruminal.....	76
Procedimiento experimental.....	76
Análisis estadístico.....	77
RESULTADOS.....	79
Especies de nopal utilizadas como forraje.....	79
Características, producción y manejo del ganado.....	80

a) Ganado lechero.....	80
a.1) Composición del hato.....	80
a.2) Características de los establos.....	81
a.3) Manejo de los establos.....	81
a.4) Tipo de ordeña.....	82
a.5) Producción de leche.....	82
a.6) Manejo de la ordeña y leche.....	83
a.7) Características de la leche.....	83
a.8) Venta de la leche.....	84
a.9) Enfermedades.....	85
a.9.1) Composición del hato.....	85
a.9.2) Manejo del hato.....	85
a.10) Composición de la dieta.....	86
a.11) Costos de la dieta.....	86
a.12) Descripción del algoritmo de cosecha y venta de nopal forrajero.....	87
a.13) Organización.....	88
a.14) Estado actual de los establos lecheros.....	89
a.15) Procedencia del nopal forrajero.....	89
a.16) Especies utilizadas.....	90
a.17) Forma de utilización del nopal.....	90
a) Cosecha, acarreo y chamuscado.....	90
b) Cosecha, acarreo y picado.....	91
Sitios de utilización y extracción de nopal.....	91
Sitio Uno Micrófilo-Bajada media.....	92
Sitio Dos- Crasicaule-Llano.....	95
Sitio Tres- Micrófilo abierto-Bajada media.....	98
Sitio Cuatro- Crasicaule abierto – Bajada media.....	101
Sitio Cinco – Crasicaule micrófilo – Bajada baja.....	104
Sitio Seis - Micrófilo – Llano.....	107
Sitio Siete- Crasicaule micrófilo-Llano.....	110
a.19) Producción de biomasa estimada en pie.....	113

a.20) Raciones utilizadas.....	114
b) Ganado Bovino.....	116
b.1. Especies utilizadas.....	116
b.2). Cosecha de nopal forrajero.....	117
b.3) Forma de cosecha por los ganaderos.....	117
a. Cosecha por el animal.....	118
b. Despunte del nopal.....	118
c. Chamuscado en pie.....	118
d. Quema en pie.....	118
e. Nopal chamuscado.....	119
f. Quema <i>in-situ</i>	119
Establecimiento.....	120
Características citológicas y cromosómicas del nopal.....	125
Características anatómicas.....	125
Características citológicas.....	128
Análisis bromatológico.....	138
Digestibilidad <i>In vitro</i> de la materia seca y materia orgánica...	140
Tasa de degradación de las paredes celulares (FND).....	142
CONCLUSIÓN	150
DISCUSIÓN	156
LITERATURA CITADA	164
Anexo 1.....	176
Anexo 2.....	177
Anexo 3.....	179

Índice de Cuadros

Cuadro		Pág.
2.1.	Estudio cariotípico de variedades del género <i>Opuntia</i> , consideradas como forrajeras cultivadas y silvestres.	31
2.2.	Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (% en base a materia seca).	33
2.3.	Variación en el contenido de nutrientes digestibles de nopal inerme (sin espinas).	34
2.4	Nutrientes digestibles en las pencas de diferentes especies y edad de nopal.	35
2.5	Digestibilidad del nopal por varios autores.	35
2.6	Digestibilidad <i>in vitro</i> (Materia seca) en cinco especies de <i>Opuntia spp</i>	36
2.7	Coeficiente de digestibilidad del nopal (<i>Opuntia sp.</i>) en porcentaje.	36
2.8	Digestibilidad de nopal en ovinos.	36
2.9	Raciones con nopal empleadas por los ganaderos del Sur de los Estados Unidos de Norte América para el ganado bovino de carne	51
2.10	Consumo de nopal en kg. /día y ganancia diaria en kg de peso vivo; promedio por cabeza durante el experimento A.	52
2.11	Consumo de nopal en Kg. /día y ganancias diarias en Kg. de peso vivo; promedio por cabeza, durante el experimento B.	53
2.12	Consumo y ganancias medias por cabeza obtenidas en tres periodos de observación del experimento C	54
2.13	Raciones empleadas para la alimentación de bovinos de leche en diferentes países.	55
2.13	Continuación...	56
2.14	Raciones a base de nopal para borregos de 32.0 kg de peso vivo.	57
2.15	Raciones a base de nopal para borregos de 54.0 kg de peso vivo.	57
2.16	Consumo de Materia Seca y cambios de peso ocurridos con nopal ofrecido en tres estados de humedad.	58
3.1	Valores de abundancia-dominancia según el método desarrollado por Braun-Blanquet.	62
3.2	Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento.	70
4.1	Establos representativos encuestados en el periodo 1997-2002 que utilizan nopal forrajero, ubicados en la periferia de Saltillo, Coahuila.	80
4.2	Características de los hatos de los establos lecheros de la periferia de Saltillo, Coahuila, 1997-2002.	81
4.3	Análisis bromatológico de la leche de cinco establos, durante seis días, de la zona conurbada de Saltillo, Coahuila.	84
4.4	Promedio de la acidez, grasa y proteína de la leche de cuatro	

	establos (durante siete días) de la periferia de Saltillo, Coahuila.	84
4.5	Costo de los insumos para la formulación de raciones en diferentes épocas del año 2001, en la región de Saltillo, Coahuila.	87
4.6	Sitios donde se extrae el nopal forrajero <i>Opuntia rastrera</i> , para los establos de la periferia de Saltillo.	89
4.7	Valores de la fitocenosis de la parcela uno, de matorral crasicaule con <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia leptocaulis</i> , <i>Larrea tridentata</i> y <i>Agave scabra</i> , en el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	94
4.8	Valores de edafotopo de la parcela uno, de matorral crasicaule, con poca pendiente con <i>Opuntia rastrera</i> , <i>O. leptocaulis</i> , <i>Larrea tridentata</i> y <i>Agave scabra</i> , en el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	94
4.9	Valores de la fitocenosis de la parcela dos, de matorral crasicaule cerrado, sin pendiente, con <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia phaeacantha</i> , <i>Opuntia imbricata</i> en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	97
4.10	Valores del edafotopo de la parcela dos, de matorral crasicaule cerrado, sin pendiente, con: <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia phaeacantha</i> , <i>O. Imbricata</i> , en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	97
4.11	Valores de la fitocenosis del sitio tres de matorral crasicaule e inerme dominado por <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Flourenzia cernua</i> y <i>Larrea tridentata</i> en La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	100
4.12	Valores de edafotopo de la parcela tres, de matorral crasicaule e inerme, dominado por <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Flourenzia cernua</i> y <i>Larrea tridentata</i> en La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	100
4.13	Valores de la fitocenosis del sitio cuatro, de matorral crasicaule abierto, en bajada baja, dominado por <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia leptocaulis</i> , <i>Larrea tridentata</i> y <i>Agave lechuguilla</i> en el predio Las Liebres, municipio de Parras de la Fuente, Coahuila.	103
4.14	Valores del edafotopo del sitio cuatro, de matorral crasicaule abierto, en bajada baja, con <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia leptocaulis</i> , <i>Larrea tridentata</i> y <i>Agave lechuguilla</i> , en el predio Las Liebres, municipio de Parras de las Fuentes, Coahuila.	103
4.15	Valores de la fitocenosis del sitio cinco del matorral crasicaule micrófilo inerme dominado por <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia leptocaulis</i> , <i>Larrea tridentata</i> , <i>Flourenzia cernua</i> y <i>Jatropha dioica</i> . En el ejido de Narigua, municipio de General Cepeda, Coahuila.	106

4.16	Valores de edafotopo del sitio cinco del matorral crasicaule inerme dominado por <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Opuntia leptocaulis</i> , <i>Larrea tridentata</i> , <i>Flourenzia cernua</i> y <i>Jatropha dioica</i> . En el ejido de Narigua, municipio de General Cepeda, Coahuila.	106
4.17	Valores de la fitocenosis del sitio seis, matorral micrófilo dominado por <i>Larrea tridentata</i> , <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Yucca sp.</i> <i>Flourenzia cernua</i> , <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Jatropha dioica</i> . En el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	109
4.18	Valores de edafotopo del sitio seis del matorral micrófilo dominado por <i>Larrea tridentata</i> , <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Yucca sp.</i> <i>Flourenzia cernua</i> , <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Jatropha dioica</i> . En el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	109
4.19	Valores de la fitocenosis del sitio siete, matorral micrófilo dominado por <i>Larrea tridentata</i> , <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Yucca sp.</i> <i>Flourenzia cernua</i> , <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Jatropha dioica</i> . Ejido San Martín de las Vacas, General Cepeda, Coahuila.	112
4.20	Valores de edafotopo del sitio siete del matorral micrófilo dominado por <i>Larrea tridentata</i> , <i>Opuntia rastrera</i> , <i>Yucca sp.</i> <i>Flourenzia cernua</i> , <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Jatropha dioica</i> . En el ejido San Martín de las Vacas, General Cepeda, Coahuila.	112
4.21	Localización y distancia de los sitios de donde se extrae el nopal forrajeo (<i>Opuntia rastrera</i>), para los establos circunvecinos de la ciudad de Saltillo, Coahuila.	113
4.22	Estimación de la producción de biomasa promedia de cada uno de los sitios muestreados.	114
4.23	Dietas ofrecidas en los establos de la periferia de Saltillo, Coahuila, en el periodo 1997-2002.	115
4.24	Costo de los insumos utilizados en las raciones de alimentación en establos lecheros de la periferia de Saltillo, Coahuila.	155
4.25	Variación de precios de los insumos en las raciones ofrecidas a los establos lecheros de la periferia de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.	116
4.26	Porcentajes de utilización de las diferentes especies y variedades de nopal forrajero por los bovinos, caprinos y ovinos en el estado de Coahuila.	117
4.27	Análisis de varianza de los tratamientos en surcado Lister de 1997–2002. Campo Experimental La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila.	120
4.28	Prueba de medias Turkey de los tratamientos en surcado Lister para los años de 1997 a 2002.	120
4.29	Análisis de varianza de los tratamientos en surcado Lister 1999-2001. Campo Experimental La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila.	124
4.30	Prueba de medias de los dos tratamientos en surcado Lister para los años 1997-2001. Campo Experimental La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila.	124

4.31	Densidad, largo y ancho de estomas en especies de nopal forrajero de Saltillo Coahuila.	127
4.32	Grosor de cutícula, epidermis, parénquima de pared gruesa y parénquima en especies de nopal forrajero de Saltillo, Coahuila, México.	127
4.33	Resultados obtenidos del estudio cromosómico en especies de nopal (<i>Opuntia spp</i>), utilizadas como forraje en el sur del estado de Coahuila.	129
4.34	Valores máximos, mínimos y media del contenido de agua y peso seco de las especies en estudio, en el municipio de Saltillo, Coahuila.	139
4.35	Análisis bromatológicos de las especies del género <i>Opuntia</i> , estudiadas del municipio de Saltillo, Coahuila.	140
4.36	Digestibilidad <i>In vitro</i> de las especies del género <i>Opuntia</i> estudiadas del municipio de Saltillo, Coahuila.	141
4.37	Tasa de degradación (kd) de la fibra de las especies tratadas del género <i>Opuntia</i> , del municipio de Saltillo, Coahuila.	143
4.38	Fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies del género <i>Opuntia</i> , a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> , del municipio de Saltillo, Coahuila.	144
4.39	Fibra Potencialmente Digestible (FPD) de las especies, a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	145
4.40	Digestibilidad de las paredes celulares de las especies estudiadas a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	149
6.1	Digestibilidad in Vitro de cinco especies (%) , reportado por varios autores.	163

Índice de figuras

Figura		Pág.
1.1	El nopal forrajero y sus interrelaciones ecológicas y económicas.	6
4.1	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	93
4.2	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	96
4.3	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el predio La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	99
4.4	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el predio Las Liebres, municipio de Parras de las Fuentes, Coahuila.	102
4.5	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el sitio del Ejido Narigua en municipio de General Cepeda, Coahuila.	105
4.6	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	108
4.7	Población natural de <i>Opuntia rastrera</i> en el ejido San Martín de las Vacas de Ramos Arizpe, Coahuila.	111
4.8	Características generales de <i>Opuntia microdasys in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	130
4.9	Número cromosómico de <i>Opuntia microdasys</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	130
4.10	Características generales de <i>Opuntia rastrera, in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	131
4.11	Número cromosómico de <i>Opuntia rastrera</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	131
4.12	Características generales de <i>Opuntia lindheimeri var. tricolor, in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	132
4.13	Número cromosómico de <i>Opuntia lindheimeri var. tricolor</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	132
4.14	Características generales de <i>Opuntia cantabrigiensis, in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	133
4.16	Número cromosómico de <i>Opuntia cantabrigiensis</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	134
4.17	Características generales <i>Opuntia lindheimeri var. Subarmata, in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	134
4.18	Número cromosómico de <i>Opuntia lindheimeri var. Subarmata</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	135
4.19	Características generales <i>Opuntia rugida, in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	135
4.20	Número cromosómico de <i>Opuntia rugida</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	136
4.21	Características generales <i>Opuntia imbricata, in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	136

4.22	Número cromosómico de <i>Opuntia imbricata</i> . Célula somática ($2n = 2x = 22$).	137
4.23	Características generales <i>Opuntia ficus-indica</i> , <i>in situ</i> , en el sur del estado de Coahuila.	137
4.24	Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de <i>Opuntia ficus indica</i> a los diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	146
4.25	Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de <i>Opuntia imbricata</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	146
4.26	Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de <i>Opuntia lindheimeri</i> . var. <i>subarmata</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	147
4.27	Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de <i>Opuntia lindheimeri</i> . var. <i>tricolor</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	147
4.28	Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de <i>Opuntia cantabrigiensis</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	148
4.29	Relación entre el contenido de Fibra en Detergente Neutro FDN y su tasa de degradación (kd) entre las especies.	148

COMPENDIO

EVALUACIÓN AGROECOLÓGICA Y NUTRICIONAL DEL NOPAL
FORRAJERO (*Opuntia spp*) EN COAHUILA, MÉXICO.

POR

JUAN JOSE LOPEZ GONZALEZ

DOCTORADO EN

CIENCIAS AGRÍCOLAS

AREA: PRODUCCION AGRÍCOLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA" ANTONIO NARRO"
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. ENERO 2004.

DR. Jesús M. Fuentes Rodríguez. –Asesor.-

Palabras clave: *Opuntia*, distribución, manejo y utilización, establecimiento, cromosomas y digestibilidad.

Este trabajo se planteó con el objetivo de caracterizar las especies del género *Opuntia* que son utilizadas como forraje por los ganaderos del sureste del estado de Coahuila, México, en la producción de carne y leche (ganadería extensiva y en la producción de leche). Su distribución, manejo y utilización en el estado. Determinar las especies forrajeras más importantes, siendo para los ranchos ganaderos la *Opuntia rastrera* y la *Opuntia lindheimeri* y sus variedades y para los establos lecheros la *Opuntia rastrera*, su demanda y su calidad nutritiva. Se establecieron plantaciones con ocho tratamientos. Se evaluaron características taxonómicas y fisiológicas para reforzar más la identificación taxonómica de estas especies en estudio. Sus métodos de cosecha y sistemas de rehabilitación de las áreas cosechadas. Así como la determinación cromosómica de las

principales especies utilizadas como forraje por los ganaderos del sur del estado, donde se observó que todas las especies y variedades silvestres muestreados tuvieron el mismo número de cromosomas 22, menos la *Opuntia ficus-indica* (introducida) con 88 cromosomas. Se determinó el valor nutritivo de cinco especies de nopal forrajero, así como la tasa de degradación de la fibra.

Summary

The state of Coahuila is eminently cattle raiser and counts on an approximate surface to 150.000 km², of which alone 10% is dedicated to the agriculture of irrigation and temporary, and the 90% remaining to the stockbreeding. About 70% of the territory is considered arid zone, with lower precipitation (300 mm); the 30% semi-dry, with smaller precipitation (450 mm) annual. This work was carried out in the southern Coahuila and covered the municipalities of Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe, General Cepeda and Parras de la Fuente, that utilize cactus (*Opuntia spp*) in the diet of animals (cattle, sheep and goats). To determine the species of cactus (*Opuntia spp*) that are more utilized as cactus fodder, 120 surveys among the owners of different systems of production were carried out: 23 dairy producers, 80 farms (with sheep and goats) and 17 extensive cattle raisers. The species that were more used were: cactus rastrero (*O. rastrera*) with 80%; cactus kakanapo (*O. lindheimeri* and its varieties) with 12%; cactus cardenche (*O. imbricata*) with 4% and other species with 4%. The dairy producers are located around of Saltillo city, and these operate, with not more than 40 animals in production, are rustic and the majority does not count on adequate installations, due to that waste materials for its construction are utilized. The type of ration is very variable, since it depends on the costs and availability of commodity, but mainly is composed from 3 to 8 kg of commercial concentrate, from 2 to 8 kg of alfalfa hay, from 2 to 5 kg of straw roughage, and 15 to 42 kg of cactus (*Opuntia spp*). The cost of the ration fluctuates from \$ 10.00 to \$ 33.00 pesos a day. Production of milk goes from 14

to 18 liters day, with an average of 15.5 liters/day. On extensive cattle raisers, the utilization of cactus (*Opuntia spp*) depends on the species that are present in their ranches; the same thing happens with sheep and goats. The total amount of cactus that is utilized is extracted from the existing natural populations, which, by its excessive use have been decimated, by which is necessary to go to harvest it to greater distances of 100 km, when 20 years ago, it was harvested to distances less than 35 km of the city of Saltillo. In the areas of study, places with the better populations of cactus were located: estimations of production of biomass were carried out in plots of 400 m², results indicated that the higher production was for the cooperative Cosme, of the municipality of Ramos Arizpe, with a density of 2125 individuals/ha and a production estimated of 49,039 kg/ha. To promote the rehabilitation of the overutilized areas, establishment with the surcado Lister system of plantation was evaluated, with eight treatments during six years. Treatments three and four were the ones that gave better results, with an establishment of 88 and 97%, and a production at six years of 23 and 39 ton/ha, respectively: treatments seven and eight were the lowest, since they all died at second year of planted. The biological damages presented were caused by rodents, lagomorfos and ants. Inside the anatomical characteristics of these species in wild state, it was observed that the thickness of the cutícula fluctuated among the 2.1 and 6.6 µm, as opposed to cultivated cactus that goes from 8.1 to 16.2 µm. Only two species of the seven studied (*Opuntia microdasys* and *O. rufida*) presented tricomas that are characteristic of the series Basilares. The number of stomas was smaller in the species that grow close to the ground (*O. rastrera* and *O. microdasys*), with 24 by mm², and 55 by

mm² in the species that are taller (*Opuntia cantabrigiensis* and *O. imbricata*), results of the eight species analyzed, indicated that seven wild cactus resulted with $2n=2X=22$ (diploides), and only one cultivated cactus (*O. ficus-indica*) had $2n=8X=88$ (octaploide). The chemical analyses obtained of the five species studied indicate that the dry matter content fluctuates between 10 and 30%; protein 6.6% in *O. lindheimeri* var *subarmata*, to 10.7% in *O. imbricata*. These data vary depending on the species, time of the year, age of the plant, etc. The in vitro digestibility of the dry matter did not have differences ($p > 0.05$) among processing. The *O. ficus* indicates high values of with 63.99%, while the lower values are for the *O. lindheimeri* var. *tricolor*, with 55.32%. The organic matter digestibility differentiate ($P < 0.05$) among processing. According to these results, all the species and varieties of cactus can be utilized in diets of maintenance, to cover partially the requirements of ruminants, mainly in critical times of the year.

Resumen

El estado de Coahuila es eminentemente ganadero y cuenta con una superficie aproximada a los 150.000 km², de los cuales sólo el 10 por ciento se dedica a la agricultura de riego y temporal, y el 90 por ciento restante a la ganadería. El 70 por ciento del territorio se considera como zona árida, con precipitaciones menores a los 300 mm; el 30 por ciento semi-árido, con precipitaciones menores a los 450 mm anuales.

Este trabajo se realizó en el sur del estado y comprende los municipios de Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe, General Cepeda y Parras de la Fuente, donde los productores utilizan el nopal (*Opuntia spp*) en la dieta de sus animales (bovinos, caprinos y ovinos).

Para la determinación taxonómica de las especies de nopal (*Opuntia spp*) que más se utilizan como forraje, se realizaron 120 encuestas entre los propietarios de diferentes sistemas de producción pecuaria: 23 establos lecheros, 80 majadas con caprinos y ovinos y 17 ranchos ganaderos. De acuerdo a las encuestas, las especies que más aprovechan son: el nopal rastrero (*O. rastrera*), un 80 por ciento; el nopal kakanapo (*O. lindheimeri* y sus variedades), un 12 por ciento; el cardenche (*O. imbricata*), un cuatro por ciento, y otras especies, un cuatro por ciento.

Los establos lecheros se localizan en la periferia de Saltillo, y éstos son pequeños, con no más de 40 animales en producción. Son rústicos y la mayoría no cuenta con instalaciones adecuadas debido a que, para su construcción, se utilizaron materiales de desecho (láminas, llantas, etc.).

El tipo de ración es muy variada, ya que depende de los costos y disponibilidad de materia prima, pero principalmente se compone de 3 a 8 kg de concentrado comercial, de 2 a 8 kg de alfalfa henificada, de 2 a 5 kg de paja o rastrojo, y de 15 a 42 kg de nopal (*Opuntia spp*). El costo de la ración fluctúa entre \$ 10.00 y \$ 33.00 pesos por día. La producción de leche va de los 14 a 18 litros por día, con una media de 15.5 litros. En los ranchos ganaderos, el aprovechamiento del nopal forrajero (*Opuntia spp*) depende de las especies que estén presentes en los agostaderos; lo mismo sucede en el caso de los caprinos y ovinos. El 100 por ciento del nopal forrajero que se utiliza se obtiene de las poblaciones naturales existentes, que por haberse extraído en forma desmedida, han disminuido de manera desmedida. Ahora es necesario cosecharlo a distancias mayores de 100 km, cuando hace 20 años se cosechaba a distancias menores de 35 km de la ciudad de Saltillo. En las áreas de estudio, se localizaron sitios con las mejores poblaciones de nopal; se realizaron estimaciones de producción de biomasa en parcelas de 400 m², de las cuales la del ejido de Cosme, del municipio de Ramos Arizpe, resultó con la más alta producción, con una densidad de 2125 individuos/ha y una producción estimada de 49,039 kg/ha.

Para promover la rehabilitación de las áreas sobreutilizadas de nopal, se planteó el establecimiento de nuevas poblaciones con el sistema de plantación surcado Lister, con ocho variantes, las cuales se evaluaron durante seis años. Los tratamientos tres y cuatro fueron los que dieron mejor resultado, con un establecimiento del 88 y 97 %, y una producción, a los seis años, de 23 y 39 ton/ha, respectivamente; los tratamientos siete y ocho fueron los más malos, ya

que las plantas murieron al segundo año de establecidas. Los daños biológicos que presentaron todos los tratamientos los ocasionaron roedores, lagomorfos y hormigas.

Dentro de las características anatómicas de las especies de nopal en estado silvestre, se observó que el grosor de la cutícula fluctúa entre los 2.1 y 6.6 μm , a diferencia de las cultivadas, que va desde 8.1 hasta 16.2 μm . Sólo dos especies de las siete estudiadas (*Opuntia microdasys* y *O. rufida*) presentaron tricomas, que son característicos de la serie Basilares. El número de estomas fue menor en las especies que están mas cerca del suelo (*O. rastrera* y *O. microdasys*), con 24 por mm^2 , y 55 por mm^2 en las especies mas altas (*Opuntia cantabrigiensis* y *O. imbricata*). Los resultados citológicos de las ocho especies analizadas, siete nopales silvestres resultaron con $2n=2X=22$ (diploides), y sólo un nopal cultivado (*O. ficus-indica*) tuvo $2n=8X=88$ (octaploide). Los análisis bromatológicos, que se realizaron en cinco de las especies estudiadas, indicaron que el contenido de materia seca fluctúa entre 10 y 30 por ciento; la proteína varía de 6.6 por ciento en *O. lindheimeri* var *subarmata*, a 10.7 por ciento en *O. imbricata*. Estos datos se modifican según las especies, la época del año, la edad de la penca muestreada, etc. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca no tuvo diferencia significativa ($P > 0.05$) entre tratamientos. La *O. ficus indica* fue la más alta, con 63.99 por ciento, mientras que la más baja fue la *O. lindheimeri* var. *tricolor*, con 55.32 por ciento. La digestibilidad de la materia orgánica tuvo diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. De acuerdo a estos resultados, todas las especies y variedades de nopal pueden utilizarse en las dietas de mantenimiento para cubrir

parcialmente los requerimientos de los rumiantes, principalmente en las épocas críticas.

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

La deforestación y el uso inadecuado de los recursos naturales de las zonas áridas y semiáridas se incrementan en forma alarmante, lo que está provocando una desertificación acelerada de estas regiones. Este manejo y la destrucción de la vegetación nativa así como la polución ha propiciado que el clima se vuelva más impredecible y errático, razón por la que las áreas de temporal se vuelvan improductivas y se dejen de cultivar, para finalmente dedicarlas a la ganadería extensiva, y aprovechamiento de flora y fauna con intención económica (López, 1977).

Los estados del norte de México se caracterizan por ser productores de bovinos de carne y leche, de caprinos y ovinos, ya que cuentan con grandes extensiones de terreno que se dedican a la cría de estas especies. Sin embargo, uno de los principales problemas que se presentan en estas regiones, son las pocas lluvias y su irregularidad, además de la poca o nula disponibilidad de agua en el subsuelo, que generalmente es de mala calidad, lo que impide el uso de estas tierras para la producción de cultivos forrajeros en forma intensiva (López, 1998; Maldonado y Zapien, 1977; Malo, 1965).

En los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí, además de la producción extensiva de carne y pie de cría, en las áreas suburbanas existen gran cantidad de pequeños establos lecheros que utilizan el nopal forrajero en forma intensiva, en la dieta del ganado vacuno, hasta en un 60 por ciento de la ración (Fuentes, 1991; Fuentes, 1991).

Los ganaderos de estas regiones buscan la manera de producir carne y leche al menor costo posible. Por eso, además de utilizar gramíneas nativas, buscan aprovechar otras opciones forrajeras, como el nopal (*Opuntia spp*), maguey (*Agave spp*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), costilla de vaca (*Atriplex canescens*) y palma (*Yucca spp*), que generalmente crecen en estos agostaderos, también aprovechan los esquilmos de los cultivos de la región y de la industria (Martínez, 1994; López, 1998).

De estas plantas sobresale el nopal forrajero (*Opuntia spp*), que se encuentra ampliamente distribuido y representa, para los ranchos ganaderos y establos lecheros de los estados antes mencionados, una alternativa barata y confiable de forraje durante las épocas críticas, ya que en gran parte de estos estados existen condiciones climáticas muy variables de temperatura (mayores de 40 ° C y menores de -6° C) y de precipitación (desde 150 mm, hasta 500 mm), por lo que la producción de forrajes convencionales de temporal, en los agostaderos es muy reducida. Por otro lado, la pobreza de los suelos, que se caracterizan por ser someros, de mala calidad y de escaso contenido de nutrientes, propicia que el nopal, que es capaz de producir en estas

condiciones, adquiriera una gran importancia (Marroquín *et al.*, 1964; Rodríguez *et al.*, 1990; López *et al.*, 1996).

De las plantas nativas existentes en la región, el nopal es la que más se utiliza con fines forrajeros, con el inconveniente de que se cosecha irracionalmente, lo que provoca se reduzcan sus poblaciones naturales drásticamente (López, *et al.* 1996 y Flores, 1992). Además, estas poblaciones generalmente forman parte del matorral parvifolio inerme, en el cual la distribución de plantas es poco compacta y se asocia con el avance de la desertificación (Rodríguez *et al.*, 1996). Ante esta situación, se considera que es indispensable e impostergable que se definan estrategias de transformación de este sistema vegetativo e induzcan estados sucesionales progresivos que generen opciones productivas.

La problemática que se genera del uso del nopal forrajero estriba en la forma como se cosecha en poblaciones naturales, la cual se caracteriza por no seguir un patrón de utilización. Generalmente se extrae con todo y raíz (cosecha total), lo que provoca la reducción de sus poblaciones. Hasta hace 30 años el nopal se cosechaba en predios localizados en la periferia de Saltillo a unos 10 km de los establos. Actualmente se consigue a distancias mayores de los 120 km, lo que hace más costoso su traslado a los lugares de consumo. Los métodos que se utilizan para cosechar el nopal son destructivos, y pueden ser: extracción total de la planta, corte al ras del suelo, chamuscada en pie y consumo directo con espinas. Este último procedimiento puede dañar el hocico

y sistema digestivo de los animales, llegando a causar la muerte por inanición y, en otros casos, la ceguera provocada por los ahuates o espinas (Flores y Aguirre, 1992; López, 1977).

Durante los años 70's el consumo de nopal forrajero en la ciudad de Saltillo, Coah., equivalía a ocho camiones de 10 toneladas diarias, lo que hacía una cosecha de 80 toneladas, mismas que se utilizaban en 23 establos medianos (con más de 20 vacas por establo) y otros tantos pequeños, a un costo aproximado de \$ 550.00 pesos por camión. Para 1998 sólo existían 13 establos con aproximadamente 23 vacas por establo, y el costo era de \$1,400.00 por viaje; en el 2003 el costo del camión es de \$1,750 00. Todo el nopal utilizado procedía de nopaleras naturales.

En el caso de los pequeños establos productores de leche, se sostiene la idea de que el consumo de algunos nopales forrajeros incrementa la producción de leche en ganado bovino y caprino; sin embargo dicha información no ha sido comprobada. Para manejar las especies de *Opuntia* que se utilizan como forraje, es necesario conocer su distribución, estado actual, calidad nutritiva, sistemas de cosecha, su establecimiento y producción, con la finalidad de proponer opciones para tener un mejor manejo y una producción más estable (Figura 1.1), por lo cual se plantea este estudio con el siguiente objetivo general y objetivos específicos:

Objetivo general.

Analizar las especies forrajeras de *Opuntia* utilizadas en la ganadería, del sureste del estado de Coahuila, su distribución, manejo, utilización, relaciones ambientales, métodos ecológicos de establecimiento además de sus características histológicas, cromosómicas y nutricionales.

Objetivos específicos.

Identificar las especies de *Opuntia* y la distribución geográfica de los sitios de utilización, lo mismo que los aspectos nutricionales relacionados con la producción animal.

Evaluar estrategias ecológicas de establecimiento de nopal rastrero (*Opuntia rastera* Weber) en el sureste de Coahuila.

Estudiar histológica y cromosómicamente las principales especies forrajeras de *Opuntia* del sur de Coahuila y su relación con el valor nutritivo.

Evaluar el valor nutritivo de las principales especies forrajeras de *Opuntia* utilizadas en el sureste de Coahuila.

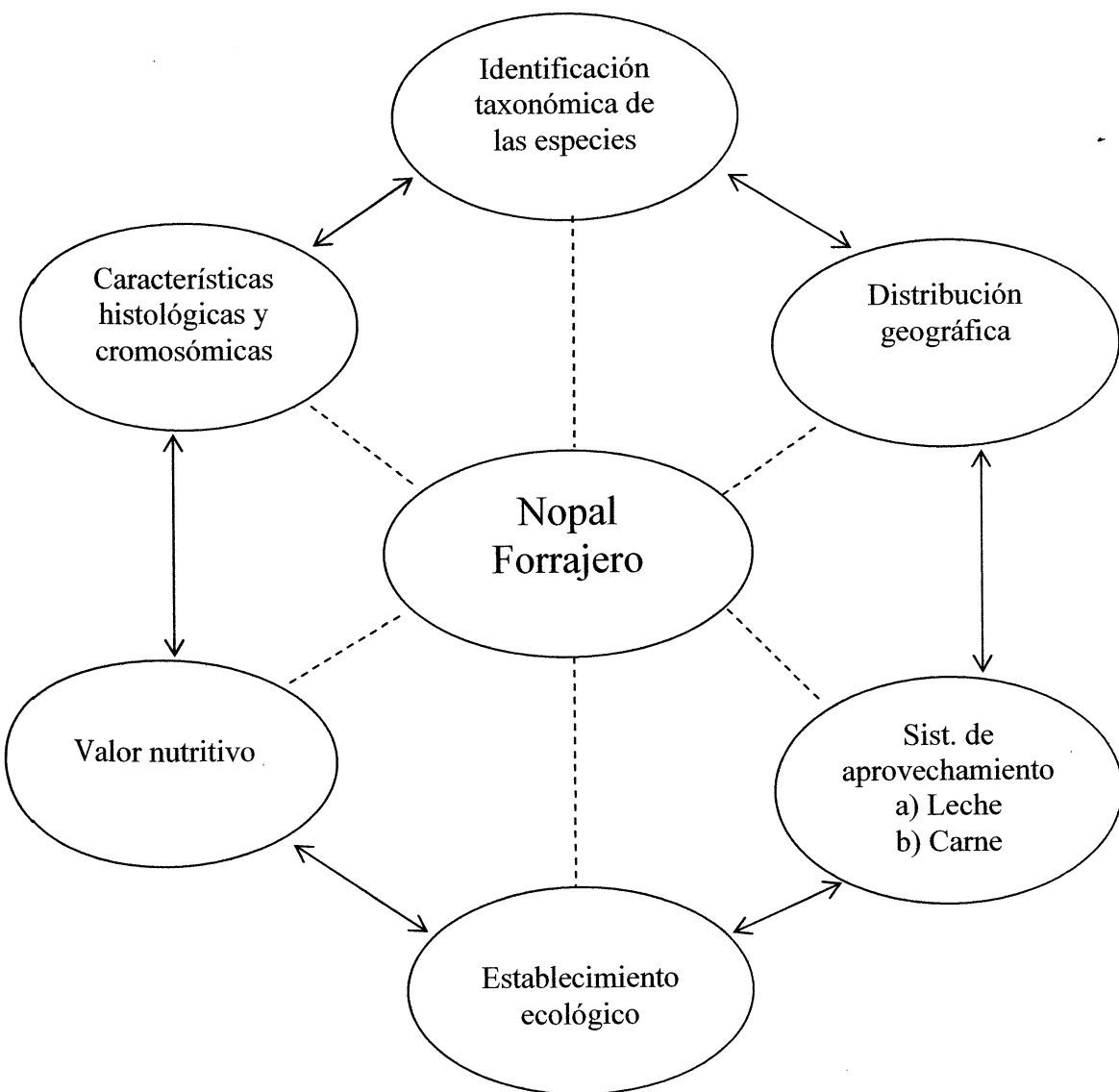


Figura 1.1. El nopal forrajero y sus interrelaciones ecológicas y económicas.

Hipótesis.

La alta variabilidad taxonómica, fisiológica, cromosomita, nutricional y productiva del nopal forrajero (*Opuntia spp*) utilizado por el ganado bovino lechero y de carne en el árido Coahuilense es determinante por su valor estratégico, económico y agroecológico. Así mismo se plantea que es posible rehabilitar, con fines ecológicos y económicos, los ecosistemas pecuarios deteriorados, mediante la plantación (establecimiento) de nopal.

REVISIÓN DE LITERATURA.

Importancia del nopal.

En el norte de México se localiza una vasta zona árida conocida como el Desierto Chihuahuense, ubicada en el altiplano mexicano, que incluye parte de los estados de Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León y Chihuahua, principalmente. Cuenta con una flora caracterizada por diversos tipos de plantas xerófilas y pastizales, de la cual sobresale la familia botánica de las cactáceas, tanto por la diversidad de sus especies, como por sus múltiples adaptaciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas, que le permiten tolerar las condiciones ambientales imperantes en esta zona, donde imprimen un sello característico al paisaje y constituyen, algunas veces, uno de los componentes más importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que conforman (Bravo, 1978).

Su presencia y dominancia se atribuye, en gran parte, al mal manejo que se ha ejercido en las gramíneas, excepto en las áreas que se considera una vegetación clímax (Marroquin *et al.*, 1964).

Los usos de las cactáceas son múltiples y muy variados, pero desde el punto de vista de la importancia forrajera resalta el género *Opuntia*, específicamente el subgénero *Platyopuntia*, conocido comúnmente como nopal, que se caracteriza porque sus artículos son aplanados en forma de raquetas, y porque posee un porte muy variado, ya que puede ser rastrero, arbustivo o francamente arborescente (Elizondo *et al.*, 1987). Las plantas de este género están ampliamente representadas y distribuidas en todos los tipos de vegetación, así como en los diferentes suelos que se presentan en esta región, lo cual las hace muy apreciadas, ya que pueden producir forraje en condiciones por demás desfavorables (Rzedowski, 1978).

Distribución de *Opuntia*.

Mundial. Durante la conquista de México los españoles llevaron a Europa gran cantidad de riquezas minerales, lo mismo que vegetales endémicos y exóticos. Uno de ellos el “nopal”, planta que se adaptó al sur de la Península Ibérica, de donde fue transportada a diferentes partes de Europa, África y Asia, donde forma parte común del paisaje. Las especies introducidas fueron principalmente productoras de fruta. De España fueron llevadas al norte de África, y se extendieron a Italia, Grecia, y otros países del Mediterráneo (Russell y Felker, 1987). Actualmente estas plantas se encuentran dispersas por Portugal, Marruecos, Argelia, Eritrea, Túnez, Grecia, Madagascar, Australia, Sudáfrica, India, Ceilán, Fiji, Hawai, Nueva Celedonia, Israel, Palestina, Líbano, Siria, Etiopía, Java, Pakistán, entre otros (Le Houerou, 1965; Monjauze y Le Houerou,

1965; Flores y Aguirre, 1979; Bravo y Sánchez, 1991; Pimienta, 1993). La intención de estos países, al introducir estas plantas, fue producir fruta, aunque con el tiempo se utilizaron como forraje y, actualmente se usan en forma de verdura, para el consumo humano; también se aprovechan para obtener subproductos para uso industrial, medicinal, en la construcción y para la reforestación de áreas degradadas (López, 1977; Pimienta, 1990; Bravo y Sánchez, 1991).

Continente Americano. Estas plantas se encuentran ampliamente distribuidas en todo el Continente Americano, aunque las especies y subespecies que comprende este género son en gran parte endémicas de América del Norte y de América del Sur. Las especies se distribuyen, principalmente, en las zonas áridas y semiáridas. Es en las altiplanicies donde se localizan las poblaciones más abundantes y de mayor porte, ya que se han encontrado plantas de más de siete metros de altura. Su distribución empieza al Norte, desde Alberta, Canadá, hasta la Patagonia, en Argentina (Bravo y Scheinvar, 1995).

La difusión de estas plantas ha cobrado mucho interés en varios países de América del Sur, como es el caso de la República de Perú, que está propagando variedades de nopal para producir grana cochinilla (*Dactylopius spp*), así como fruta y forraje; en la República Argentina se están introduciendo especies forrajeras sin espinas; en el Brasil se propagan especies con características forrajeras y se está experimentando con aditivos para elevar la calidad nutritiva del nopal cortado; en la República de Chile las especies que se

están reproduciendo son principalmente productoras de fruta, además de forrajeras, y en el norte de ese país se están propagando especies productoras de grana cochinilla (Flores *et al*, 1992).

México. Esta planta es endémica de México y es característica de las zonas áridas y semiáridas; se encuentra ampliamente distribuida en casi todos los rincones de la república, ya sea en forma natural o introducida, en las huertas de las casas, para delimitar las milpas, en las regiones tropicales se le encuentra en los jardines y hasta en macetas, como ornato; es muy utilizada como alimento por la gente de las zonas marginadas, que la han ido seleccionando y propagando en diferentes pueblos y comunidades. Bravo (1978) subdivide la Familia de las Cactáceas en tres sub-familias: *Pereskioideae*, *Opuntioideae* y *Cactoideae*. Es en la subfamilia *Opuntioideae* donde se encuentran los nopales, los cuales se distribuyen desde la frontera norte de México, hasta el sur, en el estado de Oaxaca. Sobresale la parte centro de México, donde se localizaron las poblaciones de nopal más grandes. La complejidad taxonómica del género *Opuntia* ha ocasionado una gran confusión y polémica, ya que diferentes autores reportan para México entre 100 y 250 especies que se encuentran en los paisajes de la República Mexicana (Anthony, 1956; Elizondo *et al.*, 1987).

México es uno de los países que cuenta con una fisiografía de las más accidentadas del mundo. Debido a las distintas condiciones orográficas,

geológicas y climáticas, se refleja una diversidad de tipos de vegetación, en las que sobresalen las zonas áridas y las tropicales (Rzedowski, 1978).

El norte de México es fisiográficamente una vasta zona que abarca gran parte del altiplano mexicano, en el cual queda inmerso el Desierto Chihuahuense, que ocupa por lo menos una cuarta parte del territorio, constituido por una secuencia de terrenos elevados, con serranías más o menos aisladas y llanuras que se continúan a través de las grandes llanuras del oeste norteamericano (Rzedowski, 1978).

La vegetación dominante está constituida por diferentes tipos de matorrales y pastizales que albergan una rica flora cactológica, en la cual sobresale el género *Opuntia*, constituido por una gran variedad de especies, que forman en algunas regiones grandes poblaciones naturales con altas densidades que varían enormemente, entre otras causas, debido a la poliploidia y a la hibridación que presentan, lo que se traduce en variaciones morfológicas individuales y poblacionales, lo que provoca una fuerte confusión en su clasificación taxonómica (Rzedowski, 1978; Rodríguez *et al*, 1992).

Características del género *Opuntia*.

Generales. Existen en el mundo 258 especies que comprenden este grupo, de las cuales 100 se encuentran en México. Su identificación es difícil debido al enorme polimorfismo que se produce por la hibridación, lo cual dificulta

distinguir las especies originales (Bravo, 1978). Estas variaciones se pueden deber a los cambios ambientales y ecológicos que se presentan en las zonas áridas, donde existe una gran diversidad fisiográfica, que produce muchos hábitats con el correspondiente desarrollo de diferentes poblaciones de nopales (*Opuntia spp*). Estas variaciones pueden ser de dos tipos: 1).- variaciones genéticas y 2).- variaciones ambientales. Las primeras son heredables y se dan por mutaciones y por recombinaciones. Las segundas son ecológicas y se consideran como resultantes de la influencia de los factores ambientales como la luz, el agua, los nutrientes, la temperatura y el suelo (Anthony, 1956; Jones y Luchsinger, 1979).

Dentro de las variaciones genéticas también contribuyen la poliploidía y la hibridación, lo cual se traduce frecuentemente en variaciones morfológicas, individuales y poblacionales de las cactáceas (Anthony, 1956).

Para el Desierto Chihuahuense se presentan varias especies de nopales (*Opuntia spp*), que se localizan en regiones ecológicas o en provincias fisiográficas, las cuales se caracterizan por tener ciertas condiciones diferentes en cuanto a clima, suelo, topografía, altitud, etc. (COTECOCA, 1979; Rodríguez *et al.*, 1990).

Taxonómicas. La clasificación formal de las cactáceas empieza a principio del siglo XIX, por De Candolle (1828), en su obra "Revue de la Famille des Cactees", quien ordenó los siete géneros establecidos en dos tribus que

denominó *Opuntiacées* y *Rhipsalídes*. Esta clasificación fue eliminada por presentar muchas irregularidades. En 1837, L. Pfeffer, en su obra "Enumeratio Diagnostica *Cactearum*" describió 10 géneros, a los cuales ordenó en dos divisiones. Dos años más tarde Lemaire, en su obra "Cactearum genera nova" (1839), propuso un nuevo sistema de clasificación y ordenó los géneros en dos tribus (Bravo, 1978).

En 1898, K. Schumann estableció un nuevo sistema de clasificación, en el cual consideró los 20 géneros clasificados por Slam-Dyck (1850) en tres subfamilias. Fue hasta 1923 cuando Britton y Rose aumentaron a 122 géneros, los cuales ordenaron en tres tribus: *Pereskioideae*, *Opuntidae* y *Cereoideae* (Bravo, 1978).

En 1963, Backeberg en su libro "Die Cactaceae", consideró 223 géneros. Para 1958 el botánico Buxbaum presentó a la Organización Internacional de Suculentas por sus siglas en inglés (IOS) su sistema de clasificación filogenético, arreglando los géneros en árboles genealógicos, en el cual se consideran 143 géneros (Bravo, 1978).

Bravo (1978) en su obra las "Cactáceas de México", se basa principalmente en Buxbaum (1958) donde divide la Familia *Cactaceae* Lindley en tres subfamilias: 1.-*Pereskioideae* Schum. 2.-*Opuntioideae* Schum. 3.-*Cereoideae* Schum. La Sub-familia *Pereskioideae* Schum se caracteriza por presentar plantas que crecen en las regiones tropicales de México. La Sub-

familia *Opuntioideae* Schum se diferencia de la anterior por encontrarse en todos los ambientes y distribuirse en toda la república mexicana. La familia *Cereoideae* Schum se encuentra ampliamente distribuida en todo el país y su número y formas son muy variadas, pues van desde grandes árboles, a plantas muy pequeñas, que pueden ser terrestres o epífitas.

En el presente estudio se trabajó en la Sub-familia de las *Opuntioideae* Schum que esta formada por dos tribus: 1.- *Phyllopuntieae* y 2.- *Opuntieae*. La tribu *Opuntieae* se divide en dos géneros: *Opuntia* y *Nopalea*. Sólo el género *Opuntia* (Tourn) Mill fue evaluado.

a) Agrupación taxonómica del género *Opuntia*. Las especies del género *Opuntia* son agrupadas por Bravo (1978) en cinco subgéneros: *Cylindropuntia* con 29 especies, *Grusonia* con ocho, *Corynopuntia* con 66, *Opuntia* con 65 y *Stenopuntia* con cinco.

Tribu *Opuntieae* (Britt. et R.) Backbe.

Género *Opuntia* (Tourn.) Mill.

Subgénero A.- *Cylindropuntia* Eng.

B.- *Grusonia* (Reichnb.) Bravo

C.- *Corynopuntia* (Knuth.) Bravo

D.- *Opuntia*

E.- *Stenopuntia* Eng.

Género *Nopalea* Salm-Dyck.

Clave de los Subgéneros.

A. Tallos cilíndricos o claviformes.

B. Tallos cilíndricos; hábito arbustivo o rastrero.

C. Artículos sin costillas

A. *Cylindropuntia*

CC. Artículos con costillas bien definidas

B. *Grusonia*

BB. Tallos claviformes; hábito generalmente rastrero

C. *Corynopuntia*

AA. Tallos en cladodio; hábito arbóreo, arbustivo o rastrero; frutos jugosos o secos.

B. Flores hermafroditas, con perianto que se abre ampliamente; segmentos del perianto delgados y anchos

D. *Opuntia*

BB. Flores unisexuales, con perianto poco extendido; segmentos exteriores del perianto carnoso y angostos.

E. *Stenopuntia*

Las plantas que se están estudiando se encuentran en los subgéneros *Cylindropuntia* y *Opuntia*, que se describen a continuación.

Subgénero *Cylindropuntia* Engelmann, Proc. Am. Acad. 3:287. 1856.

Plantas arbustivas o achaparradas; en el primer caso con tronco leñoso.

Las ramas están formadas por artículos cilíndricos, más o menos gruesos y tuberculados, generalmente con espinas cubiertas por una vaina. Fructifican en abundancia. Por lo general los frutos son secos y estériles, mientras que el pericarpelo es comúnmente prolífero, pues a expensas de sus aréolas se originan nuevas flores y frutos que al volver a proliferar dan origen a veces a largas cadenas de frutos. Cuando los frutos caen al suelo, enraízan, y producen nuevas plantas. Los artículos se desprenden fácilmente cuando sufren la acción de la sequía, vientos huracanados, lluvias torrenciales, o por el contacto de los animales, a cuyo pelambre se adhieren por medio de las espinas; esta

propagación vegetativa es su vía normal de reproducción, ya que los frutos muchas veces carecen de semillas. Estas plantas reciben varios nombres comunes como: cholla, tasajo, tasajillo, chirrioncillos, alfilerillos, abrojos, cardenches, cardos, cardoncillos o coyonoxtles.

De este subgénero, Bravo (1978), reconoce 29 especies que ordenó en nueve series, de las cuales dos fueron creadas recientemente. Las series son: I).- *Ramosissimae*, II).- *Leptocaulis*, III).- *Marenopuntiae*, 1V).- *Thurberianae*, V).- *Echinocarpae* VI).- *Bigelovianae*, VII).- *Imbricatae*, VIII).- *Fulgidae*, IX).- *Pseudogrusioniae*.

La serie VII es la más importante desde el punto de vista forrajero. Esta serie comprende seis especies distribuidas ampliamente en México. Su descripción taxonómica es la siguiente: arbustos erectos, muy ramosos, con troncos generalmente bien definidos, de los que salen ramas principales, casi siempre de la misma longitud que se ramifican varias veces. Artículos terminales gruesos, firmemente adheridos, con tubérculos prominentes, leñosos. Frutos carnosos al madurar, verdes, amarillos, rojizos o púrpuras; tubérculo liso, no espinoso, caduco o persistente, en algunas especies prolíficas.

Clave de las Especies

Clave de las Especies

- A. Fruto liso o ligeramente tuberculado, prolífero.
- B. Ramas muy gruesas, de unos 5 cm de diámetro o más *Opuntia cholla*

- BB. Ramas relativamente delgadas, de unos 2 cm de diámetro. . . . *Opuntia versicolor*
- AA. Fruto marcadamente tuberculado, no prolífero.
- B. Arbusto de 2 a 5 m de altura.
- C. Ramas relativamente delgadas; tubérculos del tallo de
7 a 20 mm de largo, en 5 series; vainas pronto caducas *Opuntia spinosior*
- CC. Ramas gruesas, tubérculos del tallo de unos 2.5 cm de
largo en 3 ó 4 series; vainas persistentes por un año *Opuntia imbricata*
- BB. Arbustos de 60 cm a 150 cm de altura; vaina blanca muy
conspicuas.
- C. Arbustos con troncos bien definidos; hábito en umbela;
flores de color de rosa púrpura *Opuntia rosea*
- CC. Plantas bajas, sin tronco bien definido, más o menos
cespitosas; flores amarillas *Opuntia tunicata*

La principal especie del Subgénero *Cylindropuntia* que se utiliza en forma
intensiva como forraje es la:

Opuntia imbricata (Howorth) De Candolle.

Arbustos hasta de 5 m de altura con más o menos abundantes
ramificaciones. Tronco corto, leñoso, bien definido, de unos 10 cm de diámetro,
del que parten ramas primarias escasas, muy largas, casi tan gruesas como el
tronco, las que a su vez producen varias series de artículos dispuestos en
seudo verticilos. Artículos de 12 a 35 cm de largo y de unos 2.5 a 3.5 cm de
diámetro; tubérculos dispuestos en 3 ó 4 series, muy prominentes, de 2 a 3.5
cm de largo. Hojas subuladas, de 1 a 2.5 cm de largo, caducas. Aréolas
grandes con glóquidas escasas. Espinas numerosas, 10 a 30 por aréola,
extendidas en todas direcciones, rectas, de 1 a 3 cm de largo, de color rojizo
moreno hasta rosadas, casi aciculares pero algo aplanadas, fuertemente

barbadas, con vainas blanquecinas, papiráceas y persistentes. Flores numerosas en la extremidad de las ramas, de 5 a 7 cm de diámetro, de color púrpura a púrpura rosado; pericarpelo tuberculado; segmentos del perianto angostamente obovados, de 2.5 a 3.5 cm de largo y 1.5 a 2 cm de ancho, ápice ampliamente redondeado, entero o algo crenado, ondulado. Fruto tuberculado, amarillo, carnosos cuando madura, sin espinas, abovoide, de 2.5 a 4.5 cm de largo y 2 a 3 cm de diámetro, muy umbilicado, persistente en el invierno. Semillas abundantes, lisas, de 2.5 a 3.5 mm de diámetro. Las plántulas son abundantes, pero sus probabilidades de sobrevivir son escasas. La multiplicación se hace más bien por los artículos de las ramas que se caen en época de sequía, y enraízan en la temporada de lluvias. La población rural emplea las ramas secas como combustible: las plantas vivas las usa como setos vivos y como pies de injerto. En la época de sequía suele usar las partes tiernas de la planta y los frutos como forraje. En México existen cuando menos cuatro variedades: A.- *imbricata*, B.- *argentea*, C.- *cardenche*, D.- *lloydii*.

Opuntia imbricata se encuentra ampliamente distribuida en el estado de Coahuila, y se utiliza como forraje en las épocas de sequía. También se le considera como una planta indicadora de sobrepastoreo.

Subgénero *Opuntia*.

Platyopuntia Engelm., *cact. Bound.* 47. 1858.

Plantas arborescentes, arbustivas o rastreras; con o sin tronco bien definido. *Artículos* aplanados (cladodios), lanceolados, elípticos, obovados

hasta suborbiculares, en las series *Chaffeyanae* y *Plumilae* subcilíndricos. *Espinas* sin vainas. *Flores* grandes; segmentos del perianto comúnmente amarillos, pero a veces de color de rosa, anaranjado o rojizo que pueden variar de tono después de abierto; lóbulos del estigma de 5 a 10, obtuso. *Fruto* más o menos globoso, ovoide hasta turbinado, llevando en el ápice la concavidad receptacular u ombligo más o menos profunda, desnuda después de caída de los segmentos del perianto, de los estambres y del estilo; pericarpelo con aréola que lleva glóquidas y espinas setosas; pulpa jugosa. *Semillas* como en el resto del género, lenticulares; testa clara; arilo ancho; embrión con hipocótilo y cotiledones grandes; perisperma bien desarrollado.

Se les llama comúnmente nopales y se encuentran ampliamente distribuidos en el continente americano; actualmente algunas de estas especies han sido introducidas en todo el mundo. Este subgénero tiene numerosas especies y variedades, que se agrupan en 17 series, las cuales son descritas por Bravo (1978).

Clave de las series

- A. Tallos subcilíndricos, delgados.
 - B. Tallos por lo común anuales I. *Chaffeyanae*
 - BB. Tallos perennes, espinas con punta retrobarbada II. *Pumilae*
- AA. Tallos discoideos
 - B. Fruto seco III. *Polyacanthae*
 - BB. Fruto carnoso (en *O. basilaris* seco cuando madura)
 - C. Especies postradas, artículos que se desprenden fácilmente. . . . IV. *Tunae*
 - CC. Especies postradas, arbustivas o arbóreas; artículos que no se desprenden fácilmente
 - D. Especies postradas.

- E. Aréolas pequeñas, próximasV. Basilares
- EE. Aréolas grandes y distantesVI. Opuntiae
- DD. Especies arbustivas o arbóreas; a veces postradas;
aréolas grandes y distantes
 - E. Fruto muy pequeño VII. Strigiles
 - EE. Fruto grande.
 - F. Espinas cuando presentes castañas o amarillas.
 - G. Espinas castañas al menos en la base.
 - H. Arbustos bajos hasta postrados. VIII. Phaeacanthae
 - HH. Arbóreos con tronco bien definido. IX. Elatiores
 - GG. Espinas cuando presentes amarillas,
al menos parcialmente.
 - H. Epidermis glabra X. Dillenianae
 - HH. Epidermis, al menos la del ovario,
tomentosa XI. Macdougalianae
 - FF. Espinas cuando presentes blancas (amarillas en
O. scheeri); especies generalmente arbóreas.
 - G. Epidermis tomentosa.
 - H. Espinas cuando presentes aciculares XII. Tomentosae
 - HH. Espinas setosas, flexibles. XIII. Leucotrichae
 - GG. Epidermis glabra.
 - H. Aréola con pelos largos más o menos
numerosas XV. Criniferae
 - HH. Aréolas sin pelos, a veces 1 ó 2
 - I. Plantas arbóreas; artículos verdes.
 - J. Sin espinas o con espinas cortas
y escasas XV. Ficus- indicae
 - JJ. Con espinas. XVI. Streptacanthae
 - II. Plantas arbustivas; artículos azulados . . XVII. Robustae

De las 17 series del subgénero *Opuntia* descritas por Bravo (1978), sólo las especies y variedades que se utilizaron se describen a continuación.

Para el caso de la serie *Basilaris* se describen dos especies: *O. microdasys* y *O. rufida*.

Opuntia microdasys (Lehmann) Pfeiffer.

Plantas bajas y cespitosas que forman matorral, de 40 a 60 cm de altura, a veces arbustos bajos y muy ramosos que llegan hasta 1 m de altura. *Artículos* oblongos u orbiculares, de 8 a 15 cm de longitud, puberulentos, de color verde pálido. *Aréolas* conspicuas, grandes, circulares, muy próximas entre sí, provistas de numerosísimas glóquidas de color amarillo oro o castaño. *Espinas* ninguna, rara vez una, amarilla. *Flor* de 4 cm de diámetro; pétalos amarillos con tinte rojizo; filamentos blancos; lóbulos del estigma 6 a 8, verdes. *Fruto* globoso, rojo oscuro, con aréolas numerosas que llevan abundantes glóquidas amarillas. *Semillas* pequeñas, de 2 a 3 mm de diámetro. *Distribución*: Desierto Chihuahuense, llegando hasta el estado de Hidalgo. *Usos*: es una planta ornamental y ocasionalmente se aprovecha como forraje.

Opuntia rufida Engelman.

Planta más o menos erecta, pero baja o rastrera, de 1.8 a 2.0 m de altura. *Artículos* casi orbiculares a cortamente ovales, de 6 a 25 cm, de color verde grisáceo oscuro hacia azulado, puberulentos. *Aréolas* no muy próximas, provistas de numerosas glóquidas castaño rojizas hasta rojizas. *Espinas* ausentes. *Flores* de 3.5 cm de diámetro, de color rojizo bronceado en el exterior y amarillo en el interior; lóbulos del estigma 5 a 8, amarilloso o verdosos; pericarpelo glabro, oblongo, de 1.5 cm de diámetro. *Fruto* rojo. *Distribución*: los estados de Coahuila y Chihuahua. *Usos*: como forraje en periodos prolongados de sequías.

Opuntia rastrera Weber.

Artículos circulares hasta obovados, los más grandes de unos 20 cm de diámetro, formando grandes cadenas. Espinas blancas con la base oscura, varias en cada aréola, la más larga de 4 cm de longitud; glóquidas amarillas. Flores amarillas. Fruto púrpura, ácido, obovado. Distribución: en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Coahuila. Usos: como forraje.

De la serie *Dillenianae* Britton et Rose, se tomaron una especie y dos variedades: *O. lindheimeri* var. *tricolor*, *O. lindheimeri* var. *subarmata* y *O. cantabrigiensis*.

Opuntia lindheimeri Engelm.

Se describe como una planta arbustiva, subrecta a postrada, de 1 a 3 m de altura, artículos obovados a orbiculares o raramente alargados, normalmente de 15 a 25 cm de longitud, Generalmente de 12 a 20 cm de ancho, de color verde y que tiende a verde azulado, más intenso conforme aumenta la latitud hacia el Oeste. Hojas angostamente cónicas de 3 a 9 cm de largo. Espinas presentes en la mayoría de las aréolas del artículo, salvo en las más basales, amarillas o a veces blanco amarillento, en ocasiones la base negra, morena o roja, de una a seis por aréola, generalmente una de ellas extendida, tubulada, de 12 a 38 ó hasta 50 mm de longitud, base de 0.7 cm de ancho. Flores de 5 a 8 cm de diámetro, segmentos exteriores del perianto obovados de 0.6 a 3.5 cm de largo, mucronados de color amarillo a verde

rojizo, estilo de 1.2 a 2 cm de longitud, de color amarillo verdoso, lóbulo del estigma de 6 a 8 y de 4.5 a 6 mm de longitud. *Fruto* carnosos, obovados o alargados de 3 a 7 cm de longitud por 2.5 a 3 y hasta 3.8 cm de diámetro. *Semillas* de color bayo claro, asimétricamente elípticas de 3 a 4 mm de largo, 2.5 a 3 mm de ancho y 1.5 mm de espesor. *Distribución*: esta especie es muy variable y está ampliamente extendida con sus muchas formas desde los estados de Luisiana, al sudoeste, al noreste de Nuevo México, al sudoeste de Arizona, al sudeste y sudoeste de Texas, y al centro de Oklahoma en EE.UU. En la República Mexicana se encuentra distribuida, principalmente, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Durango, Chihuahua, y en menor proporción, en Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí (Britton y Rose, 1973; Bravo 1978; Lamb y Lamb, 1983).

Opuntia lindheimeri var. *tricolor* (Griffiths).

Artículos determinados, obovados, aplanados, de 17.5 a 20 ó 25 cm de largo, de 15 a 17.5 ó 20 cm de ancho. *Espinas* 1 a 3 o hasta 6, presentes en casi todas las aréolas, de 5 a 7.5 cm de largo, amarillas con bases no rojizas. *Distribución*: En el estado de Texas, en los condados de Webb, Zapata, Duval y Cameron, en los llanos cercanos al Río Grande; en México, en los estados de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León. *Usos*: como forraje (Bravo, 1978).

Opuntia lindheimeri var. *subarmata* (Elizondo & Wehbe).

Arbusto, suberecto, generalmente de hasta 1.70 m de altura por 2.40 m de diámetro, sin tronco bien definido, las ramas de erectas a extendidas, hasta con 15 artículos; *Artículos* obovados más anchos que largos, de 20 a 33 cm de longitud, por 22 a 34 cm de diámetro y de 1 a 2 cm de grosor, epidermis glabra de color verde glauco. Los artículos basales lignificados, de 2.5 a 8 cm de grosor; *Aréolas* dispuestas de 5 a 7 series, en número de 60 a 100 por artículo, de elípticas a ovadas, a veces subcirculares, de 3 a 7 mm de longitud por 3 a 6 mm de diámetro, provistas de fieltro blanco amarillento; *glóquidas* presentes sólo en la parte inferior de las aréolas del borde del artículo, 35 o más, de hasta 6 mm de longitud, de color amarillo; *Espinas* casi siempre ausentes, cuando existen son escasas y pequeñas, se presentan en la parte superior de la aréola del borde del artículo, en número de 1 a 4, de 1.5 a 2.5 cm de longitud, ligeramente encorvadas, de color amarillo vítreo; *Flores* de 6 a 8 cm de longitud, de color amarillas verdosas; *Fruto* carnoso, obovado, de 3 a 4 cm de longitud por 2.5 a 3 cm de diámetro, de color purpúreo; *Semillas* escasas, dicotiledóneas, de más de 4 mm de diámetro, color negro con los bordes blancos rojizos. *Distribución*: en el sur del estado de Texas, en el Río Grande, desde Laredo hasta el Río Devil, y en la Sierra de La Paila, Municipio de Ramos Arizpe, Coahuila México. *Usos*: como forraje y ornamental (Elizondo y Weber, 1987).

Opuntia cantabrigiensis Lynch.

Arbustos redondeados, de 1 a 2 m de altura. *Artículos* orbiculares hasta obovados, de 12 a 20 cm de longitud, de color verde azulado pálido; hojas de color verde claro. *Aréolas* distantes, grandes, con fieltro moreno. *Espinas*, generalmente de 3 a 6, pero a veces más, algo extendidas, aciculares, amarillas con la base rojiza, de 1.5 a 5 cm de longitud; glóquidas numerosas, grandes, amarillentas o amarillo intenso, por lo general no agrupadas en haces. *Flores* de 5 a 6 cm de longitud, amarillentas con centros rojizos; aréolas superiores del ovario provistas de numerosas glóquidas y de largas cerdas amarillentas; lóbulos del estigma verdes. *Fruto* globoso como de 4 cm de diámetro, de color púrpura y pulpa carmesí. *Semillas* numerosas, pequeñas, de 4 mm de diámetro. *Distribución*: es muy común en los estados de San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo. También se encuentra, en menor proporción, en los estados de Coahuila, Jalisco y Guanajuato. *Usos*: como forraje, generalmente se le chamusca en pie (Bravo, 1978).

De la serie *Ficus-indicae* Britton and Rose (planta cultivada), se tiene una especie. *Planta* arborescentes, generalmente con artículos grandes. *Espinas* ausentes o muy escasas; cuando presentes, pequeñas y blancas. *Flores* grandes, comúnmente amarillas o anaranjadas. Son plantas cultivadas desde épocas prehistóricas, originadas, quizá, de especies que forman la serie *streptacanthae*. Presentan numerosas variedades y formas que son cultivadas por sus frutos y pencas comestibles, así como también por el uso forrajero de

sus pencas sin espinas, es una de las especies más ampliamente distribuidas y abundantes en el mundo (Bravo, 1978).

Opuntia ficus-indica (Linné) Miller.

Arborescentes, de tres a cinco m de alto, o más. *Tronco* leñoso bien definido, de 60 cm a 1.50 m de altura, y de 20 a 30 cm de diámetro. *Artículos* oblongos hasta largamente obovados, de 30 a 60 cm de largo, de 20 a 40 cm de ancho y de 1.9 a 2.8 cm de grueso, color verde opaco; integran ramas de varios artículos que forman una copa ramosa. *Aréolas* distantes, separadas entre sí de 2 a 5 cm, pequeñas, angostamente elípticas, de 2 a 4.5 mm de largo, 3 mm de ancho. *Espinas* casi siempre ausentes, cuando existen son escasas y pequeñas; *glóquidas* más o menos numerosas, amarillas, caducas. *Flores* de 7 a 10 cm de diámetro y de 6 a 8 cm de largo; segmentos exteriores de perianto ovados hasta ampliamente cuneados, obovados hasta angostamente cuneados, truncados hasta redondeados, enteros, mucronados o denticulados, amarillos hasta anaranjados; pericarpelo con algunas espinas pequeñas, caducas. *Fruto* oval de 5 a 10 cm de largo y 8 cm de diámetro, amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo, con abundante pulpa carnosa, algo umbilicado. *Distribución*: ampliamente cultivado en las poblaciones del altiplano mexicano. En Europa está distribuida en la cuenca del Mediterráneo (Bravo, 1978).

Genéticas. En el subgénero *Platyopuntia*, la taxonomía y su clasificación se complica debido al gran polimorfismo determinado por la hibridación (polinización cruzada), lo que le permite desarrollar adaptaciones morfológicas y fisiológicas, que aprovechan para ocupar una gran variedad de condiciones fisiográficas y agro climáticas extremas de las regiones áridas, semiáridas y tropicales (Bravo 1978; CONAZA, 1981; Ramírez, 1984; Gibson y Nobel, 1986).

Algunas especies del género *Opuntia* presentan una alteración morfológica y fisiológica como respuesta a los factores del medio ambiente en que se desarrollan y entre más amplia es la distribución mayor es la variación (Daubenmire, 1982).

Estas variaciones son debido a la poliploidía y a la hibridación que se presenta en las poblaciones naturales (Nobel, 1982).

A la vez, estas altas variaciones permiten la formación de razas locales y variedades ubicadas en diferentes regiones geográficas (Grant and Grant, 1979), las cuales complican su taxonomía y dan lugar a clasificaciones confusas y/o sinónimas.

a) Estudios histológicos y cromosómicos. Los estudios cromosómicos son una herramienta muy importante para los taxónomos, ya que se ha demostrado que existe una correlación positiva entre distribución y poliploidía en las especies de *Opuntia*. La poliploidía en estas plantas es muy importante,

ya que da como resultado cambios en las normas de reacción en el genotipo y permite, así, mayor flexibilidad ecológica (Sosa, 1964; Pinkava *et al*, 1985).

b) Cromosomas. Con los estudios cromosómicos realizados en especies del género *Opuntia* se apoya la teoría de que el número básico de cromosomas es ($x = 11$). En las nopaleras existe poliploidía sin embargo, se ha comprobado que se encuentran series que van desde las diploides ($2n=22$) hasta las octaploides ($2n=88$) (Sosa, 1964; Moore, 1973).

Barrientos (1972), afirma que es posible encontrar poliploides en forma natural, que se forman por la fusión de gametos no reducidos en la meiosis; y que es frecuente observar granos de polen gigante a los diferentes niveles de ploidía. El comprobar el tamaño de los granos de polen, también ha permitido la identificación de poliploides, ya que existe correlación casi perfecta entre el tamaño de los granos de polen y los diferentes niveles de ploidía que van desde $2X$ hasta $20X$ (Muñoz *et al*, 1995).

Se ha demostrado que existe una correlación positiva entre distribución y la ploidía en las especies del género *Opuntia* (Cain, 1944). La ploidía es importante ya que da como resultado cambios en la norma de reacción del genotipo, lo que permite una mayor flexibilidad ecológica (Cain, 1944).

Los primeros estudios citogenéticos de nopales en México los realizó Sosa (1964), quien estudió varias especies de *Opuntia* procedentes de los

estados de San Luis Potosí, Estado de México e Hidalgo, a los que les determinó el número cromosómico y el comportamiento meiótico.

Ramírez (1984), realizó un estudio cromosómico en 13 variedades del género *Opuntia* entre los que se encontraban *O. amyclaea* con seis variedades, *O. hyptiacantha* con dos variedades, *O. megacantha* con dos variedades, *O. ficus-indica* con una variedad, la *O. robusta* con una variedad y *O. engelmanni* con una variedad. Entre ellos se detectaron cinco clones resistentes al frío. El análisis citológico reveló que el número de cromosomas somáticos en todas las variedades fue de 88 (Cuadro 2.1).

En estudios de mejoramiento entran las especies que tienen una diferencia muy marcada en el número de cromosomas, con dificultad para realizar cruces entre dos grupos (Cock, 1978).

Se ha comprobado que los organismos en su interacción con el medio y en su afán de adaptarse, en muchas ocasiones originan cambios en su estructura o fisiología provocando una mutación en la especie (Aguilar, 1991).

Cuadro 2.1. Estudio cariotípico de variedades del género *Opuntia*, consideradas como forrajeras cultivadas y silvestres.

Nombre común	Especie	# de crom.	Fuente
Clon 2	<i>O. streptacantha</i>	88	Gallegos 1969
Clon 1-3	<i>O. elgelmanni</i>	44	Gallegos 1969
Sauceda 2	<i>O. pubescens</i>	44	Gallegos 1969
Conc. De Oro,Zac.	<i>O. piheacantha</i>	132	Gallegos 1969
Clon 12	<i>O. engechannii</i>	66	Stocwell 1933
Clorotica	<i>O. clorotica</i>	11	Pinkava et al 1977
Santa Rita	<i>O. santa rita</i>	11	Pinkava et al 1977
Violaceo	<i>O. violacea v.v</i>	11	Pinkava et al 1977
Rastrero	<i>O. pheacantha v.p</i>	33	Pinkava et al 1977
Segador	<i>O. basilaris</i>	11	Pinkava et al 1973
Castilla	<i>O. ficus-indica</i>	44	Pinkava et al 1973
Tapón	<i>O. robusta</i>	22	Sosa 1964
Tapón	<i>O. robusta</i>	44	Sosa 1964
Cegador	<i>O. basilaris</i>	11	Moore 1973
O.p	<i>O. pheacantha</i>	33	Moore 1973
Rastrero	<i>O. pheacantha var.discatha</i>	33	Moore 1973
Rastrero	<i>O. pheacantha var.major</i>	33	Moore 1973
Rastrero	<i>O. pheacantha var.pheacantha</i>	33	Moore 1973
Morado	<i>O. violacea var.violacea</i>	22	Moore 1973
Castilla	<i>O. ficus-indica</i>	44	Moore 1973
Cegador	<i>O. basilaris</i>	11	Goldblatti 1980
Castilla	<i>O. ficus-indica</i>	11	Goldblatti 1980
Cardenche	<i>O. imbricata var.arge</i>	22	Goldblatti 1980
Cardenche	<i>O. imbricata var.im</i>	22	Goldblatti 1980
Tasajillo	<i>O. leptocaulis</i>	44	Goldblatti 1980
Tasajillo	<i>O. leptocaulis</i>	11	Goldblatti 1980
Rastrero	<i>O. pheacantha var.discata</i>	33	Goldblatti 1980
Rastrero	<i>O. pheacantha var.spinucibaca</i>	22	Goldblatti 1980
Cegador	<i>O. rufida</i>	22	Goldblatti 1980
Morado	<i>O. violacea</i>	22	Goldblatti 1980
Clon 40	<i>O. megacantha</i>	88	Ramírez 1984
Clon 32	<i>O. ficus-indica</i>	88	Ramírez 1984
Clon 42	<i>O. robusta</i>	88	Ramírez 1984

Nutritivas. El uso del nopal en la alimentación humana, en animales domésticos y en la fauna silvestre ha sido muy importante, sobre todo para las regiones áridas del norte de México. Aunque la calidad alimenticia del nopal se

cuestiona sobremanera, pues se considera un alimento pobre en nutrientes y fibra, pero rico en agua, para los habitantes de las regiones áridas resulta una planta que les permite subsistir y mantener a sus animales, sobre todo en las épocas de sequía y en el invierno. En el caso de los animales domésticos, el nopal se usa como una dieta de mantenimiento junto con esquilmos agrícolas e industriales.

Las Características generales del nopal:

a) Agua. El nopal está adaptado para ser una fuente de almacenamiento de agua, que administra celosamente durante los meses de sequía. El contenido de agua puede variar desde un 93 por ciento en pencas jóvenes y cultivadas menores de un año (*Opuntia ficus-indica*), hasta un 70 por ciento en variedades silvestres (*Opuntia imbricata*), en épocas de sequía (López, 1998, Pimienta, 1988).

b) Análisis bromatológicos. Los resultados de los análisis bromatológicos varían mucho, ya que éstos se ven influenciados por factores fisiológicos, edáficos, climáticos y ambientales, entre otros (López, 1998).

En la mayoría de los trabajos que sobre este particular se han realizado desde 1906 a la fecha, se observa una variación significativa entre las diferentes especies, e incluso entre la misma (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (% en base a materia seca). (Flores y Aguirre, 1992).

Genotipo	Materia Seca	Materia Orgánica	Proteína Cruda	Grasa Cruda	Fibra	Cenizas	E.L.N	Autor
<i>Nopalea spp</i>	10.69	73.79	8.92	1.51	17.21	26.21	50.7	Griffiths y Hare, 1906
<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	"
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.44	68.87	"
<i>O. rastera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	"
<i>O. azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	59.84	"
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	"
<i>O. engelmanni</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32	"
<i>O. lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75	"
<i>O. lindheimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	"
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	"
<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	"
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	"
<i>O. cacanapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.21	27.49	54.04	"
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16	"
<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>	11.29	86.93	3.81	1.38	7.62	13.07	74.13	"
<i>var. Amarillo oro</i>								
<i>O. ficus – indica</i>	13.36	81.55	3.66	1.76	9.18	18.45	69.95	Baurer y Flores, 1969
<i>O. spp.</i>	10.01	-----	5.71	3.01	8.11	12.01	55.01	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. ficus-indica</i>	8.01	-----	6.81	1.01	-----	8.88	81.25	"
<i>O. ficus-indica</i>	7.96	-----	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	"
<i>O. imbricata</i>	10.41	-----	5.01	1.81	7.81	17.30	68.11	"

E.L.N = Extracto Libre de Nitrógeno.

c) Sales minerales. A pesar de su importancia forrajera, el contenido de cenizas de los nopales ha sido poco analizado tanto en el país como en el mundo; sin embargo, de los pocos reportes que existen, están los citados por Bravo (1978) en su libro *Las Cactáceas de México*.

Según los reportes publicados, los principales minerales del nopal son Calcio y Potasio; en menor proporción, Magnesio, Sílice, Sodio; y en mínimas cantidades, Hierro, Aluminio y Manganeso, que predominan en forma de carbonatos, aunque también se encuentran como cloruros, sulfatos y fosfatos.

d) Digestibilidad. Es un concepto que indica la cantidad o porcentaje de un alimento que aprovecha el animal. La cantidad de nutrientes digestibles del nopal es variable, según la época del año (Cottier, 1934, citado por Flores y Aguirre, 1992). Esta relación es indirecta, pues los factores ambientales y fisiológicos que determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas en el año y a través de los años son muy variables; esto es lo que realmente afecta el valor nutritivo (Revuelta, 1963) (Cuadro 2.3 y 2.4). En 1956, Morrison realizó ocho experimentos con una variedad de nopal (*Opuntia spp*), en los que determinó los siguientes valores del coeficiente de digestibilidad (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.3. Variación en el contenido de nutrientes digestibles de nopal inerme (sin espinas). (Cottier, 1934, citado por Flores y Aguirre, 1992).

Estación	Proteína Cruda	Extracto Etéreo	Extracto Libre de N.	Celulosa
Invierno y Primavera	0.2 - 0.3	0.08 - 0.12	3.0 - 5.5	0.4 - 1.0
Verano y Otoño	0.3 - 0.4	0.15 - 0.16	6.5 - 11.0	0.8 - 2.0

Cuadro 2.4. Nutrientes digestibles en las pencas de diferentes especies y edad de nopal (Revuelta, 1963).

Variedad	P.C	E.E	Fibra	E.L.N.
Espinoso	%			
Pencas de un año	2.4	1.4	4.3	5.22
Pencas de dos años	2.1	1.7	5.1	4.73
Inerme				
Pencas de un año	2.2	1.7	4.9	4.81
Pencas de dos años	1.8	1.9	6.3	4.39

P.C = Proteína cruda, E.E= Extracto etéreo, E.L.N = Extracto Libre de nitrógeno.

De acuerdo a los estudios realizados sobre la digestibilidad del nopal en bovinos, se observa que ésta es muy variable, ya que va desde el 12 por ciento Hare (1908), hasta la más alta de 71 por ciento reportada por Woodward *et al* (1905), así como una gran variación entre estas (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Digestibilidad del nopal por varios autores.

Especie	Digestibilidad (%)	Autor
<i>Opuntia sp</i>	71.9	González, 1964
<i>Opuntia sp</i>	71.5	Woodward et al., 1915
<i>Opuntia sp</i>	44.0	Morrison 1956
<i>Opuntia sp</i>	63.3	Flores, 1977
<i>Opuntia sp</i>	12.0	Hare, 1908
<i>Opuntia sp</i>	64.7	Terblanche, 1971
<i>Opuntia sp</i>	58.5	Terblanche, 1971
<i>Opuntia sp</i>	42.5	Belasco, <i>et al.</i> , 1958
<i>Opuntia sp</i>	48.0	Gutiérrez, 1994
<i>Opuntia sp</i>	28.0	Gutiérrez, 1994

Cuadro 2.6. Digestibilidad *in vitro* (Materia Seca) en cinco especies de *Opuntia spp* (Montes, 2003.)

Especie	Digestibilidad (%)	Autor
<i>Opuntia ficus-indica</i>	45	Montes, 2003
<i>Opuntia imbricata var. Subarmata</i>	36	Montes, 2003
<i>Opuntia imbricata var. tricolor</i>	34	Montes, 2003
<i>Opuntia imbricata</i>	41	Montes, 2003
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	32	Montes, 2003

Cuadro 2.7. Coeficiente de digestibilidad del nopal (*Opuntia sp.*) en porcentaje (Morrison, 1956).

Proteína Cruda	Extracto Etéreo	Fibra	Extracto Libre de Nitrógeno
(%)			
44	72	40	78

En ovinos la digestibilidad de nopal es mayor a los bovinos como se observa en los resultados obtenido por varios autores (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Digestibilidad de nopal en ovinos.

Especie	Digestibilidad (%)	Autor
<i>Opuntia sp</i>	56	Vison, 1911
<i>Opuntia sp</i>	58	Maymone y Massini, 1960

El uso de aditivos como sulfato de amonio y levadura con nopal pueden ser un buen sustituto proteico en la ración de cerdos cruzados como lo demuestran los resultados obtenidos de este trabajo, en el cual se concluye: que la biomasa de nopal no afecta el desarrollo normal de los cerdos criollos productores de carne comercial en etapa de finalización ni en ninguna otra. Así mismo, se observa que no afecta de manera significativa ($P>0.05$) el consumo de alimento ni la eficiencia y conversión alimenticia. Se infiere que el nopal puede ser precursor

de crecimiento rápido en los animales gracias al efecto de la levadura y la digestibilidad de proteína cruda (P.C) (Rodríguez, 2000).

Usos del nopal.

Mundial. Europa fue la puerta de entrada del nopal, cuando se introdujo como una planta exótica que producía un fruto de agradable sabor, la cual se utilizaba y veneraba por los nativos de las américas (Rojas, 1961).

De Europa fue llevada a África y distribuida en el norte y sur del continente. Ahí se le dio un uso intensivo como fruta y forraje, y llegó a representar una fuente importante en la alimentación humana. En algunos países la adaptación de esta planta fue muy buena, para otros representó un problema y se le consideró como una planta invasora (Flores, 1977; Brutsch, 1997).

En Asia, todos los países que se localizan dentro de las regiones áridas y semiáridas cultivan el nopal para la producción de fruta y forraje, para algunos representa una fuente importante de divisas. El forraje lo utilizan para alimentación de ganado vacuno, caprino y ovino, principalmente (Flores, 1977).

En Oceanía, Inglaterra introdujo el nopal en Australia. Se adaptó tan bien, que se encuentra ampliamente distribuido. Al no encontrar predadores naturales (plagas y enfermedades), esta planta provocó una invasión a tal

grado, que se le consideró una planta nociva e invasora, para lo cual se establecieron sistemas de control mecánicos, manuales y biológicos. Actualmente el nopal se encuentra diseminado en todo el país y juega un papel importante en la alimentación de bovinos y ovinos, que mejoran la calidad de la lana que producen, al incrementar la lanolina (Villarreal, 1958; Rojas, 1961; Revuelta, 1963).

En América del Sur, en países como Argentina, Brasil, Perú y Chile, el uso del nopal se ha incrementado en forma importante para producir fruta y forraje, así como grana cochinilla. La sobre utilización y degradación de los pastizales, provocada por el uso desmedido y mal manejo, provocó una acelerada desertificación, lo que ha causado pérdida de suelo e impedido una rápida recuperación de los ecosistemas, por lo que se han buscado especies como el nopal para recuperar estos ecosistemas (Hoffman, 1979; Flores, 1977).

México. En México el uso de nopal como forraje, empezó con la introducción de especies animales domésticas (bovinos, caprinos, ovinos) por los españoles, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas donde la producción de forraje era muy escasas el mal manejo de las haciendas y la sobrepoblación de animales, provocaron una utilización desmedida de los pastizales nativos, lo que propició se recurriera a otras especies forrajeras nativas de menor calidad, como el nopal y el maguey (Bravo, 1978; Esparza, 1988).

El uso del nopal en México se puede dividir en tres épocas:

a) Época precortesiana. Se tiene información del uso del nopal desde la época precortesiana. Existen descripciones que indican que esta planta era considerada sagrada, pues muchas tribus la utilizaban en sus ritos sagrados como divina; también lo usaban como emblema, en la medicina, para el consumo humano y para la construcción (CODAGEN, 1979).

Las tribus fueron seleccionando las mejores plantas de nopal para sus propósitos, ya fueran medicinales o rituales, o como fruta y verdura. Se cultivaban en sus huertos o solares para reproducirlas e intercambiarlos con otras tribus. Esta práctica se sigue realizando en los huertos y solares de las rancherías y ejidos, donde se localizan las mejores variedades productoras de fruta y verdura (Bravo, 1978; López, 1977).

Existen referencias de las tribus nómadas que habitaban en el noreste de México y sur de Texas, USA que usaban el nopal (*Opuntia spp*) como alimento principal, junto con otras plantas como el mezquite (*Prosopis spp*), el maguey (*Agave spp*) y las palmas (*Yucca spp*) (Russell *et al.*, 1987).

Clavijero, 1789, en su trabajo Historia de Nuevo León con noticias sobre Coahuila, describe a las tribus como bárbaros, nómadas, que vivían de la caza, la pesca y la recolección; en los montes y en las cuevas de las cañadas, en grupos de 10 a 15 familias, y que sólo se juntaban para pelear. Las chozas las

construían con carrizo, zacates, albarda, quiote y tierra (lodo). Tenían forma de campana, con una lumbré en el centro. Solían andar enteramente desnudos, y solamente se ponían unas sandalias hechas de fibra de maguey y zacates, atadas con correas para defenderse de las espinas. Usaban el cabello largo hasta la cintura; se pintaban la cara, cada nación con diferentes rayas; sólo cubrían sus partes íntimas con heno y zacates, así como con tejidos de fibra de lechuguilla. Sabían curtir los cueros, principalmente el del venado, que utilizaban en las épocas de frío como cobija. Estas tribus comían en invierno mezcla, que hacían cortando las pencas de la lechuguilla y el maguey, y cocinando en barbacoa el corazón y el principio de las hojas; en la primavera y el verano comían la flor de la tuna y las tunas mismas; cocían las tunas en barbacoa y las almacenaban, y cuando maduraban, tiraban los hollejos (cáscara) y las convertían en pasa al ponerlas al sol. Lo mismo hacían con el mezquite, que molían en sus morteros y guardaban para las épocas más difíciles. A este alimento le daban el nombre de mesquitamal. También comían frutos silvestres y raíces, así como miel de abeja. Eran grandes cazadores de venado, conejo, aves, reptiles y roedores, excepto sapos y lagartijas (Clavijero, 1789; Robles, 1986; Arreola, 1996).

Los indios comían nopal tierno, y en épocas de seca, cuando la sed arreciaba, consumían la pulpa de los nopales maduros para mitigarla. Algunas tribus usaban las pencas más grandes para el transporte de agua, como cantimploras, a las que les sacaban el mucílago por un pequeño orificio, dejando la cutícula intacta, lo que hacía el cladodio impermeable. Muchas

tribus de estas regiones emigraban en el verano a los lugares donde existían grandes extensiones de terreno cubiertas por bosques de plantas de nopal, que producían buena fruta y duraba hasta cuatro meses o más, según se presentaran las primeras heladas. Este periodo se consideraba el mejor del año, ya que la dieta principal de los indígenas era a base del fruto del nopal y algunos animales, según Bravo y Scheinvar (1965).

b) Época de la conquista. En la primera etapa de la conquista, los primeros colonizadores se dedicaron a la extracción de minerales. Las necesidades de consumo de carne la cubrían a partir de la fauna silvestre de la región, pero la excesiva explotación de este recurso, provocó la necesidad de presionar a la Corona Española para que levantara la prohibición de importar ganado vacuno, caprino y ovino a la Nueva España, de las islas de Cuba y Santo Domingo. Con la introducción de los animales domésticos, al no encontrar competencia de la fauna nativa, la ganadería en el nuevo continente presentó un desarrollo tal, que provocó una degradación en los pastizales y se empezó a ejercer una presión fuerte sobre otros recursos naturales que, anteriormente, no se utilizaban como forrajes, como el nopal (*Opuntia spp*), el maguey (*Agave spp*), el mezquite (*Prosopis spp*), la palma (*Yucca spp*), entre otros. Fue tal el crecimiento de la ganadería en los primeros años del virreinato, que ocasionó el derrumbe de los precios, al grado de que el orralde de res (1840 gramos de carne) que se vendía en la ciudad de México en 70 maravedíes en 1532, cayó a 17 en 1538, y a cuatro en 1542, lo que no hacía muy atractiva esta actividad (Esparza, 1988).

El desarrollo de la ganadería y el mal manejo de los agostaderos ocasionaron que en las épocas de sequía e inviernos, los problemas de la alimentación de ganado fueran muy alarmantes, lo cual provocó la muerte de centenares de animales y, en consecuencia, el bajo suministro de carne a los principales centros de población. Se tienen referencias de que el uso del nopal como forraje se inicio desde estas épocas, pero el consumo del nopal, generalmente era directo, con los consecuentes daños para los animales por las espinas. La mayor parte de las haciendas utilizaban el nopal principalmente para el ganado estabulado, productor de leche. El nopal se cortaba y se transportaba en carretones a los lugares de consumo. El uso del nopal era muy común, ya que se creía que estimulaba la producción de leche y, frecuentemente, era el único forraje succulento que se les daba en invierno y en las épocas de sequía prolongada (Griffiths, 1905; Lozano, 1958).

En 1907 el uso del nopal se generalizó tanto, que las haciendas de Zacatecas, las de Troncoso y las de la región cosechaban y trasladaban grandes volúmenes, a tal grado que los costos por el traslado y quema con leña para quitar las espinas se elevaban mucho, por lo cual se importaron los primeros quemadores de nopal "B&H., de la casa H. Goldschmidt & Co., de San Antonio, Texas (Esparza, 1988).

En su libro *Historia de la Ganadería en Zacatecas*, Esparza (1988), hace referencia, que en las épocas de sequía o de invierno el nopal, mezquite y maguey eran utilizados como forraje. Las nopaleras formaban montes casi

impenetrables, lo que hacía difícil buscar los animales domésticos en época de herradero. Estas nopaleras estaban compuestas por plantas que median más de siete metros de alto, como el nopal cardón (*Opuntia streptacantha*) y el nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*), mismos que hasta la fecha se siguen utilizando como forraje (Lozano, 1958; Marroquin *et al.*, 1964; López, 1988; Velásquez, 1962).

c) Época actual. La difusión del nopal por los españoles en todo el mundo dio como resultado que actualmente este género se encuentre ampliamente distribuido, y que en muchos países lo cultiven para la producción de fruta, verdura, forraje, así como en la medicina, industria, etc.

Establecimiento ecológico de nopal forrajero.

El nopal se presenta como un recurso importante para la estabilidad económica y social de los habitantes del centro y norte de México, especialmente en el Desierto Chihuahuense (López, 1977). Esta zona comprende la región más extensa, donde el nopal forrajero de porte arbustivo y rastrero se desarrolla en forma natural (López y Elizondo, 1988). En el Estado de Coahuila la distribución del nopal rastrero se restringe hacia el suroeste (López *et al.*, 1991).

El problema fundamental por el que este recurso ha perdido impacto, es la intensa explotación a la que es sometido, lo que no permite llegar a su

producción potencial (Medina *et al.*, 1990). Así, desde principios de este siglo y hasta los años 70's, el aprovechamiento del nopal se incrementó en los establos. La presión se ha acrecentado a tal grado, que cada vez se tiene que ir más lejos a cosechar esta planta (Marroquín *et al.*, 1964). En la actualidad este panorama no ha cambiado; la acción antrópica de los ganaderos sobre las nopaleras, se vea reducida claramente. Lo cual hace que su distribución sea cada vez más irregular. Existen pocos lugares con altas densidades y elevada producción; existen otros que ocupan mayor superficie, pero que están desprovistos de nopal, por lo que se ha considerado necesario regularizar no sólo la arquitectura de la planta, sino la estructura espacial de la población a través de raleos y de plantaciones intercaladas (Gastó *et al.*, 1981). Así, en algunos estudios (López *et al.*, 1996 y López *et al.*, 1977) se ha demostrado que el potencial productivo de la nopalera es superior a su productividad real, por lo cual no sería éste, un factor limitante inmediato para su desarrollo (Trujillo, 1991).

Sin embargo, las circunstancias sociales, económicas y políticas en las que enfrenta el país, dificultan a los productores del semidesierto la implementación de estrategias de restauración que requieren del uso de maquinaria y gran cantidad de recursos económicos, lo cual los limita a la poca productiva ganadería de caprinos y bovinos criollos, en pastizales generalmente degradados, y a la recolecta de plantas xerófilas como la candelilla y la lechuguilla, que dado los precios de sus subproductos que prevalecen en el mercado, únicamente les sirve para subsistir (CONAZA, 1981).

En base a lo anterior, se puede asumir que lo más recomendable es desarrollar las estrategias ecológicas, como la construcción de estructuras de captación de agua para ayudar al establecimiento de especies económicamente importantes, que sirvan para detener los procesos erosivos, pero que sean simples de realizar y con costos bajos, tales como las “microcuencas tipo media luna” en la isla de fertilidad de arbustivas y el surcado Lister, lo que biológicamente es viable, ya que hasta en años de baja precipitación (100 mm) es posible establecer el nopal rastrero (Rodríguez y Martínez 1996; Rodríguez *et al.*, 1997). En surcado Lister se presentan fuertes daños por liebres, aunque regularmente logra establecerse. Sin embargo, después de dos periodos de lluvia la sobrevivencia alcanza más del 95 por ciento (López *et al.*, 1997). Esta actividad, además de atacar el problema de la desertificación, se generan fuentes de empleo en el campo.

Aquí se describirán sólo una estrategia de establecimiento, las cuales se pueden considerar de tipo ecológico, que según los autores son las más recomendables y apropiadas para los productores del semidesierto de nuestro país. Estas estrategias en combinación con las especies de nopal y maguey adecuadas, permitirán el desarrollo de sistemas silvoagropecuarios pertinentes, y en forma más importante, de silvopastoriles (López, 1997; Tompson, 1974)

El surcado “Lister” consiste en utilizar arado de vertedera, distanciando los surcos un metro, aproximadamente y a una profundidad de alrededor de 35 cm. Se realiza en curvas a nivel entre las que se dejan franjas de vegetación

nativa sin trabajar. La plantación se hace en pozos construidos con azadón y/o pala, a una distancia de 1.5 a 2.5 m, según la precipitación (menor a 250 y mayor a 200 mm anuales de lluvia). Para la microcuenca de tipo media luna en la "isla de fertilidad", se eligen las arbustivas de mejor porte. Alrededor de ellas se efectúa un bordeado semicircular con azadón o pala, y se deja abierto el lado aguas arriba para favorecer la captación de los escurrimientos. La plantación se hace por poceo, en sitios ubicados preferentemente en el lugar donde dé la sombra después del medio día (Rodríguez *et al.*, 1997).

Aspectos fisiológicos y fotosíntesis.

Las plantas del género *Opuntia*, por las condiciones de aridez donde crecen, presentan hábitos y estructuras anatómicas de adaptación altamente especializadas, lo que les favorece una fisonomía particular, por lo que se consideran vegetales muy evolucionados (Bravo, 1966).

Algunas de las características de adaptación más notables que el tallo adquiere en relación con la aridez, aquéllas que le permiten almacenar el agua en sus tejidos son : el gran desarrollo de los parénquimas, responsables de la succulencia; la reducción de la superficie transpiratoria, al adquirir formas obovadas; la atrofia hasta estados vestigiales del limbo de las hojas o su transformación en escamas, espinas y glóquidas; el engrosamiento de la cutícula y de las membranas celulósicas de los tegumentos; la pruinosis o las excrecencias cerosas de las células epidérmicas; la disminución y disposición

hundida de los estomas. A dichas adaptaciones hay que agregar las que facilitan la absorción rápida del agua como la longitud que adquieren algunas raíces tuberosas claviformes de ciertas especies. El sistema de absorción tiene que adaptarse para captar el agua con rapidez, ya que las lluvias en estas regiones son torrenciales, y de corta duración, por lo cual la planta desarrolla una ramificación y longitud extraordinaria (hasta de 15 metros), que se extiende horizontalmente a una profundidad mínima de 1.5 a 5 cm del suelo (Sudzuki, 1995; Barrientos, 1983; Granados y Castañeda, 1991, Pimienta *et al*, 1995).

El género *Opuntia* está provisto de una gruesa cutícula impermeable formada por estomas hundidos, cubiertos con una gruesa película de cutina que impide la evaporación del agua y proporciona resistencia a las células (Bravo, 1978).

Los estomas que se localizan en la epidermis impermeable operan como reguladores de la pérdida de agua entre las hojas y la atmósfera seca circundantes; sin embargo, los estomas son el sitio de entrada de CO₂, por lo que una reducción de la pérdida de agua a través del control estomatal, tiene como consecuencia una reducción del CO₂, y por lo tanto, en la productividad (Mauseth, 1984).

Para que el mantenimiento del balance hídrico interno en la planta sea efectivo, los estomas se deben cerrar firmemente y la pérdida de agua se efectuará sólo a través de la cutícula (Turner *et al.*, 1942).

Otra característica importante es que el género *Opuntia* se encuentra entre las plantas que tienen el ciclo CAM (metabolismo ácido crasuláceo) que se caracteriza por la asimilación nocturna de CO₂, por lo que forma ácidos orgánicos seguidos de la conversión diurna a compuestos naturales (Osmon, 1975). En los órganos fotosintéticos de la mayoría de las plantas suculentas con metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) como lo es *Opuntia*, desempeñan un papel muy importante entre la morfología y la fisiología (Nobel, 1982).

Fotosíntesis. A diferencia de las plantas C3 y C4 en que el proceso de la fotosíntesis se realiza en las hojas, en el nopal (*Opuntia spp*) la fotosíntesis se lleva a cabo en los cladodios (pencas) (Becerra, 1975).

El nopal realiza la fotosíntesis a través del parénquima clorofiliano situado bajo la epidermis y el tejido tuberoso. El parénquima clorofiliano se comunica al exterior por medio de los estomas. Gradualmente se convierte en acuífero para constituir la zona central y esponjosa del cladodio, por donde circula la savia ascendente. El tejido esponjoso almacena grandes cantidades de agua, lo cual permite, en parte, mantener a la planta turgente durante largos periodos de sequía (Bravo, 1978; Pimienta, 1994).

Consumo del nopal forrajero.

Dependiendo de la forma que el nopal se suministre a los animales, será la cantidad de nopal que consuman. Las formas más comunes de consumir nopal por los animales es *in-situ*, es decir, sin cortar y chamuscar. Esto dificulta

su consumo por el número de espinas, tamaño y dureza. Se calcula que un bovino consume entre 11 y 40 kg de nopal forrajero por día (base real), al libre pastoreo. En ovinos y caprinos adultos se estima que el consumo varía entre tres y nueve kg por día (base real), dependiendo de las condiciones del agostadero, ya que cuando llueve la dieta es más variada y el consumo del nopal baja. Cuando es invierno o época de sequía, el consumo de nopal se incrementa.

En el caso de ovinos, se reportó que en los estados de Nuevo León y Tamaulipas es común alimentar el ganado con nopal. Ahí se observó que la cantidad de lanolina en la lana aumenta notablemente al consumir una ración diaria de siete kg (base real). En España el uso de nopal en ovinos es frecuente y se asegura que estos conservan su peso vivo y, además, mejora el rendimiento y la calidad de la lana, (Revuelta, 1963; Ríos, 1954).

De Klerk (1960) comprobó que ovinos adultos pueden llegar a consumir de nueve a 10 kg (base real) por día de nopal como única ración, y que la planta es insuficiente para llenar los requerimientos del animal. Se considera que el consumo de nopal por ovinos productores de leche ayuda a ser más digerible la leche por las crías, ya que contiene menos grasas, además de que conservan su peso.

En ganado estabulado, en bovinos productores de leche, el consumo de nopal varía dependiendo de la ración suministrada, que puede estar compuesta

por alfalfa en verde, achicalada o henificada; por sorgo forrajero en verde o ensilado; por harinolina, cascarilla de algodón, esquilmos de los cultivos de la región como: paja de trigo, avena y cebada; por rastrojo de maíz, tazol de frijol y en algunos casos por desechos de las agroindustrias. Las raciones pueden variar de 15 a 95 kg de nopal en verde por día. Estos datos se recabaron en encuestas realizadas a los dueños de ranchos ganaderos y establos lecheros del noreste de México (López, 1998).

La calidad nutritiva del nopal forrajero se considera de regular a mala, sin embargo, los altos precios de otros forrajes de mayor calidad, y la poca disponibilidad de éstos en épocas de sequía e invierno, hace que su demanda crezca año con año (Macias, 1972).

Usos del nopal en la producción animal.

La información encontrada sobre el uso del nopal forrajero en la alimentación y producción es poca pero muy variada, ya que se han tenido experiencias de productores e investigadores que nos dan una idea de la importancia del nopal en algunos sistemas de producción y mantenimiento de los animales en explotaciones extensivas, así como de la producción de carne y leche en explotaciones intensivas (López, 1998).

Bovinos de carne. Los trabajos reportados sobre la influencia del nopal en la producción de carne y leche datan desde 1905 y son los realizados por Griffiths.

El experimento se realizó con bovinos de carne durante 15 semanas, los cuales se recibieron diferentes raciones a base de nopal, se obtuvieron los siguientes resultados: A).- En el incremento de peso, fue mas favorable la combinación harinolina-nopal que grano-nopal; B).- El consumo promedio de nopal por animal fue de 48.0 kg; C).- La ganancia diaria por animal fue de 0.850 kg y D).- Para producir 1.0 kg de peso vivo son necesarios 55.0 kg de nopal y 2.5 kg de harinolina (Cuadro 2.9).

En Brasil se llevaron a cabo tres experimentos con bovinos para comprobar la influencia del nopal forrajero en la producción de carne. De estos experimentos, en los que el nopal aportó más del 60 % de la energía (N.D.T.) total de las dietas utilizadas, se hace un resumen de los de los resultados (Viena, 1965).

Cuadro 2.9. Raciones con nopal empleadas por los ganaderos del sur de los Estados Unidos de Norte América para el ganado bovino de carne (Griffiths, 1905).

Ración	Nopal (kg)	Complemento (kg)
A	92	1 de harinolina
B	40 a 80	2 de harinolina + 4 de sorgo
C	15	2 de maíz + poco heno
D	15	Pastoreo de arbustos
E	<i>Ad libitum</i> (campo)	2 de harinolina

Experimento A.- Consistió en una engorda de 20 bovinos estabulados, mestizos cebú, de ambos sexos, con un promedio de 189 kg. Se agruparon en dos lotes y se alimentaron con nopal y dos niveles de concentrado proteico: 1 kg y 1.5 kg respectivamente. El concentrado consistió en 50% de torta de

algodón y el resto de torta de mamona destoxicada (*Melicocca bijuga*); también se les proporcionó, a los dos grupos por igual, 1 kg. de melaza, 40 gr. de harina de hueso y 40 gr de sal enriquecida con minerales. Los resultados se presentan en el cuadro 2.10.

En el tercer período los animales del experimento presentaron diarrea generalizada, fenómeno común en el ganado de la región que se alimentó con nopal durante la época de lluvias. Para corregir lo anterior, se proporcionó 0.9 kg de rastrojo de sorgo por día por animal, con resultados positivos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos niveles de concentrado proteico.

Cuadro 2.10. Consumo de nopal en kg /día y ganancia diaria en kg de peso vivo; promedio por cabeza durante el experimento A (Viena, 1965).

Periodo en Días	Consumo de nopal	Ganancias de peso según el nivel complementario (kg)	
		1.0 kg.	1.5 kg.
0 – 84	34.2	0.683	0.688
85 – 126	33.5	0.580	0.688
127 – 196	31.8	0.623	0.688

Experimento B.- Fue un ensayo de engorda en donde se confinaron 22 bovinos no castrados de raza Indo brasil y Guzerat. Este ganado se dividió en dos lotes del mismo número y se les alimentó con nopal, 1.5 kg de concentrado proteico, 40 gr de harina de hueso y 40 gr de la mezcla de minerales empleadas en el experimento A; además, a los animales de un lote se proporcionó 1.5 kg de melaza por cabeza y a los del otro grupo, 1 kg solamente.

Para prevenir la diarrea se añadió rastrojo a la dieta; las cantidades variaron de 0.750 a 1.300 kg diarios por cabeza, de acuerdo a la fluctuación del porcentaje de agua del nopal que fue entre 76.0 y 95.0 por ciento. Los consumos de nopal y las ganancias medias obtenidas en este experimento, pueden apreciarse en el cuadro 2.11.

El análisis estadístico no dio diferencias significativas en los efectos de los dos niveles de melaza.

Cuadro 2.11. Consumo de nopal en kg/día y ganancias diarias en kg de peso vivo; promedio por cabeza, durante el experimento B (Viena, 1965).

Período en días	Consumo de nopal según el nivel de melaza (kg)		Ganancia de peso según el nivel de melaza (kg)	
	1.0 kg	1.5 kg	1.0 kg	1.5 kg
1 – 56	30.55	30.24	0.925	0.907
57 – 84	30.30	30.10	0.841	0.816
85 – 168	0.34	30.00	8.39	0.812

Experimento C.- Consistió en una engorda en corral de 20 bovinos mestizos de cebú con un peso promedio de 199.0 kg separados en dos grupos de 7 machos castrados y tres hembras cada uno, para comparar en el nopal contra forraje de sorgo ensilado.

Todos los animales recibieron un suplemento de 1.5 kg de concentrado proteico ya descrito, de 2.250 kg a 2.740 kg de raíz de mandioca (*Manihot sp*), harina de hueso y sal mineralizada en iguales cantidades a las empleadas en los experimentos anteriores.

Los consumos de nopal y ensilado, y las ganancias medias obtenidas en este experimento, pueden observarse en el Cuadro 2.12.

El análisis estadístico de estos resultados mostró diferencias significativas entre tratamientos únicamente para el tercer período.

Cuadro 2.12. Consumo y ganancias medias por cabeza obtenidas en tres periodos de observación del experimento C (Viena, 1965).

Periodo en días	Consumo en kg/día		Ganancia en kg/día	
	Nopal	Ensilado	Nopal	Ensilado
1 – 84	29.4	27.0	0.809	0.907
85 – 126	27.3	19.0	0.744	0.855
127 – 287	35.1	19.0	0.610	0.783

Los resultados de los tres experimentos permiten recomendar el empleo del nopal en la cría y engorda de bovinos por ser capaz de producir, cuando es debidamente suplementado, ganancias de peso similares a las obtenidas con otros forrajes, en regiones donde la engorda en corral es práctica usual.

Bovinos de leche. En la periferia de la mayor parte de las ciudades del noroeste de la República Mexicana se encuentran establecidos una gran cantidad de medianos y pequeños establos lecheros que utilizan el nopal como base principal en las raciones diarias de vacas lecheras. Esta práctica se realiza desde el siglo pasado, con la creencia popular de que el uso del nopal incrementa la producción de leche. Sin embargo, existen opiniones de varios investigadores, tanto nacionales como extranjeros, que afirman que proporcionar nopal al ganado lechero, aumenta la producción y la calidad de la

leche, así como la consistencia, durabilidad y color de mantequilla producida, la cual adquiere un color oro y, consecuentemente, es más apetecible, además de ser más resistente a la oxidación (Griffiths, 1905; Cottier, 1934; Aguilar, 1964; Blanco, 1957; Calvino, 1952). D' Arce (1941) describe tres raciones empleadas para alimentar bovinos productores de leche con un peso promedio de 500 kg en Argelia, al norte de África (Cuadro 2.13).

En trabajo realizado por Griffiths (1905) menciona que el uso del nopal como forraje en vacas lecheras se utilizaba comúnmente en el sur de Estados Unidos y norte de México, y describe algunas de las raciones (Cuadro 2.13).

Cuadro 2.13. Raciones empleadas para la alimentación de bovinos de leche en diferentes países.

Nopal kg	Complemento	País	Autor
50.0	1.5 kg harinolina + 2.5 kg de cebada	U.S.A	Griffiths 1905
20.0	1.0 kg harinolina + 4.0 kg mascarrote+ 3.0 kg cascarilla de arroz.	U.S.A	Griffiths 1905
20.0	4.0 kg salvado + 5.0 kg mascarrote + pastoreo	U.S.A	Griffiths 1905
30.0	1.5 kg torta de oleaginosa + 2.5 kg salvado + 9.0 kg de paja.	Argelia	D' Arces 1941
25.0	7.0 kg alfalfa verde + 3.0 salvado + 5.0 kg de paja.	Argelia	D' Arces 1941
30.0	2.0 kg bellota + 1.5 torta de oleaginosa + 9.0 de paja.	Argelia	D' Arces 1941
40.0	3.56 kg alfalfa + 4.35 salvado.	México	Flores y Brauer 1977
30.0	sorgo + harinolina + heno de avena + heno de alfalfa.	México	González <i>et al</i> , 1998
55.0	4.0 kg concentrado + 2.0 kg alfalfa achicalada + 1.0 kg avena.	México	López <i>et al</i> , 1998

En trabajo realizado por González *et al.* (1998), donde se utilizó el nopal como sustituto parcial de alfalfa en dietas para vacas lecheras Holstein de segundo parto, se encontró que conforme se incrementaba el porcentaje de nopal en la ración, la producción de leche disminuía, por lo que se recomienda utilizar entre el 20 por ciento y 30 por ciento de nopal (M.S.) en la alimentación de vacas lecheras con producciones de medianas a altas, que fluctúan entre los 21 y 24 litros/por día. Sin embargo, hay que hacer notar que aun cuando la producción de leche baja cuando se incrementa el consumo de nopal, los costos también disminuyen. Es recomendable seguir trabajando en conseguir la dieta ideal para producir carne y leche al menor costo.

Ovinos. Se tienen referencias de Texas, U.S.A. y Australia que los ovinos son capaces de sobrevivir entre 400 y 525 días sin beber agua, en épocas de sequías prolongadas, consumiendo sólo nopal como su única fuente. Aun cuando no existe incremento de peso por el consumo de nopal, las ovejas se salvan de morir de hambre (Flores, 1977).

Flores (1977) elaboró raciones mediante programación lineal, en base a nopal cultivado, alfalfa, remolacha y ensilado de maíz, para borregas de 32.0 kg de peso vivo, y se observó un incremento de 100, 200 y 300 gramos diarios de su peso vivo. Además se compararon los costos de los forrajes en invierno, y el nopal resulto ser el forraje más barato, como se observa en el cuadro 2.14.

Cuadro 2.14. Raciones a base de nopal para borregos de 32.0 kg de peso vivo. (Flores, 1977).

Ingredientes en kg	Aumento de Peso Vivo		
	100 gr/ día	200 gr/ día	300 gr/ día
Nopal	8.00	8.00	8.00
Ensilado	1.00	1.00	1.00
Sorgo	---	0.17	0.35
Salvado	0.30	0.30	0.34
Pasta de Cártamo	0.13	0.12	---
Costo de la ración (\$)	0.90	1.10	1.25

El mismo autor realizó raciones para ovinos de 54 kg de peso vivo, a base de nopal, ensilado, salvado y pasta de cártamo, con borregas en diferentes estados fisiológicos (seca, gestante y lactando) con los resultados que se aprecian en el cuadro 2.15.

Cuadro 2.15. Raciones a base de nopal para borregos de 54.0 kg de peso vivo. (Flores, 1977).

Ingredientes (kg)	Estado fisiológico de la borrega		
	Seca	Gestando	Lactando
Nopal	8.00	8.00	8.00
Ensilado	1.00	1.00	1.00
Salvado	0.30	---	0.30
Pasta de Cártamo	0.01	1.00	1.00
Costo de la ración (\$)	0.86	1.44	1.88

En trabajos realizados por Terblanche *et al.* (1971), con borregos merinos, a los cuales se les suministró una dieta de nopal como único ingrediente, en tres estados de humedad; fresco (10 % de M. S.), oreado (27 % de M. S.) y deshidratado (87.9 % de M. S.). El objetivo de este trabajo fue observar el comportamiento del peso de los animales en tratamiento. Los consumos de materias secas y pérdidas de peso (Cuadro 2.16).

Cuadro 2.16. Consumo de Materia Seca y cambios de peso ocurridos con nopal ofrecido en tres estados de humedad (Terblanche, *et al.*, 1971).

Nopal	Consumo de M.S. (gr/Borraja/Día)	Pérdida de peso (kg/Cabeza/Semana)
Fresco	345.70	0.620
Oreado	396.10	0.510
Deshidratado	507.10	0.230

Caprinos. Es interesante reconocer que aun cuando la cabra es, en proporción, el animal que más consume nopal en sus diferentes estados (natural, chamuscado y deshidratado), existen pocos trabajos que nos indiquen los efectos de esta planta sobre ella.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Descripción del área de estudio.

El área de estudio se ubica en el sureste del estado de Coahuila, entre las coordenadas 25° 25" de latitud Norte y los 101° 00' de longitud Oeste y comprende los municipios de Arteaga, General Cepeda, Ramos Arizpe, Parras de la Fuente y Saltillo. Las colindancias de esta zona son: al Sur con los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, al Oriente con el estado de Nuevo León, al Norte con los municipios de Cuatro Ciénegas, Castaños y parte de San Pedro de las Colonias y al Poniente con San Pedro de las Colonias y Viesca, Coahuila.

El Estado de Coahuila se encuentra formado por tres provincias fisiográficas de México, que corresponden a: 1.- La Provincia de Sierras y Llanuras del Norte. 2.- La Provincia de la Sierra Madre Oriental. 3.- La provincia de las Grandes Llanuras de Norteamérica. Es en las dos primeras donde se localiza el área de estudio. En estos municipios crecen las poblaciones más extensas de nopal forrajero, con las densidades más altas, y es donde se extrae la planta en forma intensiva. Los nopales que se aprovechan como forraje se

estudiaron de acuerdo a los sistemas de utilización, manejo y cosecha de realizan los ganaderos y estableros de la región.

Los materiales y métodos se dividieron en cuatro apartados de acuerdo a los objetivos específicos planteados en este estudio. Para identificar las especies del género *Opuntia*, conocer su distribución geográfica, estado actual, manejo y utilización se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se realizaron 120 encuestas a ganaderos que utilizan el nopal en la alimentación complementaria de sus ganados. En estas encuestas se incluyeron los diferentes sistemas de producción de la región como: establos lecheros, majadas de caprinos y ovinos, y ranchos ganaderos donde la actividad principal es la producción de becerros para la engorda o para la exportación, cabritos y leche. De las 120 encuestas realizadas, 23 son de establos lecheros, 80 de majadas de ovinos y caprinos, 17 de ranchos ganaderos.

Para aplicar las encuestas se dividieron los sistemas de explotación en dos: a.- Utilización del nopal por los ganaderos (predios particulares y ejidales que se dedican a la producción de carne). b.- Utilización del nopal por productores de leche (establos lecheros).

Se aplicó una encuesta con los ganaderos, ejidatarios y comuneros que utilizan el género *Opuntia* como forraje, para detectar las variedades de nopales que más utilizan y cuáles son sus sistemas de cosecha más comunes, en qué

época aprovechan, si los animales tienen problemas debido al consumo de nopal (Anexo 1).

Se realizó la búsqueda de los establos lecheros que se encuentran establecidos en la periferia de la ciudad de Saltillo, Coahuila. A los dueños de los establos se les aplicó una encuesta, para conocer las características generales del establo, su infraestructura, su hato, su manejo, los tipos de forraje que utilizan, las fuentes de forraje, la estimación de sus costos de producción de leche, y la ubicación de los lugares de donde extraen el nopal (Anexo 2).

En cada uno de los establos se colectaron, para su identificación, muestras de las especies de nopal forrajero más utilizadas; se identificó la forma como las cosechan, como lo manejan, y las especies de nopal más utilizadas para este fin. Una vez colectadas las muestras de los sitios de cosecha, se muestrearon tres plantas de cada especie, con flor y con fruto, las cuales fueron llevadas e identificadas en el herbario de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se utilizó, para este fin, el material colectado por Elizondo *et al.* (1987), así como la clave artificial propuesta por Bravo (1978).

Una vez localizadas e identificadas las poblaciones de nopal forrajero, se realizaron reconocimientos de la región para determinar su distribución y el estado en que se encuentran por el manejo a que han sido sometidas.

Se seleccionaron los sitios que utilizan actualmente los ganaderos y estableros. En cada una de las parcelas se levantaron datos del ambiente, por medio de formatos de inventario (Anexo 3), según los criterios de COTECOCA (1979). En cada una de las parcelas se determinaron las siguientes variables: posición topográfica, altitud, pendiente, exposición, caracteres analíticos, y se evaluaron los síntomas generales de la salud ecológica del ecosistema. Se siguieron las pautas de examen propuestas por Muller – Dombois y Ellenber (1974) y Maynes *et al.*, 1975).

Los valores de dominancia de cada especie se calcularon por cobertura, se determinaron teniendo en cuenta los porcentajes de abundancia, dominancia y sociabilidad obtenidos en los muestreos. Para su cálculo se utilizó el criterio presentado en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Valores de abundancia-dominancia según el método desarrollado por Braun-Blanquet (Mueller-Dombois y Ellenber, 1974).

Abundancia	Rango de cobertura (%)	Promedio de la clase (%)
5	75 - 100	87.5
4	50 - 75	62.5
3	25 - 50	37.5
2	5 - 25	15.0
1	0.5	2.5
0	0.1	0.1

Para ubicar los sitios muestreados se utilizó un geoposicionador. Las variables que se determinaron fueron: ambientales, altitud, latitud, longitud, tipo de suelo, tipo de erosión, exposición, pedregosidad, rocosidad, utilización del

área, tipos de vegetación y especies asociadas. Para determinar el tipo de clima de la región se consultaron las cartas climáticas del INEGI, (1993), COTECOCA (1979), así como información proporcionada por los centros meteorológicos del Campo Experimental de la Saucedá y de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Identificación y determinación del estado actual de las poblaciones.

Para tal propósito, se realizaron descripciones y análisis de las condiciones ecológicas con las que mejor se desarrollan las especies de nopal forrajero, por lo que se buscaron y seleccionaron los sitios con mejores características y zonas con las más altas poblaciones de nopal forrajero. Para lograr estos objetivos se establecieron parcelas de 20x20 m², se estimó la densidad de plantas por ha, la cobertura, la producción de biomasa en pie por ha y la densidad de especies asociadas.

En cada una de las parcelas se determinaron las siguientes variables: posición topográfica, altitud, pendiente, exposición, caracteres analíticos de la fitocenosis, descripción generalizada de la zoocenosis y el edafotopo, uso actual e historia de uso del ecosistema. Se siguieron las pautas de examen propuestas por Muller – Dombois y Ellenber (1974) y Maynez *et al*, 1975).

Los valores de dominancia de cada especie se calcularon por cobertura, se determinaron teniendo en cuenta los porcentajes de recubierta, que

corresponde a los distintos valores de abundancia, dominancia y sociabilidad obtenidos en los muestreos. En su cálculo se utilizó el criterio presentado en el cuadro 3.1.

La identificación de las especies se realizó en los laboratorios de Recursos Naturales Renovables, Botánica y el Herbario de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. El estudio taxonómico se realizó comparando los ejemplares colectados con los de los herbarios, y usando además las claves de Bravo (1966), Small (1933) y Anderson (2001).

Evaluación del establecimiento del nopal rastrero.

Se realizó un trabajo de investigación en el Campo Experimental Forestal de Zonas Áridas La Sauceda, del Municipio de Ramos Arizpe, Coah.

Este campo se localiza a 100 km de la ciudad de Saltillo, Coah., sobre una brecha de 16 km hacia el Sur, a partir del km 94.4 de la carretera 57 Saltillo - Piedras Negras. En las coordenadas 25° 51' 01" latitud Norte y 101° 19' 30" longitud Oeste. Este trabajo se estableció al Sur de la bajada baja de la ladera de la Sierra de la Paila, a una altura de 1,100 msnm.

Factores abióticos.

a) **Clima.** De acuerdo con la clasificación climática de Köpen modificada por García (1964), el clima de La Sauceda es de la categoría BWw (X') h (e), muy árido, con régimen de lluvias de verano semi-cálido y extremoso. La precipitación media anual oscila entre los 200 y 300 mm; se presentan en forma torrencial en primavera, y en verano se ha observado que la precipitación es menor. En esta región es frecuente tener años con precipitaciones promedio anual menores de 100 mm (Pérez, 1964).

b) **Temperatura.** En esta región es muy variable, con máximas extremas hasta de 45° C en primavera y verano, y mínimas absolutas que han rebasado los -12° C. La temperatura media anual se ha evaluado a 18° C. Las heladas ocurren desde los primeros días de noviembre hasta fines de marzo. La mayor frecuencia de heladas se presenta en los meses de diciembre y enero (De la Cruz y Zapién, 1974).

c) **Geología.** Los suelos de la región se formaron en el cretácico inferior, cretácico superior y cenozoico; predominan las rocas calizas, que por la acción del integrismo presentan diferentes coloraciones. Los suelos de La Sauceda lo integran dos formaciones: a).- la constituida por caliza y dolomita que contienen micro y macro fauna; b).- la formada por caliza y lutitas con contenido mínimo de yeso (Pérez, 1964; Reynaga, 1976).

d) Suelos. Los suelos son de origen aluvial, de color café o gris, con tonalidades claras cuando secos y café o café amarillento cuando húmedos; las profundidades son variables de 0.25 a 0.70 m.; de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla, se clasifican como migajón arcilloso o francos; el drenaje interno es medio en los primeros estratos y lento en aquellos estratos donde existen capas de caliche; son suelos alcalinos, con un pH entre 7 y 8.5 (Pérez, 1964).

Factores bióticos.

a) Vegetación. El área de estudio está formada por una comunidad de *Larrea-Flourensia* característica del Desierto Chihuahuense; las especies dominantes en este sitio son la gobernadora (*Larrea tridentata*), la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), el nopal (*Opuntia spp*), la palma (*Yucca spp*), el mezquite (*Prosopis spp*), el guayule (*Parthenium argentatum*), entre otras (De La Cruz y Zapíen, 1974).

Los trabajos se establecieron en la meseta y el bajío formada por suelos de origen aluvial, donde predominan arbustos de hoja pequeña, que llegan a constituir, de acuerdo a COTECOCA (1979), una vegetación denominada Matorral Parvifolio Inerme, formado principalmente por gobernadora (*Larrea tridentata*) asociada, entre otras, con hojásén (*Flourensia cernua*), tasajillo (*Opuntia leptocaulis*), nopal rastrero (*Opuntia rastrera*), nopal cacanapo (*Opuntia lindheimeri*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), sangre de drago

(*Jatropha dioica*), candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) y algunas gramíneas como zacate borreguero (*Erioneuron pulchellum*), zacate navajita anual (*Bouteloua trifida*), zacate temprano (*Setaria macrostachya*), entre otras (Reynaga , 1976).

Selección del sitio. El sitio seleccionado es representativo de la región, además de tener poblaciones naturales de nopal rastrero que utilizan en forma intensiva los establos lecheros de la ciudad de Saltillo, Coah.

Selección del material vegetativo. En este trabajo se seleccionó material vegetativo de la región, que se cosechó cerca del área de establecimiento, con las características climáticas y edáficas muy semejantes. El material seleccionado fue de más de un año de crecimiento y menos de cuatro, que no presentara daño alguno por plagas, lagomorfos, enfermedades, libre de malformaciones o daños causados por heladas, granizo, animales domésticos, etc. El corte de la planta se realizó en el punto de unión de las pencas (cladodios), con un machete y un cuchillo filoso para evitar daños al momento del corte. El material cosechado se puso a la sombra durante 12 días, para que cicatrizaran las heridas causadas durante el corte.

Sistema de plantación. De acuerdo a los resultados obtenidos en los trabajos realizados por Zapién y De la Cruz, (1974), Torres (1990) y Zapata (1992) y Rodríguez *et al.*, (1997) se seleccionaron las acciones más apropiadas, para

obtener un mayor éxito en el establecimiento de nopales forrajeros, para lo cual se escogieron diferentes factores experimentales:

a) Plantación con surcado Lister. Se plantaron una y dos pencas a una distancia de dos metros entre plantas y dos metros entre surcos; se plantaron un total de 50 plantas por tratamiento con cinco variantes: la primera variante consistió en dos líneas de 50 plantas de una penca, una con exposición Este-Oeste y otra con exposición Norte-Sur, se enterró el 50 por ciento de la penca; la segunda variante fue de dos líneas de 50 plantas de dos pencas, con una exposición Este-Oeste y otra con exposición Norte-Sur, la posición de las pencas en forma vertical, se enterró el 75 por ciento de la primera penca; la tercera variante fue de dos líneas de 50 plantas de dos pencas, una con exposición Este-Oeste y otra con exposición Norte-Sur, la posición de las pencas en forma horizontal, se enterró el 50 por ciento de las dos pencas; la cuarta variante fue de una línea de 50 plantas, tiradas sobre el terreno barbechado; y la quinta variante fue una línea de 50 plantas con dos pencas tiradas sobre el terreno barbechado.

Se evaluaron las variables de respuesta: porcentaje de daño por liebres y roedores sobre la penca-base establecida y sobre los renuevos.

Evaluación de establecimiento. La metodología propuesta para estimar el establecimiento se planteó con la finalidad de evaluar las condiciones de la plantación en el transcurso de un año para cada uno de los tratamientos. Los

criterios de estimación que se tomaron en cuenta para evaluar fueron los siguientes:

a.1) Evaluación de producción de biomasa. Ésta se estimó contando el número de pencas que se lograron al final de cada ciclo. De un total de 400 plantas se muestrearon 84 cladodios para obtener de cada uno la altura (h), el largo (b) y ancho (a). Con estos datos se sacó el volumen mediante la siguiente fórmula: $V = \pi(a/2)(b/2)(h/2)$. Una vez obteniendo el volumen se procedió a sacar el peso mediante la siguiente fórmula $Y = 0.9334 X^{0.9859}$, se sustituye el volumen en la letra "X", luego se saca el valor en gramos; si queremos transformar los gramos a kilogramos, se hace una regla de tres simple.

a.2) Daños por plagas, roedores y lagomorfos. Se realizó una evaluación de los daños ocasionados por estas plagas en su época de rebrote y al final del ciclo de crecimiento. Esta evaluación consistió en observar qué tan dañado estaba el cladodio. Si tenía la mitad de la penca dañada se evaluaba en un cincuenta por ciento, y así sucesivamente.

a.3) Establecimiento de pencas. Al año de haberse plantado se realizó un recuento de todas las plantas, que consistió en hacer un recuento de todas las plantas vivas para cada año, y mediante una regla de tres simple se obtuvo el porcentaje.

El diseño experimental fue de bloques al azar con ocho tratamientos y cinco repeticiones con 10 plantas por repetición. Los tratamientos utilizados se describen en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento.

T	DESCRIPCIÓN
T ₁	1 penca plantada con exposición Este-Oeste (E-O)
T ₂	1 penca plantada con exposición Norte-Sur (N-S)
T ₃	2 pencas plantadas en forma vertical con exposición Este-Oeste (E-O)
T ₄	2 pencas plantadas en forma vertical con exposición Norte-Sur (N-S)
T ₅	2 pencas plantadas en forma horizontal con exposición Este-Oeste (E-O)
T ₆	2 pencas plantadas en forma horizontal con exposición Norte-Sur (N-S)
T ₇	2 pencas tiradas
T ₈	1 penca tirada

Cada año se contó el número de cladodios que surgieron de las pencas madres, se contaron las cincuenta plantas de cada uno de los tratamientos. Para obtener el número de repeticiones, las cincuenta plantas se dividieron en cinco secciones.

Se utilizó una prueba de comparación de medias (Duncan).

Análisis histológico y cromosómico del nopal.

Para realizar el análisis de las principales especies forrajeras del género *Opuntia* del Sur de Coahuila, se procedió de la siguiente forma:

El presente trabajo se realizó en el sur del estado de Coahuila, en el municipio de Saltillo, se encuentra entre los 26° 00' 00" y los 24° 32' 13" de

latitud Norte y los 99° 50' 30'' y 102° 00' 00'' de longitud Oeste. Una altura que va de los 1500 a 1800 msnm. Con una temperatura promedio anual de 18° C. Una precipitación entre los 100 y 450 mm anuales.

Selección del material vegetativo. Para conocer las especies que los ganaderos utilizan como forraje, se aplicó un cuestionario en el que se les preguntó cuales especies del género *Opuntia* utilizaban como forraje, antecedentes de uso intensivo como forraje, abundancia de las plantas, accesibilidad de las localidades y factibilidad para el registro.

El material vegetativo utilizado fue de pencas de uno a tres años de edad, que estuvieran en buenas condiciones físicas y que no tuvieran daños provocados por herbívoros. Se seleccionaron 10 cladodios de cada planta muestreada, de los cuales dos son para el estudio anatómico, dos para determinar el número cromosómico y seis para el análisis bromatológico.

Estudio anatómico. Se colectaron tres muestras con un sacabocado y se fijaron en FAA (Formol: alcohol etílico y ácido acético) por especie los cladodios no deberían presentar daños por algún factor biótico o abiótico y no tener menos de un año de edad. Se desprendieron dos porciones epidérmicas de aproximadamente 1 cm², las cuales fueron introducidas en un recipiente con azul de toluidina por espacio de cinco minutos. En cada una de las porciones epidérmicas se registraron los siguientes datos: a) densidad de estomas

(estomas/mm²), b) longitud de estomas (μm), ancho de estomas (μm), d) área de estomas (μm^2).

Para la determinación del tamaño de estomas (μm) se utilizó un microscopio óptico Karl Zeiss con micrómetro ocular; en cada porción epidérmica se observaron dos campos oculares. El largo y ancho de los estomas se determinó con un aumento de 40X en cinco estomas por campo. El área de los estomas se obtuvo por medio de la fórmula de la elipse. También se hicieron cinco cortes frescos transversales con navaja de rasurar en dos cladodios de cada especie. Estos cortes se tiñeron con azul de toluidina. En cada corte las observaciones se hicieron en dos campos. Las variables anatómicas que se midieron en cada preparación fueron las siguientes: a) grosor de cutícula (μm), b) profundidad de la cavidad o cripta estomática (μm), c) grosor de la epidermis, colénquima y clorénquima (μm).

Se efectuaron correlaciones entre las variables anatómicas con el nivel de ploidía, además se correlacionaron las variables anatómicas con precipitación pluvial, temperatura máxima y media, evapotranspiración e índice de Lang.

a) Epidermis. Se utilizaron impresiones cuticulares con pegamento de contacto sobre un portaobjetos, la densidad se contó en cinco campos (100x), y el largo y ancho de estomas se midió en 10 estomas por medio de un micrómetro ocular

previamente calibrado (400X). Además, se registró la presencia o ausencia de tricomas

b) Cortex. Se hicieron 10 cortes transversales por cladodio, de aproximadamente 50 μm de grosor, que se tiñeron con azul de toluidina para medir las siguientes variables:

- a) grosor de cutícula (μm)
- b) grosor de epidermis (μm)
- c) grosor de parénquima de pared grueso (μm)
- d) grosor de parénquima (μm)

Análisis estadístico. Se efectuaron correlaciones entre las variables anatómicas con el nivel de ploidía, además se correlacionaron las variables anatómicas con precipitación pluvial, temperatura máxima y media, evapotranspiración e índice de Lang.

Determinación del número cromosómico. El estudio citogenético fue realizado utilizando la técnica de Jewell e Islam-Faridi (1994), estandarizada para nopal.

Material utilizado. Se colectaron dos cladodios (pencas) por especie en cada una de las localidades seleccionadas; los cladodios utilizados no debían presentar daños por algún factor físico biótico y abiótico, y tener un año de edad.

Tratamiento de los cladodios. Los cromosomas mitóticos en metafase se obtuvieron de meristemas apicales de raíces que se dejaron a la sombra dos semanas, después se colocaron sobre recipientes de aluminio con verniculita con suficiente humedad como sustrato, a fin de estimular el desarrollo de raíces.

Recolección de ápices radicales. Una vez formadas las raíces, se colectaron 20 ápices radiculares por planta muestreada, de aproximadamente un centímetro de longitud. La hora de corte fue entre las 8:30 y 9.30 A. M.

a) Pretratamiento. A fin de obtener un buen número de células en metafases mitóticas y facilitar el estudio citológico, las raíces se introdujeron en una solución pretratadora de ocho-hidroxiqenoleina al 0.04 % durante cuatro horas, a temperatura de 27° C, en oscuridad.

b) Fijación. Las raíces previamente pretratadas se fijaron en solución Farmer 3:1 (3: alcohol etílico 96°; 1: ácido acético glacial) por 24 horas. Posteriormente los ápices se lavaron con agua destilada, con tres cambios a intervalos de 30 minutos. Enseguida los meristemas se pasaron a ácido clorhídrico al 0.1 N. por 10 minutos, después se lavaron con agua destilada y se pasaron a la solución Buffer de citratos, durante 30 minutos.

c) Elaboración de preparaciones temporales. Se cortaron los ápices dejando únicamente el meristemo y se colocaron en una solución de enzimas

(celulosa y pectoliasa) en baño maría a 37° C durante 50 minutos, transcurrido el tiempo, los ápices se enjuagaron y se dejaron en agua destilada para su estudio.

d) Identificación. Para observar los meristemas al microscopio, éstos se extendieron individualmente sobre un portaobjeto, con la ayuda de una aguja curva y se lavaron con solución Farmer. Para colorearlos se colocó una gota de colorante carmín y se cubrió con un porta objetos. Los recuentos de cromosomas mitóticos se hicieron en aproximadamente 20 preparaciones por material seleccionado, y 15 células por genotipo. Se tomaron microfotografías de tres células por cada especie.

Evaluación del valor nutritivo del nopal.

El material utilizado para este trabajo fue colectado en los terrenos aledaños a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El análisis químico se efectuó en el laboratorio de Nutrición y en la Unidad Metabólica del Departamento de Nutrición y Alimentos de la misma Universidad ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, la cual se encuentra en las coordenadas 25° 22' latitud Norte y 101° 00' longitud Oeste. Con una altitud de 1742 msnm. La temperatura media anual es de 19.8° C y una precipitación total media anual de 298.5 mm. Cuenta con un tipo de clima designado BWhw (x')(e); clima muy seco, semicálido, con invierno fresco y extremo, con lluvias de verano y precipitación invernal superior de 10 por ciento del total anual. La humedad

relativa alcanza es del 80 por ciento en los meses lluviosos, y el 30 por ciento en los períodos secos, como promedio (Mendoza, 1983).

Preparación del sustrato. El material biológico fue seleccionado sobre la base de las variedades del género *Opuntia* que son más utilizadas como forraje por los ganaderos del municipio de Saltillo. Las especies que fueron utilizadas son: 1) *Opuntia imbricata* (Haworth), 2) *Opuntia ficus-indica* (Linné), 3) *Opuntia cantabrigiensis* (Lynch), 4) *Opuntia lindheimeri* variedad *tricolor* (Griffiths) y 5) *Opuntia lindheimeri* Engelman variedad *subarmata* (Griffiths).

Se seleccionaron tres plantas de cada especie, a las cuales se les cortaron pencas (cladodios) cada mes, durante la estación de otoño. Se picaron en trozos para secarse parcialmente en estufa a 70 ° C. Las muestras de cada planta se agruparon, de manera que se tuvieron tres sustratos de cada especie, que se molieron para posteriormente analizarlas en el laboratorio.

Obtención del líquido ruminal. El líquido ruminal se obtuvo de un novillo fistulado. Este animal se alimentó con una dieta de heno de avena. Al animal donador se le restringió el acceso al alimento y agua 16 horas antes de la extracción del fluido ruminal con el fin de evitar una dilución (Llamas y Tejada, 1990). Esta técnica se realizó de acuerdo a lo señalado por Tilley y Terry, 1963.

Procedimiento experimental. Para determinar la cinética de la digestión de la fibra de los forrajes, se utilizó la técnica de digestibilidad *in vitro* descrita por

Tilley y Terry (1963) con la modificación de Goering y Van Soest (1970), en la cual se interrumpe a diferentes tiempos de incubación (4, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 horas). Se analiza a cada uno de los respectivos residuos de la fermentación la fibra detergente neutro (FDN), incubadas por duplicado con un testigo para cada tiempo, y se determina la FDN original de cada muestra como ajuste.

Además se realizó el análisis bromatológico de acuerdo a la AOAC (1980), la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO) (Tilley y Terry, 1963).

Análisis Estadístico. Los resultados del análisis bromatológico, DIVMS y DIVMO fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con cinco tratamientos e igual número de repeticiones.

Para la cinética de la digestión se consideró el residuo de 96 horas como la extensión máxima de la digestión o Fibra Potencialmente Indigestible (FPI). La diferencia con el resultado de FDN original de las muestras es la Fibra Potencialmente Digestible (FPD). La tasa de degradación (kd) se obtiene transformando los datos obtenidos de la FPD residual en logaritmos naturales (LN) en cada tiempo de incubación. La pendiente obtenida corresponde a la kd.

A continuación se describe el modelo de regresión lineal simple empleado en este estudio.

$$\gamma_i = \beta x_i + \alpha + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

$$\varepsilon_i = \text{NI} (0, \sigma^2).$$

Donde:

γ_i = logaritmo natural de los residuos (%) de FPD del i ésimo tiempo de incubación *in vitro*.

X_i = i ésimo tiempo (h) de incubación *in vitro*

β = coeficiente de regresión. Tasas de degradación (kd) de las paredes celulares (FND) de los forrajes.

α = intercepción al origen.

ε_i = variable aleatoria a la cual se asume distribución normal con media cero y varianza σ^2 .

RESULTADOS.

Especies de nopal utilizadas como forraje.

De las encuestas realizadas a diferentes propietarios, se deduce que las especies utilizadas variaban según las regiones y los sistemas de producción. Las especies de nopal más aprovechadas en los establos lecheros fueron: el rastrero (*Opuntia rastrera*) y sus variedades, que son entre cuatro y cinco, con un 80 por ciento; el kakanapo (*Opuntia lindheimeri*) y sus variedades, en un 12 por ciento; el cardenche (*Opuntia imbricata*), con un 4 por ciento; y otras especies con un 4 por ciento. Los ganaderos, tanto particulares como ejidatarios, utilizan un mayor número de especies y variedades de nopal ya que generalmente sólo lo hacen con las que se encuentran en sus predios, entre los que destacan: *Opuntia rastrera*, *O. imbricata*, *O. lindheimeri* var. *subarmata*, *O. lindheimeri* var. *tricolor*, *O. microdasys*, *O. rufida*, entre otras. En estos sistemas de explotación generalmente los animales cosechan directamente la planta con todo y espinas; solamente un 10 por ciento de los ganaderos chamuscan el nopal ocasionalmente (en temporadas de invierno y sequías). Se ha observado que en el caso específico del ganado caprino y ovino consumen mucho nopal cegador (*Opuntia microdasys* y *O. rufida*), el cual tiene una gran cantidad de

ahuates (espinas pequeñas), que se desprenden fácilmente al ser removidas y le provocan ceguera.

Características, producción y manejo del ganado.

a) Ganado Lechero. De los 23 establos encuestados en el periodo 1997-2001, sólo 15 tenían más de 11 vacas en producción. Para fines de este estudio se seleccionaron los 12 establos más representativos (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Establos representativos encuestados en el periodo 1997-2002 que utilizan nopal forrajero, ubicados en la periferia de Saltillo, Coahuila.

Propietario	Tipo de establo	Núm. de animales	Vacas en producción	Prod. de Leche/U	Prod. De Leche/T	Ubicación
Pedro López Pérez	Rústico	17	13	18	234	Saltillo
Angélica Salas	Rústico	57	42	17	714	Saltillo
Jorge de la L. V.	Rústico	15	11	17	187	Saltillo
Manuel Morales	Rústico	11	7	15	105	Saltillo
Almaguer Siller	Rústico	40	32	16	512	La Aurora
Héctor Galindo	Rústico	42	33	15	495	La Aurora
Manuel Galindo	Rústico	12	8	15	120	La Aurora
Benjamín Treviño	Rústico	22	17	14	238	Saltillo
Ramón Olivares	Rústico	30	26	14	364	Saltillo
José de la L. V.	Rústico	14	9	14	126	Ramos Arizpe
Javier Siller	Rústico	36	28	16	448	Ramos Arizpe
Luis Valdez	Rústico	14	10	15	150	Ramos Arizpe
Total	--	310	236	186	3684	
promedio	--	25.8	19.7	15.5	305	

U = unidad; T = Total.

a.1) Composición del hato. No existe una relación proporcional en el manejo de los establos en cuanto a número de vacas por toro, vacas secas, vacas en producción, vaquillas de reemplazo y desechos, como se observa en el cuadro 4.2, ya que esto lo decide arbitrariamente el productor.

Cuadro 4.2. Características de los hatos de los establos lecheros de la periferia de Saltillo, Coahuila, 1997-2002.

Propietario	Vacas en producción	Sementales	Vacas secas	Vaquillas reemplazo	Becerro	Total
Pedro López Pérez	13	1	4	2	1	21
Angélica Salas	42	3	15	4	2	66
Jorge de la L. V.	11	1	4	2	1	19
Manuel Morales	7	1	4	1	1	14
Almaguer Siller	32	2	8	6	2	50
Héctor Galindo	33	3	9	6	2	53
Manuel Galindo	8	1	4	4	0	17
Benjamín Treviño	17	2	5	5	1	30
Ramón Olivares	26	2	4	5	2	39
José de la L. V.	9	1	5	3	0	18
Javier Siller	28	2	8	6	1	45
Luis Valdez	10	1	4	2	1	18
promedio	19.6	1.6	6.16	3.83	1.16	32.5

a.2) Características de los establos. El 75 por ciento de los establos analizados cuentan con infraestructura rústica, lo que no les permite un manejo adecuado; los comederos, bebederos y el lugar de ordeña están generalmente fabricadas con desechos de madera de fabricas; el techo del cobertizo es de lamina galvanizada y de asbesto; los corrales están construidos con pedazos de madera y de alambre; el piso de los corrales es, la mayoría de los casos, de tierra. Solo tres de los establos cuentan con una infraestructura que les permite un mejor manejo del hato.

a.3) Manejo de los establos. La mayoría de este tipo de explotaciones la familia participa en todas las actividades de manejo del establo como la ordeña, la alimentación, el almacenamiento y venta de la leche. Sin embargo, ocasionalmente se contratan de uno a tres empleados, dependiendo de la época y tipo de trabajo requerido. Dentro de las actividades a desarrollar en

estas explotaciones es alimentar a los animales, chamuscar y trozar el nopal, así como mantener limpio el establo.

a.4) Tipo de ordeña. La ordeña se realiza dos veces al día: la primera, de las seis a las nueve de la mañana; la segunda, de los cinco a siete de la tarde. Del total de los establos analizados sólo tres (20 por ciento) cuentan con equipo manual de ordeña de dos pezoneras; el resto la realiza de manera manual, por lo que ocupa de una a dos personas por ordeña.

a.5) Producción de leche. La producción de leche es variable y depende de factores tales como: raza o craza animal (Holstein), edad, número de animales en producción, número de partos, época del año, tipo de alimentación, entre otros. Los días que dura la producción de la leche varía según el criterio del productor, ya que el decide cuando secar.

El número de animales promedio por establo es de 25.8, aunque el rango de animales por establo estuvo entre 11 a 57. La producción de leche por establo varía según el número de vacas en producción, cuyo promedio es de 19.6 vacas; sin embargo, existe un rango de siete a 42 vacas en ordeña. Como resultado de esto, el promedio de producción de leche es de 15.5 litros de leche/vaca/día. La producción total de leche por establo, por día, varía de 105 a 714 litros.

a.6) Manejo de la ordeña y leche. No existe un manejo adecuado de la leche desde la ordeña hasta su traslado a la pasteurizadora o fábrica. En la mayoría de los establos no existe sanidad al momento de la ordeña, ya que ésta se realiza a un lado de los corrales, no desinfectan las ubres, en el área de ordeña no hay disponibilidad de agua corriente, el almacenamiento de la leche se realiza en tinajas de plástico o en botes galvanizados de 20 ó 30 litros, así como en tambos de plástico y/o galvanizados de 200 litros los cuales, por lo general, se encuentran sucios y, además, durante la ordeña hay contaminación por polvo y estiércol. Otro problema son las moscas, ya que durante la primavera y el verano abundan y no existe un control sobre ellas. Ningún establo cuenta con refrigeradores ni cuartos fríos, lo que provoca una alta acidez de la leche (32 por ciento), (Cuadro 4.3).

a.7) Características de la leche. El 90 por ciento de los establos lecheros no cuenta con instalaciones adecuadas para la ordeña, tampoco cuentan con las más mínimas normas de sanidad para manejo del producto, y carecen de equipo para almacenar la leche, por lo que, en la mayoría de los casos está muy contaminada y con altos porcentajes de acidez ya que, generalmente, los camiones recolectores sólo van una vez al día (en la mañana), lo que provoca que la leche de la tarde se quede sin refrigerar toda la noche.

Cuadro 4.3. Análisis bromatológico de la leche de cinco establos, durante seis días, de la zona conurbada de Saltillo, Coahuila.

Valores	Acidez (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Caseína	SNG (%)	ST (%)	Lactosa (%)
Media	0.22	3.15	3.53	2.86	7.06	9.96	2.80
Max	0.42	3.70	4.20	3.40	7.20	10.5	3.00
Min	0.16	2.20	3.00	2.40	7.00	9.40	2.60
Rangos	.14-.16	3.25-4	3-4		8-9	12.5-13	5.0

Cuadro 4.4. Promedio de la acidez, grasa y proteína de la leche de cuatro establos (durante siete días) de la periferia de Saltillo, Coahuila.

Concepto	Mañana			Tarde		
	Max	Min	Media	Max	Min	Media
Acidez	0.32	0.28	0.2266	0.28	0.17	0.2066
Grasa	0.44	0.28	0.338	0.450	0.20	0.316
Proteína	0.45	0.17	0.18	0.20	0.17	0.18

a.8) Venta de la leche. La leche generalmente se vende a las pasteurizadoras a un precio que fluctúa entre los \$2.30 y 3.00 pesos por litro. El precio es muy variable por los castigos que imponen las plantas procesadoras, entre los que se encuentra el porcentaje de grasa y la acidez. Entre mayor cantidad de grasa y menor acidez, mayor precio (Cuadro 4.4). Existe otra forma de vender la leche y es al menudeo (litriado), que consiste en vender la leche bronca, casa por casa, a un precio mucho mayor (\$5.00 por litro); sin embargo la mayoría de los establos son cautivos de las plantas procesadoras, ya que comúnmente les prestan dinero para la compra del alimento y las medicinas, con la condición de que les vendan la leche. Otro aspecto que afecta a estos productores es la falta de asesoría y apoyo por parte de compradores para que mejoren el manejo de sus establos, ya que generalmente ésta es nula, y si se

les da, es condicionada.

a.9) Enfermedades. Las enfermedades de los animales en este tipo de explotaciones son muy frecuentes, ya que no existe un adecuado programa de prevención y control. Por lo general, el 85 por ciento de los establos recurre al veterinario cuando el animal presenta síntomas avanzados de alguna enfermedad, y sólo el 15 por ciento cuenta con una asistencia programada, generalmente los establos más grandes. Las enfermedades más comunes son la mastitis, el garrro y la diarrea.

a.9.1) Composición del hato. El cien por ciento de los animales que componen los hatos son de raza Holstein, sin de registro que seleccionan de su propio hato o compran a otros establos, en los cuales tampoco llevan registro de comportamiento. Los becerros que nacen de estas vacas se venden inmediatamente, pues no los dejan más de ocho días. Las becerras se alimentan con calostros durante los primeros ocho días, y después con leche comercial.

a.9.2.) Manejo del hato. No existe un manejo adecuado de los establos ya que, frecuentemente, la mayoría de las vacas que están secas o en producción no tienen una programación para el control de los empadres, que se hacen cuando las vacas entran en calor. Generalmente se les da la oportunidad de preñarse dos o tres veces; si

no lo logran, se venden en el rastro. La inseminación artificial poco frecuente.

a.10) Composición de la dieta. La dieta es muy variable y depende de la disponibilidad y costos del forraje, ya que estos fluctúan dependiendo de las épocas del año (Cuadro 4.5). La dieta la integran, generalmente, con un concentrado compuesto de alfalfa verde deshidratada o henificaba, avena, cebada, maíz forrajero verde o ensilado; granos de maíz y sorgo molido; de esquilmos industriales y agrícolas como bagazo de caña, bagazo de cítricos, pasta de algodón, de cebada, de soya y de todos los granos de los cuales se extrae aceite. También se utiliza el rastrojo de maíz, el tazol de frijol, la paja de la avena, cebada, el trigo y otras gramíneas. Es muy común usar la gallinaza y la pollinaza, así como los desechos de los mercados de abastos entre los que se encuentran coles, las zanahorias, repollos, los espárragos, elotes, papas.

a.11) Costos de la dieta. Los costos depende de los productos que se utilicen en la formulación y de la época del año, ya que los precios de los insumos son muy variables. De acuerdo a la información recabada de los expendedores de forrajes y concentrados, y de los compradores de estos productos, se sacó una media y se estimó el costo de las diferentes raciones detectadas.

Cuadro 4.5. Costo de los insumos para la formulación de raciones en diferentes épocas del año 2001, en la región de Saltillo, Coahuila.

PRODUCTO	COSTO	
	INVIERNO-PRIMAVERA	VERANO-OTOÑO
Alfalfa fresca	\$0.50	\$0.40
Alfalfa henificada	\$1.65	\$1.25
Sorgo molido	\$1.30	\$1.30
Maíz molido	\$1.50	\$1.30
Maíz ensilado	\$0.40	\$0.40
Maíz henificado	\$0.70	\$0.70
Concentrado	\$3.00	\$1.60
Sorgo ensilado	\$0.40	\$0.40
Sorgo henificado	\$0.70	\$0.60
Avena	\$1.15	\$1.00

a.12) Descripción del algoritmo de cosecha y venta de nopal forrajero. La mayoría de los estableros compran el nopal a intermediarios que se dedican a esta actividad; sin embargo, existen tres formas de proveerse de este forraje: 1).- Estableros que cuentan con vehículo propio y que realizan los viajes de acuerdo a su necesidad. 2).- Los que lo compran a personas que se dedican a esta actividad y 3).- Los que cuentan con pequeñas plantaciones en huertas cercanas a sus establos.

Descripción de las actividades que realizan las personas que se dedican a la cosecha de nopal forrajero en ecosistemas naturales. Generalmente estas personas investigan dónde existen las mejores nopaleras naturales que faciliten la cosecha en poco tiempo, visitan al dueño del predio, que generalmente les vende el viaje en \$ 200.00; una vez localizado y contratan la zona de cosecha, el dueño del camión se pone de acuerdo con varios campesinos (3 ó 5), los cuales viven por la ruta y son los que lo ayudan a

cosechar el forraje. Las actividades que realizan en un viaje, son las siguientes:

- a) El camión sale de la ciudad de Saltillo, Coahuila, entre cuatro y cinco de la mañana, generalmente va el chofer y un ayudante.
- b) Pasan al ejido o rancho a recoger los campesinos que le van a ayudar a cosechar el nopal. Generalmente son tres o cuatro personas.
- c) Llegan al predio y seleccionan el sitio de cosecha.
- d) Cosecha del nopal forrajero (generalmente participan el chofer, dos cortadores, un recogedor que lo sube al camión y un acomodador).
- e) Esta actividad la terminan aproximadamente a las 11:00 AM.
- f) Se van a desayunar en algunos de los restaurantes del trayecto.
- g) Llegan a la ciudad entre 1:00 y 2:00 PM.
- h) Entrega del nopal en el establo (generalmente el viaje ya lo tienen vendido, pero suele suceder que no lo esté, entonces se estacionan en un lugar determinado y ahí llegan los compradores).
- i) El vendedor descarga el nopal, el cual se amontona para que no se deshidrate.
- j) El nopal que se utiliza diariamente, se separa del montón y se chamusca.
- k) El chamuscado de la planta se efectúa con quemadoras de gas o de petróleo.
- l) Una vez chamuscado, el nopal se traslada a los comederos, donde se pica.
- m) El nopal generalmente se les da a los animales después de la ordeña de la mañana.
- n) Los estableros procuran que el nopal cosechado no dure más de una semana, ya que se deshidrata, o cuando está succulento puede fermentarse o podrirse y ocasionar daños a las vacas.

a.13) Organización. Generalmente los estableros compran el nopal cada tercer día, si cuentan con más de 30 bovinos; en pequeños establos con menos de 30 animales, cada semana. Se usan camiones rabones, los cuales tienen

una capacidad de 8 a 10 toneladas. Cada viaje cuesta \$ 1,600.00 (enero de 2000) (140 dls.).

a.14) Estado actual de los establos lecheros. En el año 2002 se realizó una visita a todos los establos encuestados en 1997 y sólo el 20 por ciento estaba suministrando nopal en sus raciones, esto debido a los altos costos del nopal y a los bajos precios de la leche.

a.15) Procedencia del nopal forrajero. El nopal forrajero proviene de regiones muy distantes, que alcanzan distancias de hasta 130 km. Todo el material cosechado proviene de poblaciones naturales de nopal forrajero que han sido sobre explotados durante años. Este manejo inadecuado está provocando un acelerado avance de la desertificación en estas regiones áridas, ya que las plantas se extraen con todo y raíz, lo que impide la recuperación de estos ecosistemas. De los 23 establos localizados que suministran nopal, sólo 12 lo compran por mayoreo (camión de 8 a 10 toneladas por semana); los otros ocho adquieren sólo parte del camión o lo acarrean en sus propios vehículos. El nopal se cosecha en los siguientes sitios (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6 Sitios donde se extrae el nopal forrajero *Opuntia rastrera*, para los establos de la periferia de Saltillo.

Sitio	Municipio	Distancia (km)	Especie
La Rinconada	Arteaga	35	<i>O. rastrera</i>
El Barril	R. Arizpe	86	<i>O. rastrera</i>
La Gamuza	R. Arizpe	82	<i>O. rastrera</i>
Cosme	R. Arizpe	98	<i>O. rastrera</i>
Las Liebres	Parras de la F.	130	<i>O. rastrera</i>
Narigua	General Cepeda	85	<i>O. rastrera</i>
S. Jose de los N.	General Cepeda	35	<i>O. rastrera</i>

a.16) Especies utilizadas. Los resultados obtenidos de los análisis taxonómicos del material colectados en cada uno de los establos, determinó que la especie utilizada por casi todos los estableros, corresponde a la especie *Opuntia rastrera*. Hay que hacer notar que aun cuando todo nos indica que es esta especie, se observó una gran variabilidad fisiológica en cuanto al tamaño y color de la penca; tamaño, densidad y color de las espinas, lo mismo que en las glóquidas; también en las variaciones respecto al número de líneas y de glóquidas en las pencas, por lo que se asume que esta gran variabilidad de tamaños y formas ha sido ocasionada por la hibridación abierta y por las condiciones ecológicas de las zonas donde crecen. Se recomienda hacer estudios más especializados sobre este tema.

a.17) Formas de utilización de nopal. Son dos los sistemas que se utilizan en los pequeños establos lecheros, con algunas variantes, los cuales se describen a continuación:

(a).- Cosecha, acarreo y chamuscado. El nopal se cosecha en ecosistemas donde crece en forma abundante, luego se traslada a los establos lecheros. En estos lugares el nopal se chamusca y corta en pequeños trozos, para darlo a los animales estabulados. Estos sistemas de cosecha ocasionan daños severos a los ecosistemas ya que, generalmente, la planta se extrae con todo y raíz.

(b).- Cosecha, acarreo y picado. El nopal se cosecha en áreas naturales y se traslada a los establos donde se pica en un molino de cuchillas, para luego ofrecerlo a los animales con todo y espinas. El sistema de cosecha es igual que el anterior y ocasiona los mismos daños al ecosistema.

En las encuestas levantadas, realmente ninguno de los ganaderos y establos se dan cuenta del daño que causan al ecosistema con estos procedimientos de cosecha, ya que generalmente extraen o chamuscan toda la planta, lo que provoca su muerte.

En cuanto a la rehabilitación, sólo el 5 por ciento de los rancheros realizan plantaciones, y el 2 por ciento lo hace aplicando ciertas técnicas, como curvas a nivel, paso de rastra, tirado de la penca y pequeñas cuencas de captación de agua.

Sitios de utilización y extracción de nopal. De acuerdo a la información proporcionada por los cosechadores y vendedores de nopal a los establos lecheros, se detectaron siete sitios de donde se extrae el nopal forrajero los cuales se describen a continuación.

Sitio Uno

Micrófilo – Bajada media.

Matorral micrófilo crasicaule cerrado, en bajada media con: *Opuntia rastrera*, *O. leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave scabra*. En el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Ubicación: El sitio La Rinconada se localiza en el ejido de San José de Los Nuncios, a 15 km del municipio de Ramos Arizpe y a 35 km de la ciudad de Saltillo, Coahuila, a 25 ° 33' 67'' latitud Norte y 100 ° 46' 77 '' longitud Oeste.

Posición fisiográfica: bajada media en ladera media de la Sierra de San José de Los Nuncios (Figura 4.1).

Altitud: 1579 m.s.n.m.

Pendiente: 0-10%.

Exposición: Norte.

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: formada por matorral crasicaule espinoso dominado por *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata*.

Zoocenosis: fauna silvestre común en la zona y especies domésticas que utilizan el campo en pastoreo continuo.

Edafotopo: de 0 - 15 cm, suelo con poca materia orgánica, abundantes raicillas de 3 a 5 mm, no presenta piedra o grava, muy erosionado; de 15 - 30 cm.

Raíces abundantes de mayor grosor, de 5 a 8 mm, no presentan piedra o grava, muy erosionado.

Uso: pastoreo continuo de bovinos y caprinos. Extracción intensiva de nopal forrajero.

Historia del uso: extracción intensiva de nopal forrajero por largos periodos y pastoreo continuo, desmonte de pequeñas áreas para establecer cultivos de temporal (maíz), hoy abandonadas.

Síntomas generales: sobreutilizado, con fuerte erosión hídrica y eólica.

Fecha de muestreo: junio de 1999.



Figura 4.1. Población natural de *Opuntia rastrera* en el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Cuadro 4.7. Valores de la fitocenosis de la parcela uno, de matorral crasicaule con *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave scabra*, en el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Especies	Densidad	Abundancia/Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>	59	62.5	37.0
<i>Larrea tridentata</i>	35	2.5	0.1
<i>Opuntia imbricata</i>	12	0.1	0.1
<i>Agave sp.</i>	8	0.1	0.1
<i>Opuntia leptocaulis</i>	35	2.5	0.1
<i>Yucca filifera</i>	4	0.1	0.1
<i>Prosopis sp</i>	3	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	25	0.1	15.0

Cuadro 4.8. Valores de edafotopo de la parcela uno, de matorral crasicaule, con poca pendiente con *Opuntia rastrera*, *O. leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave scabra*, en el sitio de La Rinconada del ejido San José de los Nuncios, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad (cm)	
	0-15	15-30
pH	8.250	8.180
C.E. Millimhos	0.500	0.750
Materia orgánica	3.780	3.060
Nitrógeno (kg /ha)	0.189	0.153
Potasio (kg /ha)	307.650	307.650
Fósforo (kg /ha)	66.000	47.660
Arena (%)	67.950	70.450
Limo (%)	27.050	24.010
Arcilla (%)	5.00	5.45
Textura	Migajón Arenoso	

Sitio Dos

Crasicaule – Llano.

Matorral crasicaule, sin pendiente, con *Opuntia rastrera*, *Opuntia phaeacantha*, *Larrea tridentata*, *Opuntia imbricata* en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Ubicación: carretera Saltillo–Monclova km 60 a ambos lados de la carretera 45, se localiza en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, latitud Norte y longitud Oeste (Figura 4.2).

Posición fisiográfica: llano

Pendiente: 0.0 %

Exposición: indefinida

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: está formada por dos tipos de matorrales: crasicaule espinoso y micrófilo.

Zoocenosis: fauna silvestre común en la zona y especies domésticas que utilizan el campo en pastoreo continuo. Liebres, conejos, coyotes, venados, víboras, ardillas.

Efafotopo: de 0 – 15 cm. Presenta raíces delgadas de 2 a 5 mm, no presenta grava ni piedras; de 15 – 30 cm. Raíces en mayor número, de aproximadamente 6 mm, no presenta grava ni piedras.

Uso: extracción de nopal de poblaciones naturales, cultivos de temporal (maíz y frijol), pequeñas áreas de riego (chile y frijol).

Historia de uso: pastoreo continuo por periodos indefinidos, pequeñas áreas de riego donde se cultiva chile, frijol y maíz.

Síntomas generales: se encuentra muy alterado y con una erosión considerable ocasionada por el hombre y sobrepastoreo.

Fecha de muestreo: julio 1999.

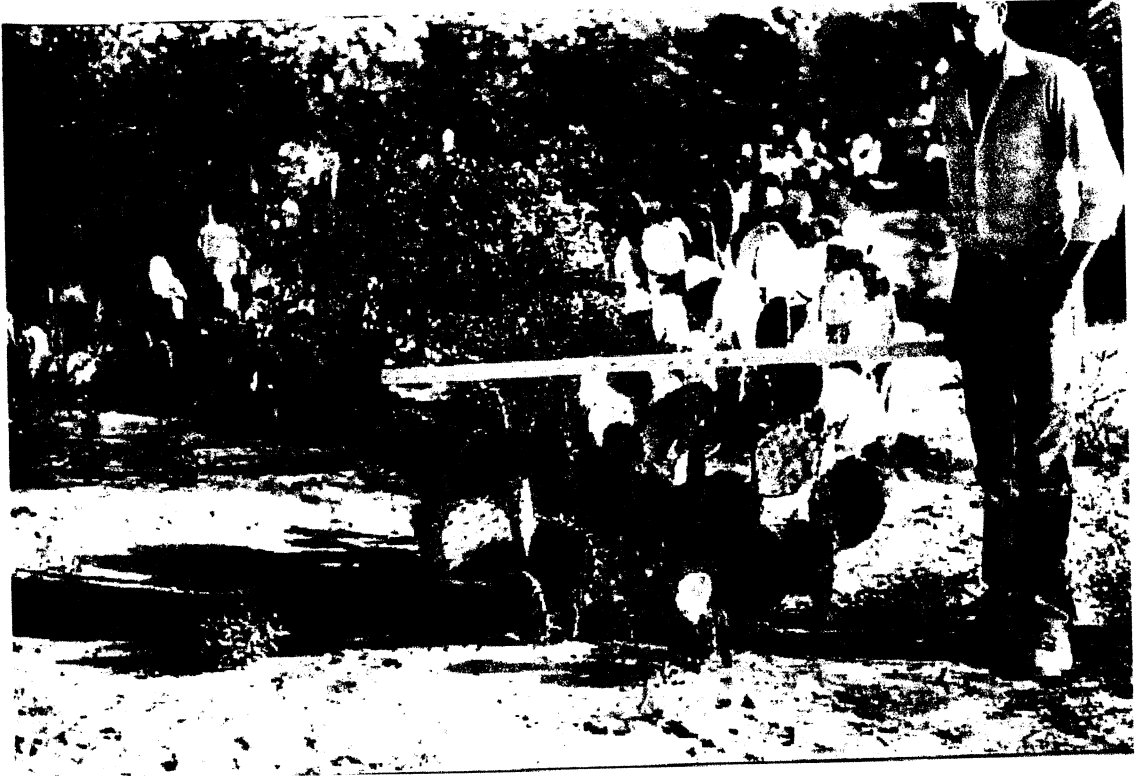


Figura 4.2. Población natural de *Opuntia rastrera* en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Cuadro 4.9. Valores de la fitocenosis de la parcela dos, de matorral crasicaule cerrado, sin pendiente, con *Opuntia rastrera*, *Opuntia phaeacantha*, *Opuntia imbricata* en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Especies	Densidad	Abundancia /Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>	102	62	37
<i>Opuntia pheacantha</i>	21	15	11
<i>Larrea tridentata</i>	28	0.1	0.1
<i>Echinocactus dubians</i>	8	0.1	0.1
<i>Opuntia leptocaulis</i>	32	0.1	0.1
<i>Koeberlinia spinosa</i>	11	0.1	0.1
<i>Opuntia imbricata</i>	8	0.1	0.1
<i>Prosopis glandulosa</i>	6	0.1	0.1
<i>Yucca carerosana</i>	5	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	16	2.5	15
<i>Flourenzia cernua</i>	23	0.1	0.1
<i>Agave sp.</i>	20	0.1	15

Cuadro 4.10. Valores del edafotopo de la parcela dos, de matorral crasicaule cerrado, sin pendiente, con: *Opuntia rastrera*, *Opuntia phaeacantha*, *O. Imbricata*, en el ejido El Barril, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad (cm)	
	0-15	15-30
pH	8.34	8.37
C.E. Millimhos	0.40	0.39
Materia orgánica	1.14	0.53
Nitrógeno (kg/ha)	0.05	0.03
Potasio (kg/ha)	307.65	307.65
Fósforo (kg/ha)	58.10	42.81
Arena (%)	70	75.45
Limo (%)	22	19.11
Arcilla (%)	7.95	5.45
Textura (%)	Migajón Arenoso	

Sitio Tres

Micrófilo abierto – Bajada Media.

Matorral abierto en bajada con *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Flourenzia cernua* y *Larrea tridentata*, en el predio La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Ubicación: se localiza en el municipio de Ramos Arizpe por la carretera Saltillo-Monclova km 56, a 25 ° 47' 10 '' latitud Norte y 100 ° 46' 65 '' longitud Oeste.

Posición fisiográfica: indefinida, terreno plano sin pendiente, conocido como barreal (Figura 4.3).

Altitud: 910 m.s.n.m.

Pendiente 1 a 2 %.

Exposición: indefinida.

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: matorral crasicale, por una nopalera densa de *Opuntia rastrera* y *Opuntia pheacantha* con alta cobertura, y otras especies asociadas de *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata*, *Prosopis glandulosa*, entre otras.

Zoocenosis: fauna común de la zona y especies domésticas que utilizan en el campo en pastoreo continuo.

Edafotopo: suelo arenoso – arcilloso; de 0 - 15 cm. Poca materia orgánica alrededor de los mogotes, presenta raíces pequeñas en abundancia, de 5 mm, no presenta piedras ni grava, erosión eólica e hídrica fuerte; de 15 – 30. Pobre en materia orgánica, pocas raíces de mayor tamaño (5 a 8 mm).

Uso: pastoreo continuo e intensivo por tiempo indeterminado, extracción intensiva de nopal forrajero.

Historia del uso: se ha pastoreado en forma intensiva por caprinos, bovinos, ovinos y fauna silvestre. Pequeñas áreas de cultivo de riego, con cultivos de chile, frijol y maíz. Extracción de leña de mezquite, nopal forrajero y fibra de lechuguilla.

Síntomas: sobreutilizado, con una erosión fuerte ocasionado por el mal manejo del ecosistema.

Fecha de muestreo: junio del 2000.



Figura 4.3. Población natural de *Opuntia rastrea* en el predio La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Cuadro 4.11. Valores de la fitocenosis del sitio tres de matorral crasicaule e inerme dominado por *Opuntia rastrera*, *Flourenzia cernua* y *Larrea tridentata* en La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Vegetación	Densidad	Abundancia/Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>	125	62.0	37.0
<i>Flourenzia cernua</i>	125	62.0	37.0
<i>Larrea tridentata</i>	60	37.0	15.0
<i>Opuntia leptocaulis</i>	12	2.5	0.1
<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	19	37.0	37.0
<i>Agave lechuguilla</i>	46	37.0	37.0
<i>Fouquieria splendens</i>	3	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	4	0.1	15.0
<i>Opuntia imbricata</i>	1	0.1	0.1
<i>Agave asperrima</i>	1	0.1	0.1
<i>Yucca filifera</i>	1	0.1	0.1
<i>Prosopis juliflora</i>	1	0.1	0.1
<i>Opuntia microdasys</i>	3	0.1	0.1
<i>Lophophora williansii</i>	1	0.1	0.1

Cuadro 4.12. Valores de edafotopo de la parcela tres, de matorral crasicaule e inerme, dominado por *Opuntia rastrera*, *Flourenzia cernua* y *Larrea tridentata* en La Gamuza, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad	
	0-15	15-30
pH	8.3	8.4
C.E. Millimhos	0.45	0.55
Materia orgánica	1.77	1.89
Nitrógeno (kg/ha)	42.5	45.3
Potasio (kg/ha)	238.5	238.5
Fósforo (kg/ha)	29.7	12.1
Arena (%)	63	74
Limo (%)	25	21
Arcilla (%)	12	5
Textura	Migajón Arcilloso	

Sitio Cuatro

Crasicaule abierto – Bajada baja.

Matorral crasicaule abierto en bajada baja, con *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave lechuguilla* en el predio Las Liebres, municipio de Parras de las Fuentes, Coahuila.

Ubicación: Predio Las Liebres, en el municipio de Parras de la Fuente, Coahuila. Se ubica sobre la carretera 40 (Saltillo - Torreón) en el km 90 hay una desviación hacia el poblado Estación Marte, el cual se encuentra a 8 km de distancia de donde se sale a una terracería, a 23 km de distancia se localiza dicho predio. La ubicación exacta del área de estudio es 25 ° 47' 04'' de latitud Norte y 101° 57' 55'' de longitud Oeste (Figura 4.4).

Posición fisiográfica: bajada baja.

Altitud: 1130 m.s.n.m.

Pendiente: 0-2.0 %.

Exposición: Sur

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: está formada por un matorral crasicaule dominando *Opuntia rastrera*, *Opuntia myrodasis*, *Opuntia imbricata*, *Larrea tridentata*, *Jatropha dioica*.

Zoocensis: fauna silvestre común de la zona y especies domésticas que utilizan el campo en pastoreo continuo.

Edafotopo: de 0-15 cm. Poca materia orgánica, presenta raíces de 5 mm., en abundancia, no presenta piedras ni grava, suelos muy erosionados por factores

eólicos e hídricos; de 15-30 cm. Suelo con raíces de mayor grosor, abundantes, de 5 – 8 mm. No presenta piedras ni grava.

Uso: extracción de fibra, candelilla y nopal forrajero, ganadería extensiva (bovinos y caprinos).

Historia del uso: la cosecha de poblaciones naturales de nopal, de candelilla y lechuguilla han sido muy intensas.

Síntomas generales: sobreutilizado, con fuerte erosión hídrica y eólica provocado por el mal manejo del ecosistema.

Fecha de muestreo: mayo de 1999.



Figura 4.4. Población natural de *Opuntia rastrera* en el predio Las Liebres, municipio de Parras de las Fuentes, Coahuila.

Cuadro 4.13. Valores de la fitocenosis del sitio cuatro, de matorral crasicaule abierto, en bajada baja, dominado por *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave lechuguilla* en el predio Las Liebres, municipio de Parras de la Fuente, Coahuila.

Especies	Densidad	Abundancia/Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>	120	62	37
<i>Opuntia pheacantha</i>	24	15	11
<i>Larrea tridentata</i>	28	0.1	0.1
<i>Echinocactus dubians</i>	8	0.1	0.1
<i>Opuntia leptocaulis</i>	48	0.1	0.1
<i>Koeberlinia spinosa</i>	12	0.1	0.1
<i>Opuntia imbricata</i>	8	0.1	0.1
<i>Prosopis glandulosa</i>	8	0.1	0.1
<i>Yucca camerosana</i>	8	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	16	2.5	15
<i>Flourenzia cernua</i>	20	0.1	0.1
<i>Agave sp.</i>	20	0.1	15

Cuadro 4.14. Valores del edafotopo del sitio cuatro, de matorral crasicaule abierto, en bajada baja, con *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave lechuguilla*, en el predio Las Liebres, municipio de Parras de las Fuentes, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad	
	0-15	15-30
pH	7.60	7.60
C.E. Millimhos	0-80	0.60
Materia orgánica	0.10	0.10
Nitrógeno (kg/ha)	0.148	0.143
Potasio (kg/ha)	531.00	544.00
Fósforo (kg/ha)	43.01	33.11
Arena (%)	32.80	30.80
Limo (%)	42.00	40.00
Arcilla (%)	25.20	29.20
Textura	Migajón Arcilloso	

Sitio Cinco

Crasicaule micrófilo – Bajada baja.

Matorral crasicaule – micrófilo dominado por *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocalis*, *Larrea tridentata*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*. En el Ejido Narigua, municipio de General Cepeda, Coahuila.

Ubicación: En el municipio de General Cepeda. Carretera Saltillo – Torreón. km 50. Entronque a General Cepeda. 12 km, corta al Ejido Narigua a 35 km

Posición fisiográfica: llano formado entre los cañones de la Sierra de Parras, localizado a 25 ° 36 ' 00'' latitud Norte y 101° 40 ' 00'' longitud Oeste. (Figura 4.5).

Altitud: 1360 m.s.n.m.

Pendiente: 2 %.

Exposición: Norte.

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: compuesta por un estrato arbustivo de *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata* y *Agave lechuguilla*.

Zoocenosis: fauna silvestre común de la zona y especies domésticas que utilizan el campo en pastoreo continuo.

Edafotopo: de 0 – 15 cm. Poca materia orgánica, presenta raíces pequeñas en abundancia, de 5 mm, no presenta piedras, ni grava, erosión eólica e hídrica severa; de 15 – 30 cm. Presenta pocas raíces de mayor tamaño (5 a 8 mm) pobre en materia orgánica. No hay rocas ni grava.

Uso: Pastoreo continuo por caprinos, en segundo término ovinos y bovinos.

Extracción intensiva del nopal forrajero y fibra de lechuguilla.

Historia del uso: sobreutilizado por ganado doméstico y extracción de nopal forrajero, fibra de lechuguilla, candelilla y leña, desde hace cientos de años.

Síntomas generales: sobreutilizado, con fuerte erosión hídrica y eólica.

Fecha de muestreo: octubre del 2001.



Figura 4.5. Población natural de *Opuntia rastrera* en el sitio del ejido Narigua, municipio de General Cepeda, Coahuila.

Cuadro 4.15. Valores de la fitocenosis del sitio cinco del matorral crasicaule micrófilo inerme dominado por *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua* y *Jatropha dioica*. En el ejido de Narigua, municipio de General Cepeda, Coahuila.

Especie	Densidad	Abundancia/Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>		62.0	37.0
<i>Prosopis juliflora</i>	1	2.5	0.1
<i>Flourensia cernua</i>	4	0.1	0.1
<i>Opuntia leptocaulis</i>	8	2.5	0.1
<i>Fouquieria splendens</i>	2	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	20	2.5	15.0
<i>Yucca filifera</i>	1	0.1	0.1
<i>Acacia ssp</i>	1	0.1	0.1
<i>Agave lechuguilla</i>	30	2.5	15.0
<i>Opuntia kleiniae</i>	5	0.1	15.0
<i>Opuntia imbricata</i>	1	0.1	0.1
<i>Euphorbia antysypillitica</i>	2	2.5	15.0

Cuadro 4.16. Valores de edafotopo del sitio cinco del matorral crasicaule inerme dominado por *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua* y *Jatropha dioica*. En el ejido de Narigua, municipio de General Cepeda, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad	
	0-15	15-30
pH	7.8	7.6
C.E. Millimhos	0-76	0-70
Materia orgánica	0.34	0.34
Nitrógeno (kg/ha)	0.128	0.115
Potasio (kg/ha)	68.0	12.0
Fósforo (kg/ha)	28.0	30.0
Arena (%)	0.60	0.60
Limo (%)	70.80	76.80
Arcilla (%)	13.20	13.20
Textura	Arcilloso	

Sitio Seis

Micrófilo – Llano.

Matorral micrófilo dominado por *Opuntia rastrera*, *Larrea tridentata*, *Yucca sp.*, *Flourenzia cernua*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*, en el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Ubicación: en el municipio de Ramos Arizpe. Carretera Saltillo – Monclova, en el km 57. Entronque al ejido Hipólito, sobre una brecha de 16 km hacia el sur.

Posición fisiográfica: llano formado por la ladera baja de la Sierra de La Paila, localizado a 25° 55' 12'' latitud Norte y 101° 27' 27'' longitud Oeste. (Figura 4.6).

Altitud: 947 m.s.n.m.

Pendiente: 2 %.

Exposición: Sur.

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: compuesta por un estrato arbustivo de *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Hechita scariosa*, *Larrea tridentata* y *Agave lechuguilla*.

Zoocenosis: fauna silvestre común de la zona y especies domesticas que utilizan el campo en pastoreo continuo.

Edafotopo: de 0 – 15 cm. Poca materia orgánica, presenta raíces pequeñas en abundancia, de 5 mm, no presenta piedras ni grava, erosión eólica e hídrica severa; de 15 – 30 cm. Presenta pocas raíces de mayor tamaño (5 a 8 mm) pobre en materia orgánica. No hay rocas ni grava.

Uso: pastoreo continuo por caprinos, en segundo término ovinos y bovinos.

Extracción intensiva del nopal forrajero y fibra de lechuguilla.

Historia del uso: sobreutilizado por ganado domestico y extracción de nopal forrajero, fibra de lechuguilla, candelilla y leña, desde hace cientos de años.

Síntomas generales: sobreutilizado, con fuerte erosión hídrica y eólica.

Fecha de muestreo: octubre del 2001.



Figura 4.6. Población natural de *Opuntia rastrea* en el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Cuadro 4.17. Valores de la fitocenosis del sitio seis, matorral micrófilo dominado por *Larrea tridentata*, *Opuntia rastrera*, *Yucca sp.* *Flourenzia cernua*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*. En el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Especie	Densidad	Abundancia/Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>	85	62.0	37.0
<i>Prosopis juliflora</i>	3	2.5	0.1
<i>Flourenzia cernua</i>	7	0.1	0.1
<i>Opuntia leptocaulis</i>	16	2.5	0.1
<i>Fouquieria splendens</i>	4	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	56	2.5	15.0
<i>Yucca filifera</i>	2	0.1	0.1
<i>Acacia ssp</i>	4	0.1	0.1
<i>Agave lechuguilla</i>	120	62.5	37
<i>Opuntia kleiniae</i>	10	0.1	15.0
<i>Opuntia imbricata</i>	3	0.1	0.1
<i>Euphorbia antysyphilitica</i>	6	2.5	15.0

Cuadro 4.18. Valores de edafotopo del sitio seis del matorral micrófilo dominado por *Larrea tridentata*, *Opuntia rastrera*, *Yucca sp.* *Flourenzia cernua*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*. En el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad (cm).	
	0-15	15-30
pH	7.4	7.5
C.E. Millimhos	0.45	0.85
Materia orgánica	3.56	0.43
Nitrógeno (kg/ha)	0.148	0.143
Potasio (kg/ha)	99.60	137.60
Fósforo (kg/ha)	40.70	38.00
Arena (%)	30.00	32.0
Limo (%)	32.00	34.00
Arcilla (%)	38.00	34.00
Textura	Arcilloso	

Sitio Siete

Crasicaule micrófilo – Llano.

Matorral crasicaule micrófilo dominado por *Opuntia rastrera*, *Larrea tridentata*, *Yucca sp.* *Flourensia cernua*, *Fouquieria splendens*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*. En la zona conocida como San Martín de las Vacas, municipio de General Cepeda, Coahuila.

Ubicación: en el municipio de General Cepeda, carretera 45, Saltillo– Monclova, en el km 18. Entronque San Martín de las Vacas, sobre una brecha de 17 km con orientación Poniente.

Posición fisiográfica: llano formado entre las laderas de la sierra, localizada a 25° 32' 32" latitud Norte y 101° 11' 35" longitud Oeste. (Figura 4.7).

Altitud: 1775 m.s.n.m.

Pendiente: 2 %.

Exposición: indefinida.

Superficie muestreada: 400 m².

Fitocenosis: Compuesta por un estrato arbustivo de *Opuntia rastrera*, *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata*, *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Jatropha dioica*.

Zoocenosis: Fauna silvestre común de la zona y especies domésticas que utilizan el campo en pastoreo continuo.

Edafotopo: de 0 – 15 cm. Poca materia orgánica, presenta raíces pequeñas en abundancia de 5 mm, no presenta piedras ni grava, erosión eólica e hídrica severa; de 15 – 30 cm. Presenta pocas raíces de mayor tamaño (5 a 8 mm) pobre en materia orgánica. No hay rocas ni grava.

Uso: pastoreo continuo por bovinos, en segundo término caprinos y ovinos.

Extracción intensiva del nopal forrajero y fibra de lechuguilla.

Historia del uso: sobreutilizado por ganado doméstico y extracción de nopal forrajero, fibra de lechuguilla, candelilla y leña, desde hace muchos años.

Síntomas generales: sobreutilizado, con fuerte erosión hídrica, eólica y disturbio humano.

Fecha de muestreo: octubre del 2001.



Figura 4.7. Población natural de *Opuntia rastrera* en el ejido San Martín de las Vacas, Ramos Arizpe, Coahuila.

Cuadro 4.19. Valores de la fitocenosis del sitio siete, matorral micrófilo dominado por *Larrea tridentata*, *Opuntia rastrera*, *Yucca sp.* *Flourenca cernua*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*. Ejido San Martín de las Vacas, General Cepeda, Coahuila.

Especie	Densidad	Abundancia/Dominancia	Sociabilidad
<i>Opuntia rastrera</i>	98	62.0	37.0
<i>Prosopis glandulosa</i>	4	2.5	0.1
<i>Flourenca cernua</i>	7	0.1	0.1
<i>Opuntia leptocaulis</i>	14	2.5	0.1
<i>Fouquiera splendens</i>	5	0.1	0.1
<i>Jatropha dioica</i>	60	2.5	15.0
<i>Yucca filifera</i>	3	0.1	0.1
<i>Acacia ssp</i>	3	0.1	0.1
<i>Agave lechuguilla</i>	80	2.5	15.0
<i>Opuntia kleiniae</i>	12	0.1	15.0
<i>Opuntia imbricata</i>	2	0.1	0.1
<i>Euphorbia antysypillitica</i>	4	2.5	15.0

Cuadro 4.20. Valores de edafotopo del sitio siete del matorral micrófilo dominado por *Larrea tridentata*, *Opuntia rastrera*, *Yucca sp.* *Flourenca cernua*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*. En el ejido San Martín de las Vacas, General Cepeda, Coahuila.

Atributos del suelo	Profundidad (cm)	
	0-15	15-30
pH	7.5	7.6
C.E. Millimhos	40	55
Materia orgánica	1.66	.90
Nitrógeno (kg/ha)	.146	.140
Potasio (kg/ha)	96.50	104.20
Fósforo (kg/ha)	45.70	34.00
Arena (%)	33.00	35.00
Limo (%)	31.00	33.00
Arcilla (%)	39.00	36.00
Textura	Arcilloso	

Las regiones anteriormente descritas son lugares donde los cosechadores de nopal silvestre ocurren con mayor frecuencia. Existen otros sitios de menor importancia como los ejidos Narigua, municipio de General Cepeda y Cuatro de Marzo, de Parras de las Fuentes, Coahuila. Estos sitios son frecuentados, mínimo, una vez por día y sus distancias van desde: La Rinconada municipio de Arteaga a 35 km, hasta Las Liebres a 135 km de distancia (Cuadro 4.21).

Cuadro 4.21. Localización y distancia de los sitios de donde se extrae el nopal forrajeo (*Opuntia rastrera*), para los establos circunvecinos de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

Sitio	Municipio	Distancia (Km.)	Especie
Sn. J. de los N.	General Cepeda	35	<i>O. rastrera</i>
El Barril	R. Arizpe	86	<i>O. rastrera</i>
La Gamuza	R. Arizpe	82	<i>O. rastrera</i>
Cosme	R. Arizpe	98	<i>O. rastrera</i>
Las Liebres	Parras de la F.	130	<i>O. rastrera</i>
Narigua	General Cepeda	85	<i>O. rastrera</i>
Sn. M. de las V.	Ramos Arizpe	35	<i>O. rastrera</i>

a.19) Producción de biomasa estimada en pie. La producción de biomasa se estimó seleccionando los mejores sitios de cosecha encontrados de los lugares donde normalmente cortan la planta. Esta estimación se realizó para cada uno de los sitios muestreados.

Cuadro 4.22. Estimación de la producción de biomasa promedio de cada uno de los sitios muestreados.

Sitio (Área muestreada 400 m ²)	Densidad Ind./área	Densidad Ind./ha	Pencas/planta	Número de pencas	Peso / penca (Kg.)	Producción kg/ ha
La Rinconada	59	1475	38.4	56640	.400	22656
El Barril	102	2550	45.3	115515	.450	51981
La Gamuza	125	3125	39.2	122500	.390	47775
Cosme	85	2125	54.29	115387	.425	49039
Las Liebres	120	3000	60.8	182400	.410	74784
Narigua	128	3200	56.6	181120	.420	76070
S. Martín de las V.	98	2450	42.7	104615	.400	41846

a.20) Raciones utilizadas. Las raciones dependen de la disponibilidad y costo de los insumos que se encuentren en la zona. Esta variedad en la dieta depende mucho, también, de los cultivos de la región, ya que cuando hay exceso de cosecha o los productos agrícolas no tienen precio, éstos se la venden o, en ocasiones la regalan con tal que se la levanten. Los que mas se utilizan son: la papa, zanahoria, repollo, elotes, espárragos, entre otros. La calidad de la ración se modifica dependiendo al estado fisiológico de los animales (si son becerros, becerras preñadas, vacas secas, vacas lactando y gestando y vacas en producción). En el caso de las vacas en producción, la cantidad de concentrado varía en proporción a la cantidad de leche producida. A continuación se describen algunas dietas que se dan en los establos con sus respectivos costos (Cuadro 4.23).

Cuadro 4.23. Dietas ofrecidas en los establos de la periferia de Saltillo, Coahuila, en el periodo 1997-2002.

COMPONENTES DE LA DIETA POR KG UTILIZADOS									
Establo	Comp. 1	Kg	Comp. 2	Kg	Comp. 3	Kg	Comp.4	Kg	\$
1	Concentrado	7	Alfalfa	4	Rastrojo	5	Nopal	25	29.5
2	Concentrado	7	Alfalfa	6	Avena	4	Nopal	30	34.7
3	Maíz Molido	4	Alfalfa	4	Avena	5	Nopal	25	22.35
4	Salvado	4	Zacate	4	Maguey	9	Nopal	30	10.1
5	Salvado	7	Alfalfa	3	Sorgo f.	3	Nopal	32	16.07
6	Concentrado	7	Alfalfa	2	Avena	2	Nopal	42	27.7
7	Concentrado	6	Pollinaza	8	Avena paja	4	Nopal	25	33.20
8	Sorgo	4	Avena	7	Sorgo f.	4	Nopal	30	19.65
9	Concentrado	3	Avena paja	4	Rastrojo	4	Nopal	15	15.8
10	Concentrado	7	Alfalfa	5	Salvado	2	Nopal	38	24.73
11	Concentrado	6	Alfalfa	2	Salvado	4	Nopal	40	25.3
12	Concentrado	8	Alfalfa	8			Nopal	15	33.4
13	Concentrado	6					Nopal	35	18.8

Comp. = Componente de la ración, \$ = Costo de la ración.

Cuadro 4.24. Costo de los insumos utilizados en las raciones de alimentación en establos lecheros de la periferia de Saltillo, Coahuila.

Insumo	Precio comercial (\$)
Concentrado	2.20
Maíz Molido	1.50
Salvado	0.60
Rastrojo	0.70
Sorgo forrajero	0.60
Alfalfa	1.60
Zacate	0.50
Pollinaza	1.50
Avena paja	1.00
Nopal	0.16
Maguey	0.10
Avena	1.15
Sorgo grano	1.30

Cuadro 4.25. Variación de precios de los insumos en las raciones ofrecidas a los establos lecheros de la periferia de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

PRODUCTO	COSTO	
	INVIERNO-PRIMAVERA	VERANO-OTOÑO
Alfalfa fresca	\$0.50	\$0.40
Alfalfa henificada	\$1.65	\$1.25
Sorgo molido	\$1.30	\$1.30
Maíz molido	\$1.50	\$1.30
Maíz ensilado	\$0.40	\$0.40
Maíz henificado	\$0.70	\$0.70
Concentrado	\$3.00	\$1.60
Sorgo ensilado	\$0.40	\$0.40
Sorgo henificado	\$0.70	\$0.60
Avena	\$1.15	\$1.00
Rastrojo	\$0.70	\$0.60

b) Ganado Bovino.

Dado que los sistemas de explotación son muy variados y que generalmente los animales (bovinos) se encuentran al libre pastoreo, tienen una mayor libertad de seleccionar las plantas más palatables y abundantes. En los predios sólo cosecha el nopal en época de sequía y en invierno. Cuando empieza a llover y se recuperan los pastos, el consumo de nopal baja hasta en un ochenta y cinco por ciento.

b.1) Especies utilizadas. Generalmente los ganaderos utilizan los nopales que encuentran en sus predios. Los de mayor importancia forrajera son: el nopal rastrero (*Opuntia rastrera*) y el nopal cacanaipo (*Opuntia lindheimeri* y sus variedades), tanto para el ganado vacuno, como para el caprino y ovino, Estos valores se estimaron para la zona centro-sur del estado de Coahuila, ya que la

utilización de esta planta depende de la región donde se realicen los muestreos, como es el caso la región noreste considerada dentro de la planicie costera del Golfo donde la especies y variedades cambian su dominancia (*Opuntia lindheimeri* y sus variedades más comunes).

Cuadro 4.26. Porcentajes de utilización de las diferentes especies y variedades de nopal forrajero por los bovinos, caprinos y ovinos en el estado de Coahuila.

Espece	Nombre común	Porcentaje
<i>Opuntia rastrera</i>	(nopal rastrero)	40
<i>Opuntia lindheimeri var lindheimeri</i>	(nopal cacanapo)	20
<i>Opuntia lindheimeri var. tricolor</i>	(nopal cacanapo)	8
<i>Opuntia imbricata</i>	(nopal coyonoxtle)	7
<i>Opuntia aciculata</i>	(nopal soldado)	6
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	(nopal cuijo)	6
<i>Opuntia leptocaulis</i>	(nopal tasajillo)	6
<i>Opuntia glaucescens</i>	(nopal arrastradillo)	3
<i>Opuntia microdasys</i>	(nopal cegador)	2
<i>Opuntia rufida</i>	(nopal cegador)	2

b.2.) Cosecha del nopal forrajero. De las encuestas realizadas con los ganaderos y estableros para conocer las formas en que el nopal se cosecha, se obtuvieron los siguientes datos:

b.3) Formas de cosecha por los ganaderos. En agostaderos (áreas extensivas), en las cuales cree que es el ganado el que generalmente cosecha el nopal forrajero *in-situ*; sin embargo, en las encuestas realizadas se determinaron otras prácticas que los ganaderos realizan para proporcionarles nopal a sus animales, las cuales se describen a continuación:

(a).- Cosecha por el animal. El nopal se consume en forma directa, de la planta en pie, con todo y espinas, principalmente por bovinos y caprinos. Se considera que el daño que se le ocasiona a la planta no es de consideración, ya que el animal generalmente cosecha los cladodios más tiernos de la parte superior de la planta, y deja las pencas maduras y viejas casi intactas.

(b).- Despunte del nopal. Esta práctica consiste en cortar el ápice de los cladodios (pencas), lugar donde generalmente la planta tiene la mayoría de sus espinas, lo que facilita su consumo. Este sistema de utilización no ayuda mucho al ganado bovino, pero sí le facilita mucho el consumo al ganado menor (caprinos y ovinos). Con esta práctica de aprovechamiento los animales se dañan pero, ya que generalmente no consumen las pencas maduras y viejas, además, al hacer el despunte, una parte considerable de las pencas cortadas cae al suelo y generalmente se arraigan.

(c).- Chamuscado en pie. Este método consiste en aplicar fuego directo a la planta con un lanza llamado chamuscador de gas o petróleo, con el objetivo de quemarle las espinas y facilitar al animal el consumo *in-situ*. El daño que se ocasiona a la planta es muy grande, ya que el animal cosecha toda la planta hasta las pencas viejas; lo que queda de ella generalmente muere por pudrición, efecto del chamuscado.

(d).- Quema en pie. El campesino junta leña suficiente al rededor de las plantas que va a utilizar y las quema, generalmente los animales las cosechan

en su totalidad, ya que el calor ablanda los tallos más macizos de la planta, ocasionándole una muerte segura.

(e).- Nopal chamuscado. Esta practica se acostumbra en varios estados de la república (San Luis Potosí, Coahuila, Zacatecas, Guanajuato y Durango) y consiste en hacer fuego con ramas y hierbas que se cortan en el mismo terreno. Se echan sobre la lumbre las pencas cortadas, que después de un corto tiempo se voltean con una horquilla de hierro o con un palo puntiagudo, para que sólo se quemem las espinas de ambos lados; enseguida se arrojan a un lado del fuego para que el ganado las consuma. El problema de este sistema, es que en todos los sitios no hay suficiente leña para hacer el chamuscado.

(f).-Quema *in-situ*. Los pastores y vaqueros juntan la leña cerca de donde se va a cosechar el nopal; una vez prendido el fuego, el nopal cortado se ensarta con una garrocha para levantarlo y ponerlo encima del fuego, para quemarle las espinas. Este sistema de cosecha no perjudica a la planta, ya que sólo se cosechan las partes tiernas.

Establecimiento.

Del establecimiento de nopal forrajero con un sistema de plantación y ocho variantes se obtuvieron los siguientes resultados. En el cuadro 4.27 se muestran los análisis de varianza obtenidos en los años 1997 al 2002. En seis años se encontraron diferencias altamente significativas ($P > .0001$).

Cuadro 4.27. Análisis de varianza de los tratamientos en surcado Lister de 1997–2002. Campo Experimental La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila.

F.V	G.L	CUADRADO MEDIO					
		1997	1998	1999	2000	2001	2002
TRATAMIENTO	7	81.68	118.8	208.5	286.8	1,187.20	32,965.8
ERROR	32	10.48	12.8	15	20.9	127	15,168.8
TOTAL	39	92.16	131.6	223.5	307.7	1314.2	48,134.6
SIGNIFICANCIA		0	0	0	0	0	0

Donde: F. V = Fuente de variación; G. L = Grados de libertad.

En el cuadro 4.28 se muestran las pruebas de comparación de medias para los seis años. Se observa que sembrar una penca con exposición N–S (Tratamiento dos) produjo más número de pencas que el tratamiento uno (una penca plantada con exposición E–O).

Cuadro 4.28. Prueba de medias Turkey de los tratamientos en surcado Lister para los años de 1997 a 2002.

TRAT.	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1	2.5 cd	3.3 b	3.5 c	3.9 d	7.22 c	7.2 c
2	3.1 cd	3.5 b	4.5 bc	5.3 c	10.4 bc	10.4 bc
3	5.4 a*	5.4 a	6.5 ab	7.4 ab	14.7 ab	16 ab
4	5.0 ab	6.0 a	7.2 a	8.3 a	17.0 a	18 a
5	4.2 abc	5.3 a	5.7 b	6.9 b	12.2 ab	12 ab
6	3.7 bc	5.4 a	5.6 b	6.6 b	12.1 abc	11 bc
7	2.2 cd	2.4 b	1.1 d	1.2 e	1.9 d	0 d
8	0.8 e	0.7 c	0.6 d	0.7 e	0.8 d	0 d

*Literales iguales no difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($P = 0.05$)

En el cuadro que se muestran las pruebas de comparación de medias del periodo 1997-2002, se observa que la estrategia de plantar las dos tratamientos T7 (dos pencas tiradas al ras del suelo) y T8 (una penca tirada al ras del suelo), no resultó conveniente, ya que no lograron establecerse y reproducirse. Además no lograron sobrevivir, ya que se les dificultó su enraizamiento, y quedaron expuestos al ataque de roedores y lagomorfos.

Los tratamientos donde se utilizó una y dos pencas no hubo diferencia significativa en cuanto a su establecimiento. Sin embargo, en la producción de rebrotes, los tratamientos que tuvieron mejor respuesta fueron en los que se utilizaron dos pencas. De estos tratamientos, en los cuales se utilizaron dos pencas plantadas en forma vertical, los de mejores resultados fueron el (T3, dos pencas plantadas en forma vertical con exposición Este-Oeste) y (T4, dos pencas plantadas en forma vertical con exposición Norte- Sur).

Realizar la plantación de dos pencas en forma vertical siempre produjo más pencas que cuando se hizo en forma horizontal. Sin embargo, todo parece indicar que esto no fue debido a cuestiones fisiológicas de las plantas, sino más bien al efecto de daño por liebre; la explicación que se puede dar en base a lo observado, es que debido a la arquitectura de la planta que se tiene cuando se siembra en forma horizontal, los rebrotes están al alcance de los roedores y las liebres. Para el caso de las plantas de dos pencas plantadas en forma vertical, los rebrotes no están al alcance, lo que dificulta más su cosecha.

En los tratamientos (T1, una penca con exposición Este-Oeste y T2, una penca con exposición Norte-Sur) no se encontró diferencia significativa en cuanto a la producción de biomasa.

El tratamiento tres (T3, Pencas plantadas en forma vertical con exposición Este-Oeste) obtuvo una producción menor que el Tratamiento 4 (T4, Pencas plantadas en forma vertical con exposición Norte-Sur) con 4.78 kg/planta en cinco años. La diferencia entre estos tratamientos se le atribuye a la exposición.

Los mejores resultados de producción de biomasa se obtuvieron en el tratamiento cuatro (T4, Pencas plantadas en forma vertical con exposición Norte-Sur) con 5.53 kg /planta, durante los cinco años.

En los tratamientos cinco y seis (T5, dos pencas plantadas en forma horizontal con exposición Este-Oeste y T6, dos pencas plantadas en forma horizontal con exposición Norte-Sur) no se encontró diferencia significativa en cuanto a la producción. Estos tratamientos fueron los segundos que arrojaron mejores resultados en cuanto a su producción, con 3.93 kg/planta.

Los tratamientos 7 y 8 (T7, dos pencas tiradas al ras del suelo y T8, una penca tirada al ras del suelo) fueron los más malos, ya que al segundo año de plantarlos el 90 % de la planta murió, por la dificultad de su establecimiento y la facilidad de los roedores para comer sus rebrotes.

La pérdida de brotes en los tratamientos (T1, T2, T5 y T6) fue de un 90 por ciento, ocasionado principalmente por lagomorfos, roedores y hormigas, ya que se presentó un promedio de 4 a 8 brotes/años.

Al comparar la plantación de una penca contra dos pencas, se obtuvo que la plantación de dos pencas dio mejores resultados en el último año de muestreo (2002). Plantar dos pencas en forma vertical con exposición N-S (T₄) produjo más número de pencas que el tratamiento tres, con dos pencas en forma vertical, con exposición E-O, pues arrojó una respuesta positiva desde el segundo año.

Comparando los tratamientos en que se plantan dos pencas en forma vertical, con exposición E-O y N-S contra los tratamientos cinco y seis, con dos pencas plantadas horizontalmente con exposición E-O y N-S, se obtuvieron mejores resultados en los T3 Y T4, ya que produjeron mayor cantidad de pencas por planta.

Por todo lo anterior se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

Si se plantan una o dos pencas, deben orientarse a la exposición Norte-Sur.

Si se pueden plantar dos pencas, que sea en forma vertical.

Dejar las pencas sobre el suelo en las condiciones ambientales de este estudio, no sirve como método de plantación.

Cuadro 4.29. Daños ocasionados por liebres (%).

Tratamiento	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1 E-O	57.88	10.70	30.00	43.60	43.60	21.42
1 N-S	53.76	40.84	44.00	49.40	49.40	26.22
2 V E-O	66.86	20.00	22.00	39.00	39.00	24.66
2 V N-S	32.47	10.28	13.02	39.40	39.40	22.30
2 H E-O	38.66	30.04	21.02	46.20	46.20	26.30
2 H N-S	42.24	30.74	26.80	49.40	49.40	37.10
2 T	33.30	61.80	79.60	96.00	96.00	0
1 T	49.30	83.80	89.10	98.23	98.23	0

Cuadro 4.30. Kilogramos por hectárea de cada uno de los tratamientos prevalcientes, producidos a los seis años de su establecimiento 1997-2002.

Tratamiento	Daños (%)	Peso x (gr/penca)	No. De Pencas	Kg/planta	Kg/ha
1	21.42	342.87	7.2	2.468	6171.6
2	26.22	746.28	10.4	7.761	19403.2
3	24.66	589.24	16.0	9.427	23569.6
4	22.30	873.42	18.0	15.721	39303.9
5	26.30	363.61	12.0	4.363	10908.3
6	37.10	678.69	11.0	7.465	18663.9
7	0	0	0.0	0	0.0
8	0	0	0.0	0	0.0

Características citológicas y cromosómicas del nopal.

Características anatómicas.

La epidermis es la capa de células más externa del cuerpo de la planta; está constituida por varios tipos celulares, las más abundantes son las epidérmicas propiamente dichas, las cuales están cubiertas por cutina y otros ácidos grasos. La función de estas células es la de evitar la pérdida de agua y reflejar la radiación solar, sobre todo cuando ésta es excesiva. En las zonas áridas es común que las plantas desarrollen cutículas gruesas. Conde en 1975 reportó grosores cutilulares para *O. imbricata* de 2 μm , y en *O. lindheimeri* de 7 μm . Estos valores concuerdan con los que se obtuvieron para las *Opuntias* de Saltillo, ya que presentan un grosor de 2.1 a 6.6 μm de espesor. Dentro de las platiopuntias, las especies que presentan menor grosor cuticular son las tomentosas; sin embargo, el grosor de la cutícula de las especies reportadas en la zona centro del país presentan un grosor de 8.11 a 57.84 μm . Mientras que nopales colectados en los alrededores de Guadalajara presentan grosores cuticulares de 7.72 a 16.20 μm . Es probable que el incremento en grosor de cutícula en las especies del centro del país se deba a la selección de las especies y al manejo de estas plantaciones, pues casi todas son variedades cultivadas, las cuales presentan mayor desarrollo vegetativo.

Otro de los elementos que se pueden encontrar en la epidermis son los tricomas, que son apéndices de forma y estructura diversa. Ejercen un papel

protector contra la pérdida de agua, contra el exceso de radiación y forma barreras protectoras contra insectos, Maxwell y Jennings (1984). En género *Opuntia* existen especies con tricomas en tallos, que son característicos de las Series Basilares, Tomentosae. En este trabajo encontramos tricomas en *O. rufida* y *O. microdasys*, que pertenecen a la serie Basilares; sin embargo, en *O. microdasys*, los tricomas se originan en las células oclusivas de los estomas, en contraste con *O. rufida* donde los tricomas se encontraron distribuidos en las células epidermáticas propiamente dichas, en densidades altas, por lo cual no se pudo determinar la densidad y tamaño de los estomas. Probablemente por esta característica ambas especies se distribuyen con mayor frecuencia en las zonas más áridas del estado.

Por último, los estomas son el último tipo de células que se encuentran en la epidermis. Estas células no poseen cutícula y tienen como función, regular el intercambio de gases entre la planta y la atmósfera (Ting, 1972). Su frecuencia, tamaño y disposición, están en razón directa con la velocidad de transpiración (Cutter, 1976; Heath, 1981). Así pues., las especies con densidades bajas y tamaños pequeños, son más eficientes en el uso del agua, por lo cual soportan con mayor facilidad el estrés hídrico.

La *O. rastrera*, por su hábito de crecimiento puede, estar sometida a tasas de transpiración alta, por el hecho de que sus cladodios están expuestas a temperaturas altas. Esto concuerda con la densidad de las estomas, que es así como también es la especie con tamaño de estomas más pequeños;

contrasta con *O. cantabrigiensis* que presentó 55 estomas/mm², y estos relativamente grandes. Por otro lado, existen diferencias estadísticas significativas en la densidad y el largo de estomas entre las dos variedades de *O. lindheimeri*, por lo cual ambas variedades pueden tener diferente tasa de asimilación de CO₂ y transpiración.

Cuadro 4.31. Densidad, largo y ancho de estomas en especies de nopal forrajero de Saltillo Coahuila.

Especie	Densidad de estomas (estomas.mm ⁻²)	Largo de células guarda (µm)	Ancho de células guarda (µm)
<i>O. cantabrigiensis</i>	55.0 a	1.6 b	1.3 b
<i>O. imbricata</i>	47.0 b	1.2 c	0.9 c
<i>O. lindheimeri</i> var <i>subarmata</i>	45.0 b	1.3 c	1.3 ab
<i>O. lindheimeri</i> var <i>tricolor</i>	38.0 c	2.1 a	1.5 a
<i>O. microdasys</i>	34.0 c		
<i>O. rastrera</i>	24.0 d	1.8 b	0.8 c
<i>O. rufida</i>			

Literales iguales no difieren estadísticamente según prueba de Tukey (P. =0.05)

En el caso de *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* se observó diferencia estadísticamente significativa en el grosor de parénquima de pared gruesa, mientras que en las otras variables no se observaron diferencias estadísticas.

Cuadro 4.32. Grosor de cutícula, epidermis, parénquima de pared gruesa y parénquima en especies de nopal forrajero de Saltillo, Coahuila, México.

Especie	Grosor de cutícula (µm)	Grosor de epidermis (µm)	Grosor de parénquima de pared gruesa (µm)	Grosor de clorenquima (µm)
<i>O. lindheimeri</i> var <i>tricolor</i>	6.6 a	19.9 d	122.5 c	2145.0 bc
<i>O. cantabrigiensis</i>	6.0 a	22.4 bc	168.6 b	1809.6 c
<i>O. rastrera</i>	5.6 a	33.2 bc	132.6 c	3567.1 a
<i>O. lindheimeri</i> var <i>subarmata</i>	4.0 ab	21.6 cd	222.1 a	2160.5 bc
<i>O. rufida</i>	2.7 bc	50.7 a	226.0 a	3034.2 a
<i>O. microdasys</i>	2.3 c	27.4 bc	133.3 c	2050.8 bc
<i>O. imbricata</i>	2.1 c	21.0 cd	112.5 c	1375.6 d

Letras iguales no difieren estadísticamente según prueba de Tukey (P. =0.05)

Características citológicas.

Los resultados obtenidos en el análisis citológico, respecto al número cromosómico de los cinco clones de nopal (seis especies y dos variedades) se muestran en el (cuadro 4.33) que se ilustran a continuación, mediante fotografía de cada uno de los clones, una microfotografía de las células somáticas y un dibujo donde se aprecian más fácilmente su número de cromosomas.

Una de las características interesante de los resultados cromosómicos, fue que todas las muestras de los nopales silvestres resultaron con $2n = 2 X = 22$ (diploides), mientras que los análisis de las muestras de *Opuntia ficus-indica* que es una planta cultivada, fueron $2n = 8x = 88$ (octaploide). En las heladas de diciembre de 1996 (las cuales fueron excepcionales, ya que duraron mas de tres días con temperaturas menores de los 5° C), todas las plantas introducidas sufrieron severos daños y muchas murieron. En el caso de los nopales silvestre, sólo se observaron ligeros daños en las partes más tiernas de las plantas, según datos que se tomaron en marzo de 1996, en los campos de la U.A.A.A.N y áreas circunvecinas.

Cuadro 4.33. Resultados obtenidos del estudio cromosómico en especies de nopal (*Opuntia spp*), utilizadas como forraje en el sur del estado de Coahuila.

Especie	Numero Cromosómico	Nivel de ploidía
<i>O. lindheimeri var subarmata</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. lindheimeri var. Tricolor</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. cantabrigiensis</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. microdasys</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. rufida</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. imbricata</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. rastrera</i>	$2n = 2x = 22$	Diploide
<i>O. ficus – indica</i>	$2n = 8x = 88$	Octaploide

4.3.2. Características morfológicas y cromosómicas del siete especies del género *Opuntia* spp utilizadas como forraje en el sur del estado de Coahuila, México.



Figura 4.8. Características generales de *Opuntia microdasys* *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.



Figura. 4.9. Número cromosómico de *Opuntia microdasys*. Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.10. Características generales de *Opuntia rastrera*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.

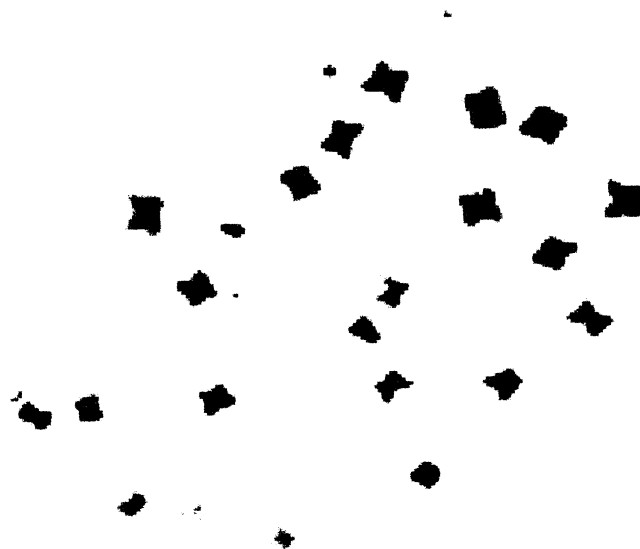


Figura. 4.11. Número cromosómico de *Opuntia rastrera*. Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.12. Características generales de *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.



Figura. 4.13. Número cromosómico de *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*. Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.14. Características generales de *Opuntia cantabrigiensis*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.



Figura. 4.15. Número cromosómico de *Opuntia cantabrigiensis*. Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.16. Características generales *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.

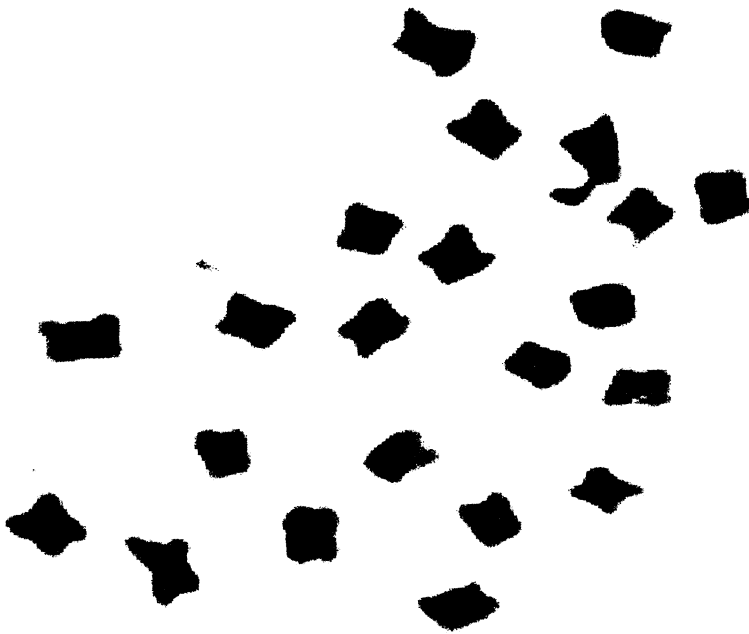


Figura. 4.17. Número cromosómico de *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata*.
Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.18. Características generales *Opuntia rufida*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.

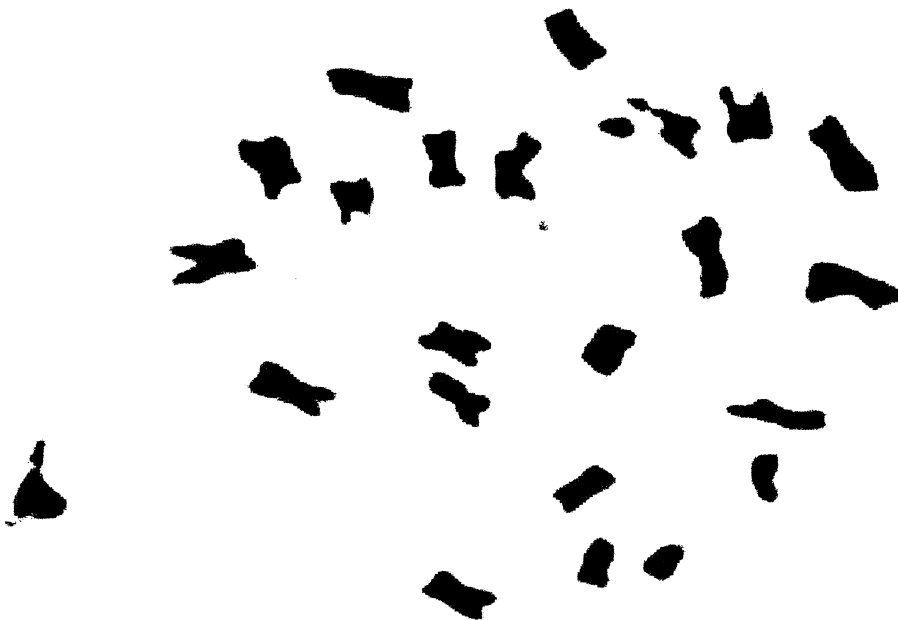


Figura. 4.19. Número cromosómico de *Opuntia rufida*. Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.20. Características generales *Opuntia imbricata*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.

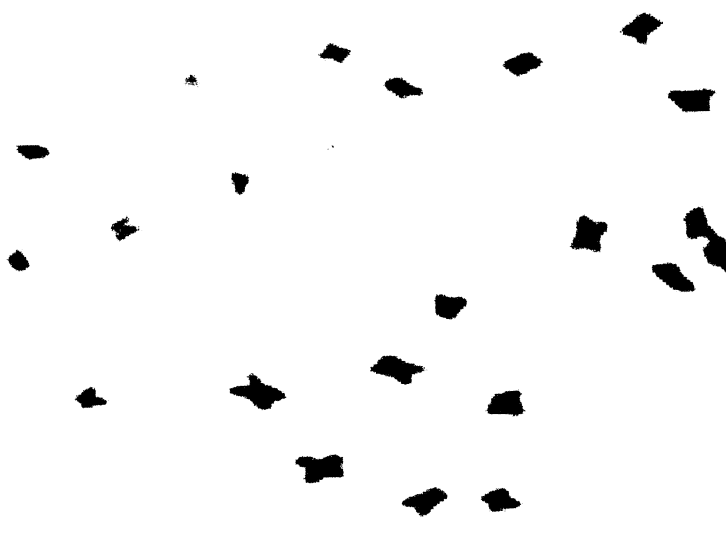


Figura. 4.21. Número cromosómico de *Opuntia imbricata*. Célula somática ($2n = 2x = 22$).



Figura 4.22. Características generales *Opuntia ficus-indica*, *in situ*, en el sur del estado de Coahuila.



Figura. 4.23. Número cromosómico de *Opuntia ficus-indica*. Célula somática ($2n = 8x = 88$).

Análisis bromatológico.

Las características principales de las diferentes especies en estudio en cuanto a peso fresco, peso seco y materia seca se pueden observar en el cuadro 4.34. En estos datos se puede observar la importancia del nopal como fuente de agua, ya que almacena más del 90 por ciento de su peso, en especies como *O. Ficus-indica*. En el cuadro 4.35 se muestran los resultados de el análisis bromatológico de las especies estudiadas, que indican que no existe diferencia de ($p>0.05$) materia seca total (MST), materia orgánica (MO), cenizas (C), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y extracto libre de nitrógeno (ELN), entre las especies cosechadas en otoño. En todos los componentes de análisis bromatológico, se encontraron altos porcentajes con respecto a los mencionados por Flores y Aguirre, (1992) y Murillo *et al.*, (1994), para estas especies y variedades. Aunque no se reportan las condiciones del material que se estudió, estas variaciones pueden deberse a factores como la edad de la penca, tipo de suelo donde se desarrolla la planta o la época de corte. De igual manera, Ramírez *et al.* (2000) encontraron niveles de proteína cruda de 6.1 por ciento, en *Opuntia engelmannii* para la estación de otoño, aunque la más baja se obtuvo durante la primavera (5.1 por ciento).

Cuadro 4.34. Valores máximos, mínimos y media del contenido de agua y peso seco de las especies en estudio, en el municipio de Saltillo, Coahuila.

Especie	Máximo kg.			Mínimo kg.			promedio		
	Peso fresco	Peso seco	% M.S	Peso fresco	Peso seco	% M.S	Peso fresco (kg)	Peso seco (kg)	% M.S
<i>O. lindheimeri</i> <i>var. tricolor</i>	1.165	0.214	18.30	0.795	0.152	19.10	0.930	0.205	22.00
<i>O. lindheimeri</i> <i>var. subarmata</i>	2.249	0.589	26.10	0.914	0.192	21.10	1.404	0.332	23.00
<i>O. imbricata</i>	1.296	0.318	24.00	0.839	0.251	30.00	0.995	0.271	30.00
<i>O. cantabrigiensis</i>	1.603	0.308	19.20	0.891	0.251	28.00	1.203	0.250	21.00
<i>O. rastrera</i>	1.119	0.216	19.40	0.328	0.620	19.10	0.592	0.110	18.00
<i>O. rastrera</i>	0.691	0.123	18.10	0.125	0.298	23.80	0.348	0.644	19.00
<i>O. ficus indica</i>	4.346	0.459	10.50	1.918	0.206	10.70	2.978	0.291	9.70

% M.S = Por ciento de Materia Seca.

Haciendo comparaciones con los valores obtenidos por Martínez (1994) en especies de maguey forrajero *Agave atrovirens* (Karw) y *Agave salmiana*, los cuales tuvieron porcentajes para proteína cruda de 4.96 y 5.43, extracto etéreo 1.64 y 1.58, fibra cruda 18.46 y 16.39, cenizas 16.89 y 18.83, extracto libre de nitrógeno 58.05, respectivamente, se puede apreciar ventaja por parte de las *Opuntias* estudiadas. Esto es de algún modo bueno, ya que el nopal, por su mayor disponibilidad y abundancia se usa mas como forraje, por los ganaderos de la región. Con tales resultados se puede pensar que las especies estudiadas en el presente trabajo, tienen buen nivel nutrimental para la estación de otoño.

Cuadro 4.35. Análisis bromatológicos de las especies del género *Opuntia*, estudiadas del municipio de Saltillo, Coahuila.

CONCEPTO (%)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			<i>var subarmata</i>	<i>var tricolor</i>	
MST	90.94	91.94	92.00	93.35	93.01
MO	69.90	66.34	70.07	66.17	69.80
C	21.04	25.60	21.93	27.19	23.21
PC	9.14	10.07	6.67	8.10	6.79
EE	1.48	1.70	1.55	1.38	1.23
FC	14.47	15.78	19.26	17.76	17.90
ELN	54.69	47.67	51.11	46.12	51.35

¹Base seca. MST= Materia Seca Total, MO= Materia Orgánica, PC= Proteína Cruda, C= Cenizas, EE= Extracto Etéreo, FC= Fibra Cruda y ELN= Extracto Libre de Nitrógeno.

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca mostrada en el cuadro 4.36 no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, pero se puede apreciar que fue la *Opuntia ficus indica* la que tuvo el mayor coeficiente de digestibilidad (63.99%), y la *Opuntia lindheimeri var. tricolor* con 55.32%, el menor coeficiente. La digestibilidad de la materia orgánica tuvo diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. La comparación de medias indica que la *Opuntia ficus- indica* (65.96%) es totalmente diferente de la *O. lindheimeri var. tricolor* (51.74%); y las similitud entre las especies *O. ficus indica*, *O. imbricata*, *O. lindheimeri var. subarmata* no son para *O. lindheimeri var. tricolor* y *O. cantabrigiensis*.

Cuadro 4.36. Digestibilidad *In vitro* de las especies del género *Opuntia* estudiadas del municipio de Saltillo, Coahuila.

CONCEPTO (%)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricada</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			<i>var subarmata</i>	<i>var tricolor</i>	
DIVMS	63.99	60.86	59.20	55.32	57.51
DIVMO	65.96a*	63.34ab	63.83ab	51.74c	55.26bc

DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca

DIVMO= Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica

- Medias en las hileras con letras diferentes no son iguales ($P < 0.05$).

Estos resultados de digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la materia orgánica son ligeramente menores, comparados con los que para las especies de maguey forrajero (*Agave atrovirens* (Karw) y *Agave salmiana*) reporta Martínez (1994); sólo la *Opuntia ficus indica* muestra mayor digestibilidad ante estos forrajes. Los valores obtenidos mediante DIVMS por Cherney *et al.* (1993), en alfalfa (75.1%), silo de maíz (73.2%) y avena (83.7%), son superiores a los que se encontraron en el presente trabajo. Sin embargo, al comparar los valores reportados por Valdes y Jones (1987), para la DIVMS en 30 zacates (65.3% en promedio) y 25 leguminosas (58.5% en promedio), dan lugar a suponer que las *Opuntias* estudiadas son ligeramente menos digestibles que los zacates y más digestibles que las leguminosas (83.7%).

Tasa de Degradación de las Paredes Celulares (FDN)

En el cuadro 4.37, se observa que la tasa de degradación (kd) en *Opuntia ficus indica* (0.61 %/h) fue mayor; le siguen en orden descendente *Opuntia cantabrigiensis* (0.43 %/h), *Opuntia imbricada* (0.34 %/h), *Opuntia lindheimeri var. tricolor* (0.31 %/h), *Opuntia lindheimeri var. subarmata*, (0.31 %/h). Ramírez (2000) obtuvo en *Opuntia engelmannii*, para la estación de Otoño, una tasa de degradación *in situ* de la materia seca de 11.7% y una media anual de 12.1%, datos que dan lugar a duda por ser exageradamente altas, aunque en el método *in vitro* da una tasa de digestión mas lenta, más larga del tiempo de retraso (lag) y baja extensión de digestión Varel and Kreikemeier (1995). En nuestros resultados, al compararse con los obtenidos por Cruz (1999) en heno de alfalfa, ensilado de maíz y paja de sorgo con tasas de 0.18, 0.61 y 0.38 %/h respectivamente, se puede advertir que todas las especies superan la tasa de degradación de la alfalfa. La *Opuntia ficus indica* tuvo tasa similar al ensilado de maíz. Cabe aclarar que la cinética de digestión de esta *Opuntia* se comportó de manera muy irregular. Fisher *et al.*, (1989) presenta las kd de la FDN *in vitro* de rye grass (*Secale cereale* L), de 0.16%/h en estado vegetativo y 0.04%/h madura; avena (*Avena sativa* L) 0.13%/h forma vegetativa y 0.04%/h maduro; alfalfa (*Medicago sativa* L) 0.19%/h, en prefloración. Al comparar los resultados de estos autores tenemos que las especies de nuestro estudio tienen mayor calidad de fibra. Sin embargo, Parada (1997) obtuvo kd de la FDN por el sistema *in situ* para heno de alfalfa 0.54%/h, rye grass 0.57%/h, heno de avena 0.62%/h, rastrojo de maíz 0.27%/h y paja de

sorgo 0.20%/h; de esto se puede pensar la influencia de la calidad del forraje y de las diferencias en los métodos utilizados. Puede pensarse que la variación en las kd de los forrajes estudiados resulta de factores que afectan la calidad de la fibra de los forrajes como lo es la lignificación, porque aunque la FDN de algunas especies se mostró en bajos porcentajes su kd fue alta y viceversa. La lignina de las paredes celulares se asocia negativamente con la digestión de la fibra por los rumiantes (Jung, 1989).

Cuadro 4.37. Tasa de degradación (kd) de la fibra de las especies tratadas del género *Opuntia*, del municipio de Saltillo, Coahuila.

CONCE-PTO	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			var. <i>subarmata</i>	var. <i>tricolor</i>	
FDN (%)	53.79	55.73	53.44	50.71	62.06
FPI (%)	7.93	18.42	21.39	10.46	11.31
FPD (%)	45.86	37.31	32.05	40.26	50.75
Kd (%/h)	0.44	0.31	0.20	0.24	0.39

FDN= Fibra en Detergente Neutro.

FPI= Fibra Potencialmente Indigestible.

FPD= Fibra Potencialmente Digestible.

En el cuadro 4.38 se aprecian los resultados de la digestión a las primeras cuatro horas de incubación, y tomando en cuenta la FDN original mostrada en el cuadro 4.37 para cada muestra correspondiente, la *Opuntia cantabrigiensis* da la mayor degradación de la fibra, y en orden descendente *Opuntia ficus indica*, *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia Lindheimeri* var. *subarmata*. Los datos en el cuadro 4.39 corroboran lo anterior en los porcentajes de fibra potencialmente digestible (FPD); los por cientos a las

96 horas de incubación, en orden descendente, la mayor fue para *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia ficus indica*, *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*, *Opuntia imbricata* y *Opuntia Lindheimeri* var. *subarmata*, las cuales dieron datos de 50.75, 45.86, 40.26, 37.31 y 32.05 por ciento, respectivamente. Se considera de 96 horas el tiempo máximo de digestión, para los forrajes (Llamas y Tejada, 1990).

Cuadro 4.38. Fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies del género *Opuntia*, a diferentes tiempos de incubación *in vitro*, del municipio de Saltillo, Coahuila.

TIEMPO (hr)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			var. <i>subarmata</i>	var. <i>tricolor</i>	
4	28.07	38.23	40.23	26.93	29.41
8	38.21	37.84	35.59	23.50	30.24
12	30.29	36.99	35.40	23.68	33.06
24	40.35	26.15	26.32	19.12	30.51
36	24.52	31.26	26.85	14.57	25.57
48	39.67	23.43	22.04	19.03	17.11
60	22.38	22.19	27.19	11.67	19.14
72	11.93	21.15	30.74	11.74	14.75
84	7.24	18.52	27.31	10.19	14.33
96	7.93	18.42	21.39	10.46	11.31

Cuadro 4.39. Fibra Potencialmente Digestible (FPD) de las especies, a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

TIEMPO (hr)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			<i>var subarmata</i>	<i>var tricolor</i>	
4	28.85	17.50	13.20	23.78	32.49
8	18.71	23.97	17.84	27.21	31.82
12	20.80	18.74	14.39	35.31	29.00
24	16.57	29.58	23.47	31.59	31.55
36	32.40	24.46	26.58	36.14	36.49
48	17.26	32.30	33.59	31.68	44.79
60	31.41	33.53	26.25	39.04	42.93
72	41.86	34.58	22.70	38.97	47.32
84	46.55	37.20	26.13	40.52	47.73
96	45.86	37.31	32.05	40.26	50.75

Se transformaron logarítmicamente los datos de fibra potencialmente digestible (FPD) obtenidos de los diferentes tiempos de incubación *in vitro*, y mediante regresión lineal se obtuvo un modelo, en el cual β representa la tasa de degradación de la fibra para cada especie de nopal estudiado (Figuras 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 y 4.28).

En estas mismas figuras se observa la evolución de la digestión en los tiempos de incubación. Para las especies *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri. var tricolor* la gráfica deja ver que al tiempo de 84 horas, la fibra potencialmente digestible deja de ser relativamente digestible;

no es así para la *Opuntia cantabrigiensis* y *O. lindheimeri. var. subarmata*, las cuales mostraron disminución en el tiempo máximo de digestión.

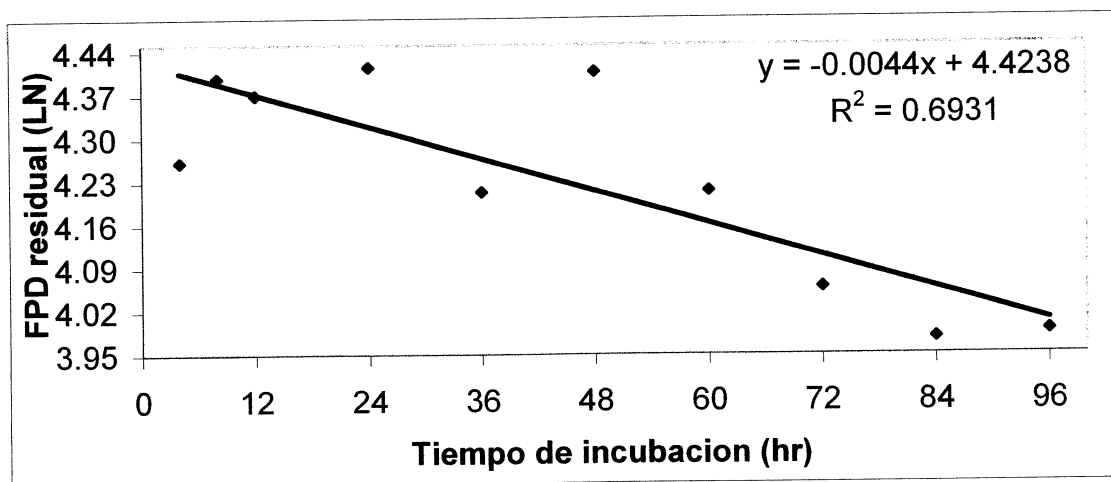


Figura 4.24. Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de *Opuntia ficus indica* a los diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

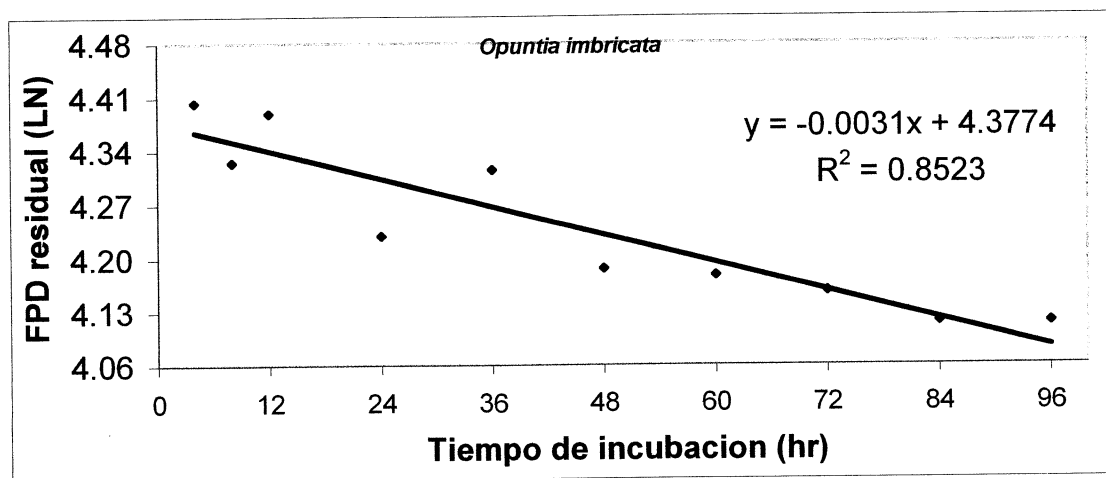


Figura 4.25. Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de *Opuntia imbricata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

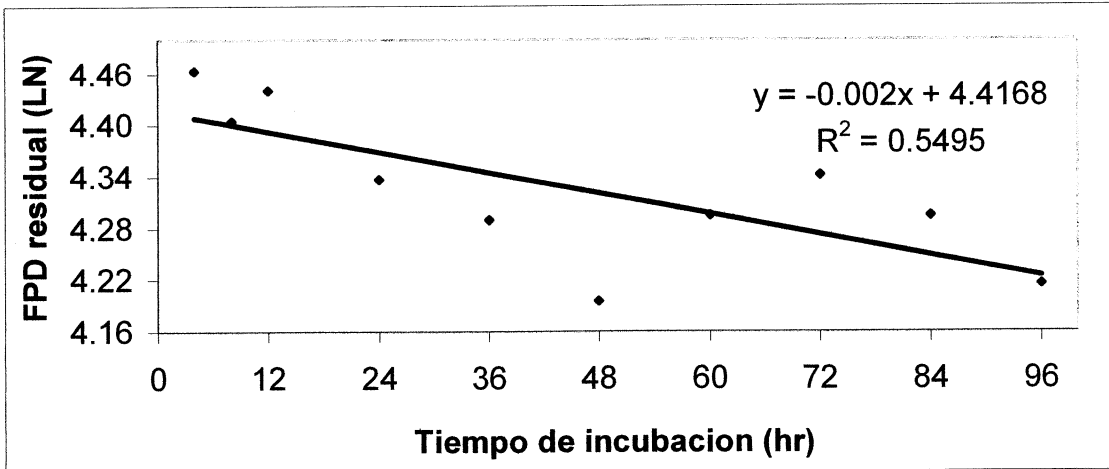


Figura 4.26. Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri*. var. *subarmata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

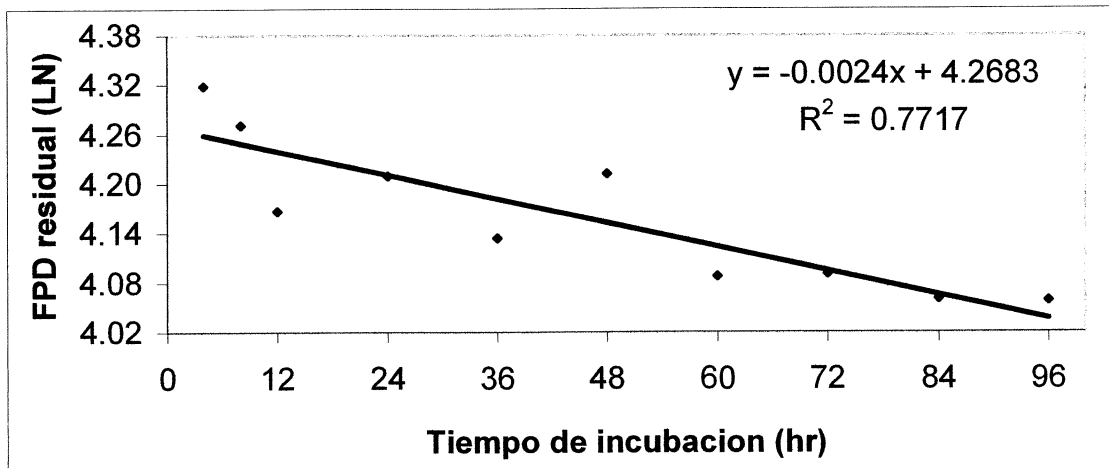


Figura 4.27. Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri*. var. *tricolor* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

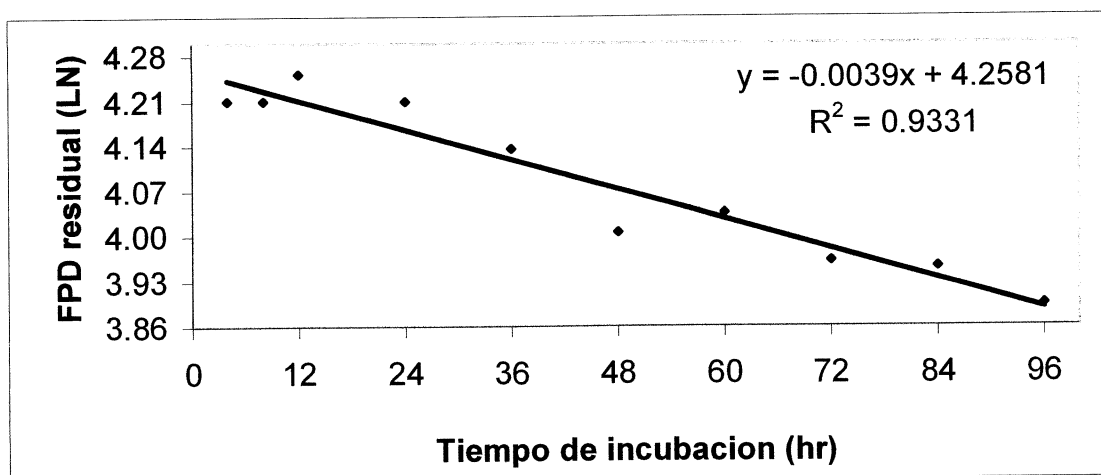


Figura 4.28. Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual de *Opuntia cantabrigiensis* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

En la figura 4.21 se puede apreciar que no hay relación entre el contenido de FDN de los forrajes con la kd de los mismos, lo que dejan ver que la FDN no puede ser tomada como indicador de kd en los forrajes. Lo mismo indican los resultados obtenidos por Cruz (1999) mediante digestibilidad *in vitro* de heno de alfalfa, ensilado de maíz y paja de sorgo.

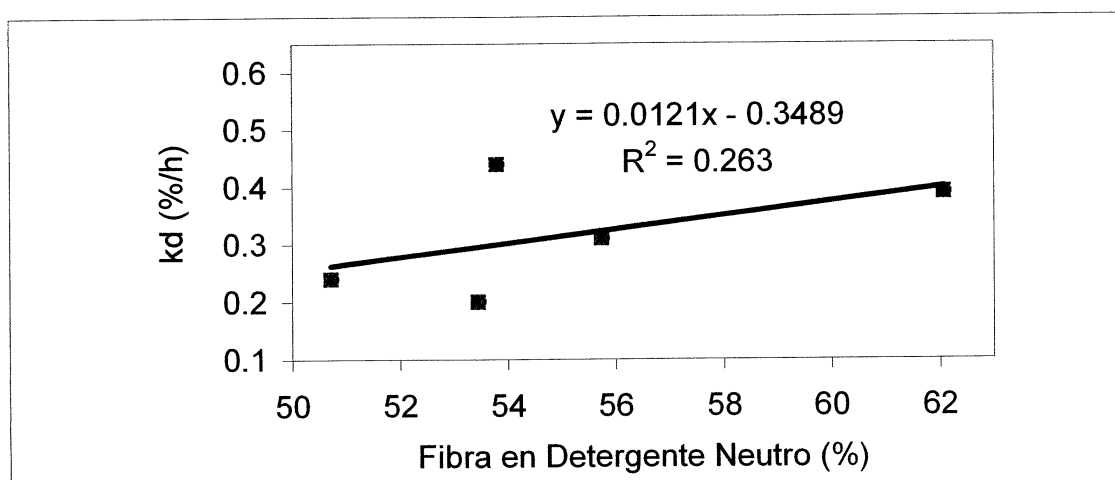


Figura 4.29. Relación entre el contenido de Fibra en Detergente Neutro FDN y su tasa de degradación (kd) entre las especies.

Para la degradación de la Fibra en Detergente Neutro (FDN) se encuentran coeficientes altos en todas las especies para el tiempo de cuatro horas, como se aprecia en el Cuadro 4.22. Donde la *Opuntia cantabrigiensis* se muestra con mayor rango y los siguen descendentemente: *O. ficus indica*, *O. lindheimeri var tricolor*, *O. imbricata* y *O. lindheimeri var subarmata*. En el tiempo de máxima extensión de la digestión a las 96 horas se observa casi la misma jerarquía anterior de las especies en la digestión, a excepción de la *O. ficus indica*, que resulta con la más alta para este tiempo. La digestión de la FDN, no es equitativa dentro de las especies ni entre especies; entre esto se puede pensar nuevamente en la lignificación de la fibra, la cual puede ser el factor que más afecta la tasa de degradación de la fibra (Juscafresa, 1974).

Cuadro 4.22. Digestibilidad de las paredes celulares de las especies estudiadas a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

TIEMPO (hr)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			<i>var subarmata</i>	<i>var tricolor</i>	
4	50.41	28.87	24.76	42.65	52.24
8	32.90	37.91	34.79	49.58	51.04
12	40.19	31.69	28.59	59.68	46.63
24	29.96	50.14	47.09	59.25	50.70
36	56.90	43.15	48.81	68.08	58.73
48	31.15	55.13	60.61	61.87	72.14
60	56.97	58.68	49.13	74.43	69.07
72	77.44	60.37	43.94	74.62	76.29
84	86.50	65.73	48.83	77.25	76.89
96	85.09	66.02	59.74	75.65	81.71

CONCLUSIONES

El presente estudio plantea la evaluación del nopal forrajero en el sur de Coahuila considerando cuatro aspectos generales que en conjunto, aportan elementos para el mejor aprovechamiento de esta especie.

Especies utilizadas y estado actual de su población. De las 120 encuestas realizadas a propietarios de los diferentes sistemas de explotación pecuaria; 23 fueron de productores de establos lecheros , los cuales utilizan principalmente tres especies de nopal forrajero: *Opuntia rastrera* (nopal rastrero) en un 80 por ciento, por ser la más abundante y se encuentra en poblaciones naturales muy compactas lo que facilita su cosecha y abarata los costos; *O. lindheimeri* (nopal cacanapo) en un 12 por ciento y *O. imbricata* con un cuatro por ciento y otras especies con un cuatro por ciento. Para el caso de las explotaciones extensivas de bovinos, caprinos y ovinos; el número de nopales forrajeros utilizados por los ganaderos es mayor, comprenden 10 taxas, siendo las más importantes la *Opuntia rastrera* con un 40 por ciento; la *O. lindheimeri var lindheimeri* con un 20 por ciento; la *O. lindheimeri var. tricolor* con un ocho por ciento y la *O. imbricata* con un seis por ciento. El problema de la extracción del nopal forrajero es que generalmente se extrae con todo y raíz

a excepción de la *O. imbricata* que solo se le cortan las partes tiernas (no mayores de cuatro años).

El uso del nopal forrajero (*spp*) en el sur de Coahuila, es de mucha importancia, ya que representa una fuente abundante, segura y barata de forraje en las épocas críticas. Sin embargo la fuerte presión que se ha ejercido en estos ecosistemas esta provocando una acelerada desertificación. De las 47 taxas reportadas para Coahuila, 15 son las mas utilizadas como forraje en el sur del estado entre las que destacan la *Opuntia rastrera* (nopal rastrero), *Opuntia lindheimeri* (nopal kakanapo) y *Opuntia imbricata* (nopal cardencha).

Las mejores nopaleras se localizan en áreas con suelos migaron arenoso, migaron arcilloso y arcilloso con un pH alcalino en (7.4 a 8.4) en suelos delgados y con buen drenaje, con una pendiente de 0 a 5 por ciento. Las recomendaciones son las de utilizar sitios con estas características.

Las condiciones tan precarias en que labora la gran mayoría de los estables lecheros hacen que las características de la leche no sean de buena calidad, por el manejo deficiente que se le da. Las grandes distancias de donde se tiene que cosechar el nopal forrajero incrementa los costos y hace incosteable la utilización del nopal como forraje, siendo sustituidos por otros forrajes más baratos. Actualmente la gran mayoría de los establos medianos que daban nopal, ya no lo están haciendo por incosteable. La ración mas

importante será la que cubra todos los requerimientos del animal y complementarla con forrajes toscos y esquilmos.

El nopal forrajero debe utilizarse solo cuando las sequias y los inviernos son prolongados, y se incrementan los costos de los forrajes convencionales y hace costosa su incorporación en las dietas.

Es recomendable que se utilicen principalmente las especies *O. rastrera*, *O. lindheimeri* y sus variedades y *O. pheacantha* (esta especie se distribuye mas al norte del estado) que son las especies mas apetecidas por los animales.

Se recomienda establecer sistemas de manejo y utilización en las poblaciones naturales, para permitir un buen manejo y su pronta recuperación. Promover la rehabilitación de las áreas sobreutilizadas. Establecer plantaciones con las especies y variedades mas utilizadas por los ganaderos.

Puesto que la generalidad de los establos lecheros se encuentran en muy malas condiciones es recomendable plantear un programa de asesoría y capacitación que incluya todos los aspectos de manejo (nutrición, sanidad animal, administración, manejo del hato e industrialización de la leche, etc.) así como el mejoramiento de sus instalaciones mediante el apoyo de las instancias gubernamentales que permitan a estos productores trabajar en mejores condiciones.

Plantación. Los resultados obtenidos de los ocho tratamientos, con diferentes formas de plantación, muestran que el tratamiento t4 (dos pencas plantadas en forma vertical con exposición norte-sur) presento el mejor establecimiento y producción, debido a la estructura de la planta, los renuevos que esta daba no eran dañados por los lagomorfos y roedores, sus renuevos tenían su crecimiento con menos disturbios.

Los 5t (dos pencas plantadas en forma horizontal con exposición este-oeste) y t6 (dos pencas plantadas en forma horizontal con exposición norte-sur), aunque tenían mayor área de enraizamiento debido a la forma de la siembra (horizontal), los rebrotes y ellas mismas estaban mas accesibles a los lagomorfos y roedores. Los tratamientos t1 (una penca plantada con exposición norte-sur), tenían menos probabilidades de sobrevivir. Los tratamientos t7 (dos pencas tiradas) y t8 (una penca tirada), fueron los peores, teniendo los resultados menos adecuados para utilizarse en un futuro, aunque en su estado silvestre este es el único método de reproducción, donde la planta puede crecer más rápido a diferencia de las semillas.

Comparar las posiciones este-oeste y norte-sur fue importante, ya que la exposición este-oeste resultó menos adecuada. La exposición norte-sur fue la mejor en cada uno de los tratamientos donde se utilizó con una y dos pencas en forma vertical y horizontal.

En base a lo anterior se hacen las siguientes recomendaciones 1).- Plantar las pencas del norte-sur, con dos pencas en forma vertical (t4) en surcado lister, enterrándose el 75 por ciento de la primera penca. Este tratamiento se utiliza si en la parcela existe una alta incidencia de liebres y roedores. 2).- Realizar las plantaciones al inicio de la época de lluvia. 3).- Si en su parcela existe una baja incidencia de liebres y roedores se recomienda el tratamiento seis con dos pencas plantadas en forma horizontal con exposición norte-sur. 4).- Que el material a plantar sea de la región y por el que los animales tengan mas preferencia.

La fisiología y los cariotipos como apoyo en la identificaciones taxonómicas de

las especies del género *Opuntia*, y su relación nutricional. Para determinar si algunas de las características fisiológicas de estas plantas podrían ser utilizadas como herramientas para separar algunas variedades se procedió a analizar el grosor de la cutícula de las plantas del norte del país y se observó que son menores (2 a 7 μm) que las del sur (8.1 a 57.8 μm) es probable que el incremento en grosor la cutícula en especies del centro se deba a la selección de las especies y al manejo de estas plantaciones, ya que la mayoría son variedades cultivadas, las cuales presentan mayor desarrollo vegetativo. Solo dos especies de las estudiadas (*O. microdasys* y *O. rufida*), presentan tricomas, los cuales ejercen un papel protector contra la perdida de agua, contra el exceso de radiación y forma barreras protectoras contra la perdida de agua. Además los tricomas se presentan en densidades altas lo cual impide determinar la densidad y tamaño de los estomas.

La *Opuntia rastrera* por sus hábitos de crecimiento puede estar sometida a tasas de transpiración alta, por el hecho de que sus cladodios están expuestos a temperaturas altas. Esto concuerda con la densidad (menor) y tamaño (pequeño) de sus estomas.

No existe diferencia en el número de cromosomas ($2n=2x=22$) en las especies nativas, a comparación de las especies cultivadas (*O. ficus-indica*, $2n=8x=88$),

DISCUSIÓN

La utilización del nopal como forraje se inicio con la introducción de animales domésticos por los españoles, para cubrir las necesidades de carne en la primera etapa de la conquista, ya que la principal fuente de abastecimiento (fauna silvestre) se vio mermada, que fue necesaria la introducción de estas especies. La adaptación de estas especies fue tal que provocó un crecimiento desmesurado, que provoco la degradación de los pastizales y se empezó a ejercer una fuerte presión sobre otros recursos naturales con potencial forrajero de menor calidad como: el nopal, el maguey, la palma, el mezquite, etc. El primer reporte técnico del uso del nopal como forraje fue el de Griffiths (1905), que describe la forma y la cantidad de nopal suministrado en los establos lecheros así como la producción de leche, de aquella época en el estado de Texas, U.S.A y noreste de México (Nuevo León y Coahuila).

De acuerdo con Griffiths (1905) y Blanco (1958) se proporcionaba entre 20 y 50 kg de nopal en verde (quemándosele las espinas con leña cosechada para tal propósito), dependiendo de la edad del animal y el estado fisiológico del bovino (seca, preñada, lactando, vaquilla, becerro y toro), mismos que

concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo (de 15 a 42 kg de nopal verde por vaca). Las variaciones en la producción de leche eran las mismas, ya que dependía de la edad, número de partos, raza de la vaca, días de ordeña. La leche en 1905, se vendía por casa y los costos de producción eran bajos, aunado a que las reglas sanitarias no eran tan estrictas como ahora, la leche se vendía directamente del productor al consumidor. La producción oscilaba entre los 10 a 25 lts por animal, igual que ahora. Según Griffiths (1905), Lozano 1958, Flores y Aguirre (1979), la leche producida era vendida directamente al consumidor o se hacían quesos. Actualmente casi todo (90 por ciento) la leche que se produce en la región de Saltillo, Coahuila, se vende a las fábricas pasteurizadoras, entre \$ 2.50 y \$ 3.00 pesos, precio que variará dependido de la cantidad del por ciento de grasa y acidez (Lozano, 1958; Griffiths, 1905).

Las especies de nopal forrajero (*Opuntia spp*) mas utilizadas como forraje son las mismas que utilizaban desde 1905 hasta el 2003, ya que Griffiths, (1905) reporta principalmente la *O. lindheimeri* (con sus variedades) y la *O. engelmannii*, para el sur de Texas, U.S.A., así como en Nuevo León y Noreste y Sur de Coahuila, México. (Blanco, 1957; Marroquín *et al*, 1964; Malo, 1965; Fuente, 1992; López, 1998). Los establos lecheros del sur de Coahuila consumen mas la *O. rastrera*, la que es cosechada en el suroeste del estado, esta especie no se distribuye en el noreste de Coahuila, norte de Tamaulipas y Nuevo León, región conocida como la Planicie Costera del Golfo (Fuentes, 1992; López, 1998).

Para el caso de las explotaciones extensivas se describe que las principales especies domésticas que consumen nopal son: los bovinos, caprinos y ovinos. Las especies más consumidas son la *O. rastrera*, *O. lindheimeri* y sus variedades, la *O. imbricata* entre otras. Las formas de cosechar el nopal forrajero, son las mismas que se utilizaban hace siglos (Griffiths, 1905), entre las que destaca: la cosecha directa por el animal (con espinas); la quema en pie (utilizando chamuscadora de gas o petróleo); el despunte (cortar el ápice de la penca), entre otros (Marroquín *et al*, 1964; López, 1988).

Las especies más consumidas por los bovinos y que pueden ser establecidas en el estado de Coahuila, fueron *Opuntia rastrera*, *O. lidheimeri* y sus variedades *O. cantabrigiensis* y sus variedades, las cuales pueden ser una alternativa para la alimentación de los bovinos en época de seca.

En base a los resultados obtenidos se puede mencionar que el nopal forrajero juega un papel importante en la dieta de ganado bovino, caprino y ovino, por lo que es indispensable promover un buen manejo de las poblaciones naturales y rehabilitar las áreas deforestadas así como la conservación del suelo como lo mencionan De la Cruz y Zapién, 1974.

Las mejores poblaciones de nopal forrajero se localizaron en suelos migajón arenoso, migajón arcilloso, arcillo arenoso y migajón, en suelos

delgados y poca pendiente, como las describe Marroquín *et al*, 1964 y López 1988.

Los resultados obtenidos de los ocho tratamientos, con diferentes formas de plantación, muestran que: Plantar dos pencas verticalmente con orientación norte-sur, presentó el mejor establecimiento y la mejor producción. A diferencia de los otros tratamientos, esto debido a la arquitectura vertical, ya que sus renuevos no eran dañados significativamente por lagomorfos y roedores.

Plantar dos pencas en forma horizontal (T5 y T6), aunque tenían mayor área de enraizamiento, los brotes y ellas mismas estaban más accesibles los lagomorfos y roedores, por lo que fueron más dañadas y su establecimiento y producción fue menor. Los tratamientos con una penca plantada, tenían menos posibilidades de sobrevivir, comparados con los tratamientos de dos pencas plantadas, pues una tiene menor capacidad de producción de renuevos que dos pencas y sus posibilidades de sobrevivir son más bajas.

Los tratamientos con pencas tiradas, fueron los peores, teniendo los resultados menos adecuados para utilizarse en un futuro.

En cuanto a la ubicación del establecimiento de los cladodios se pudo observar que las establecidas de norte-sur presentaron mayor crecimiento,

producción menor ataque de roedores y lagomorfos. Así mismo se puede hacer mención que la mejor época de plantación es al principio de época de lluvias.

En una investigación realizada por Rodríguez y Ayala, (1997) en el mismo sitio (Campo Experimental Forestal “La Sauceda”) mencionan que el nopal rastrero no se recomienda sembrar en surcado Lister ya que es muy dañado por las liebres. Esto contradice a los resultados obtenidos en el mismo lugar, ya que en este experimento los resultados son satisfactorios. Cabe señalar que los autores no mencionan la forma ni la época de plantación.

Otros autores De la Cruz y Zapién, 1974, reportaron para la región de la Sauceda, diferentes experimentos, con diferentes pendiente y profundidad del suelo, siendo muy pobres los resultados ya que los roedores y los lagomorfos impidieron un buen establecimiento y producción. La máxima producción de biomasa estimada en verde que obtuvieron, en una plantación con 2500 individuos por hectárea, en siete años fue de aproximadamente 9500 kg contra los 39, 303 kg, la máxima producción obtenida en el mismo sitio con diferentes tratamientos, con la misma densidad, en seis años.

En las zonas áridas es común que las plantas desarrollen cutículas gruesas. Conde en 1975, reportó grosores cuticulares para *O. Imbricata* de 2 μm y en *O. lindheimeri* de 7 μm estos valores concuerdan con los que se obtuvieron para las Opuntias de Saltillo, Coah., ya que presentan un grosor de

2.1 A 6.6 μm de espesor, dentro de la *splatiopuntias* las especies que presentan menor grosor cuticular son las especies tomentosas. Sin embargo el grosor de la cutícula de las especies reportadas en la zona centro del país presentan un grosor de 8.11 a 57.84 μm . Mientras que nopales colectados en los alrededores de Guadalajara presentan grosores cuticulares de 7.72 a 16.20 μm . Es probable que el incremento en grosor de cutícula en las especies del centro del país se deba a la selección de las especies y al manejo de estas plantaciones, pues casi todas son variedades cultivadas, las cuales presentan mayor desarrollo vegetativo.

Dentro de las características anatómicas se pudo observar que existen diferencias entre las silvestres y las cultivadas, por otra parte las especies *Opuntia microdasys* y *O. rufida* presentaron tricomas. En lo que respecta al número estomas fue menor en las especies que están más cerca del suelo (*O. rastrera* y *O. microdasys*) que en la especies de porte altos (*Opuntia cantabrigiensis* y *O. imbricata*).

Se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el número de cromosomas entre las especies nativas y cultivadas. Este cambio en el número de cromosomas (cariotipos) es más común en especies que han sido manejadas (seleccionadas y cultivadas por el hombre, como se aprecia en el resumen de Borrego y Burgos (1986) y Flores y Aguirre (1992).

En cuanto a la composición química del nopal, se encontró que son muy parecidos a los análisis obtenidos por otros autores, ya que estos varían por y que la variación en el contenido proteico que presentan algunas variedades se deba a la especie, estado fisiológico de planta (renuevo, pencas jóvenes, penca madura y penca vieja) y época del año, por lo que se puede considerar un forraje alternativo (Borrego y Burgos, 1986; López, 1998).

Al comparar los resultados con otros autores, se tiene al que las variaciones en kd de las variedades estudiadas, son debido principalmente a su contenido de lignina, tal como lo menciona Jung (1989), ya que la lignina se asocia negativamente con la digestibilidad de las fibras por parte de los rumiantes.

Las especies *Opuntia imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* tienen mejor digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica.

Por lo anterior y por que tienen mayor tasa de degradación la *Opuntia ficus-indica* y la *O. Imbricata*, son las más adecuadas para incluirse en la dieta de los rumiantes.

Los valores obtenidos de la digestibilidad *in vitro* fueron favorables, por lo que las especies *Opunita imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* presentaron mejor digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica, mientras que la mayor tasa de degradación la *Opuntia ficus-indica* y la *O. imbricata*, por lo que

estas son las más adecuadas para incluirse en la dieta de mantenimiento de rumiantes.

Al compararse los resultados con otros autores se observa que los valores de digestibilidad *in vitro* varían mucho, desde muy altos Murillo *et al.* (1994), la cual reporte una digestibilidad entre 90 por ciento hasta 94 por ciento el nopal con aditivos. Mientras que otros autores obtuvieron porcentajes más bajos, como los obtenidos en este trabajo entre los 50.20 por ciento y 64.91 por ciento, como se aprecian en el cuadro 23. Estas diferencias en los valores, pueden estar influenciados por las variedades, edad de los cladodios, época del año en que se cosecha, lugar donde crece, etc.

Cuadro 6.1 Digestibilidad in Vitro de cinco especies (%), reportado por varios autores.

Concepto (%)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia Imbricata</i>	<i>Opunita lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			var subarmata	var tricolor	
Lopez, 1994	63.99	60.86	59.20	55.32	57.51
Murillo, 1994	---	---	91.20	90.20	94.10
Terblanche, et al., 1971	50.20	---	---	---	---
Hare, 1908	64.91	---	---	---	---

De acuerdo a estos resultados, todas las especies y variedades de nopal pueden ser utilizadas en dietas de mantenimiento, para cubrir parcialmente los requerimientos de los rumiantes, principalmente en épocas críticas.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*. Washington, D.C. USA.
- Aguilar G., J. I. 1964. *Forrajes y Plantas Forrajeras de México*. Ed. Trucco, México. 374 p.
- Aguilar B., G. 1991. Experiencias en la Producción de Nopal (*Opuntia spp*) en el Área de Chapingo, México. *Germen*. México. 10:1-19 pp.
- Anderson, E. F. 2001. *The Cactus Family*. Timber Press. Portland, Oregon. U.S.A. 776 p.
- Anthony, M. 1956. The *Opuntiae* of the Big Bend Region of Texas. *Amer. Midl. Nat.* 55 (1): 225-256 pp. U.S.A.
- Arreola N., H.J. 1996. Contribución al Conocimiento de las Cactáceas de los Municipios de Lagos de Moreno y Ojuelos de Jalisco, México. 151 p.
- Turner, R.M., S.M. Allorn; G.Olin. 1969. Mortality of transplanted Saguaro Seedlings. *Ecology* 50: 835-844.
- Barrientos P., F. 1972. Rendimiento del Nopal *Opuntia ficus-indica* var. COPENA F-1 a Diversas Densidades. Rama Genética. Colegio de Posgraduados de Chapingo. Chapingo, Edo. De México. México.
- Barrientos P., F. 1983. Nopal y *Agaves* como Recurso de las Zonas Áridas y Semiáridas de México. In J.D. Molina Galan (Ed). *Recursos Agrícolas de Zonas Áridas y Semiáridas de México*. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 133-143 pp.
- Becerra R., 1975. Eficiencia Fotosintética del Nopal *Opuntia Spp* En Relación con la Orientación de sus Cladodios. Tesis de Maestría. Chapingo, México. Colegio de Posgraduados.
- Belasco, I. J.; M. F. Gribbins; D. W. Kolterman. 1958. The Response of Rumen Microorganisms to Pasture Grass and Prickly Pear Cactus Following Foliar Application of Urea. *J. Animal Sci.* 17(1):209-217 pp.
- Blanco M. 1957., 1957. El Nopal como Forraje para el Ganado de Zonas Áridas. *Aprovechamiento de la Tuna*. *El campo*: 23 (788) 34-54. México.

- Borrego E., F. y N. Burgos, V. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 201 p.
- Bravo H., H. 1966. Las Cactáceas de México. 2a. de UNAM. Vol. 1. México, 743 p.
- ✧ Bravo H., H. 1978. Las Cactáceas de México. 2a. Ed. UNAM. Vol. I. 743 p. México.
- ✧ Bravo H., H.; L. Scheinvar. 1995. El Interesante Mundo de las Cactáceas. Ed. Fondo de Cultura Económica. 233 p. México.
- Bravo H., H.; H. Sanchez. 1991, Las Cactáceas de México. Vol. III. 643 p. México.
- Britton, N. L. y J. N. Rose. 1973. The Cactaceae. (Reimpresión 1963). Pag. 318. Dover Publ., Inc. New York.
- ✧ Brutsch, M.O. 1997. Crop Manipulation in Spineless Prickly Pear *Opuntia ficus-indica* in South Africa, 2nd. International Conference on Prickly Pear and Cochineal. 22-25 September, Santiago, Chile.
- Cain, S.A. 1944. Foundations Of Plant Geography, Harper and Brother, New York.
- Calvino, M. 1952. Plantas Forrajeras Tropicales y Subtropicales. Ed. Trucco. México. 269 p.
- Cherney, D. J. R.; J. H. Cherney and R.F. Lucey. 1993. In vitro Digestion Kinetics and Quality of Perennial Grasses as Influence by Forage Maturity. J.Dairy Sci. 76: 790-797.
- Clavijero, F.X. 1789. Stória dellia California". Venecia. Traducida como Historia de la Antigua Baja California, México. (1852-1933).
- Cock, G, C. 1978. Drough Resistant Fodder Crops for the North Western Districs of the Karoo Regions; Irrigation Requeriment of Prickly Pear. Agricultura Research. Pretoria, South Africa.
- CODAGEN, 1979. Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal. Folleto Informativo No. 158. México.
- Coloblat, P. 1978. Index to Plant Chromosome Number. 1975-1978. Missouri

Botanical Garden. Missouri, U.S.A

- Comisión Nacional de Zonas Áridas - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (CONAZA-INIF). 1981. El Nopal. Publicación Especial N° 34. SARH. 85 p. México.
- Conde, L.F. 1975. Anatomical comparisons of five species of (Cactaceae). Ann. Missouri Bot. Gard. 62: 425-473.
- COTECOCA. 1979. Comisión Tecnológica Consuntiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero. (Coahuila- SARH). 255 p. México.
- Cottier, H. 1934. Quelques Aliments De Disette, Leur Valeur Et Leur Emploi. La Tunisie Agricole, 37 : 127-141.
- Cruz R.C. 1999. Tasa de Degradación *in vitro* de la Fibra de algunos forrajes de uso común. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- ‡ Daubenmire, R. F. 1982. Ecología Vegetal. Ed. Limusa. México. 496 p.
- De Arce, P.J. 1941. Un aliment du Betaïl. Le Cactus. Document et resergnements agricoles. Bull. L'agriculture. Gubernament General de L'algere. 4 p.
- ‡ De La Cruz C., J. A.; M. Zapién B. 1974. El Campo Experimental Forestal de Zonas Áridas de La Saucedá, Ramos Arizpe, Coahuila. Líneas de Investigación y Resultados. Bol. Div. No. 36 I. N. I. F. - S. A. G. México.
- De León, G.R. 1967. Estudio Comparativo de las Cualidades Nutritivas de *Opuntia spp.* En sus Formas Naturales y Deshidratadas. Tesis Profesional. Esc. Sup. de Agricultura Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- De Klerk., J.C. 1960. Spineless Cactus a Succulent Supplementary Feed. Farmin in South África. Pp. 36-37 South África.
- Elizondo, J.L., Weber, J.A. 1987. Una Nueva Variedad de *Opuntia lindheimeri* Engelmann. Cact. Susc. Mex. 32 (1): 16-18. México.
- Elizondo E., J. L.; J. J. López G.; J. Dueñez A. 1987. El Género *Opuntia* (Tournefort) Miller y su Distribución en el Estado de Coahuila. 2a. Reunión Nacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jardín Botánico del Instituto de Biología. UNAM. México. 35 p.

- ✦ Esparza S., C. 1988. Historia de la Ganadería en Zacatecas, 1531-1911. Departamento de Investigaciones Históricas, Universidad Autónoma de Zacatecas. 171 p. México.
- Fisher, D.S.; J.C. Burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of *in vitro* Cell-Wall Dissappearance and In Vivo Digestion. Published in Agron. J. 81: 25-33.
- Flores V., C.A. 1977. El Nopal como Forraje. 1. Revisión Bibliográfica. 2. Digestibilidad del Nopal *Opuntia ficus-Indica* var. COPENA. Fl. 3 Formulación de Raciones de Costo Mínimo en Base a Nopal. Tesis Ing. Agrónomo. Departamento de Zootecnia. ENA. Chapingo, México. 179 p.21
- ✦ Flores V., C.A. y O. Brauer. 1977^a. El Nopal *Opuntia ficus-indica* var. COPENA F-1 Como Forraje. Nueva Época. No.7-8. Chapingo, México. 83 p.
- Flores V., C. A.; J. R. Aguirre R. 1979. El Nopal como Forraje. (1^a ed) Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Tex. México. 79 p.
- *Flores V., C. A.; J. R. Aguirre R. 1992. El Nopal como Forraje. (2^a ed) Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Tex. México. 77 p.
- Fuentes R.,J. 1991. A Survey of the Feeding. Practices, Cots and Production of Dairy and Beef Cattle in Northern México. 2nd. Annual Texas Prickly Pear Council Convention. Kingsville, Texas, U.S.A.
- Fuentes R., J. M. 1992. Feeding Prickly Pear Cactus to Dairy Cattle in Northern México. 3rd Annual Texas Prickly Pear Council Convention. Kingsville, Texas, U.S.A.
- Fuentes R., J. 1997. El Nopal: Alternativa Forrajera en las Zonas Áridas del Norte de México. En: Vásquez-Alvarado, R.E., C. Gallegos – Vásquez, N. Treviño – Hernández y Y. Díaz Torres (Camp). Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Memorias del 7^o Congreso Nacional y 5^o Internacional. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. México.
- Gallegos, C.A. 1969. Estudio Botánico y Cromosómico de algunas variedades de nopal. Tesis profesional. Universidad de Coahuila. E.S.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.
- García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Larios. México. D. F.
- García V., A.1990.Técnicas y Procedimientos de Citogenética Vegetal. Ed. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. México. 144p.

- Gasto C., J.; R. Armijo T.; R. Nava C., 1975. Cálculo de la Eficiencia de Apotreramiento, Tamaño y Forma de Potreros. Mon. Tec. Cient. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico. 137-177 pp.
- Gasto C., J.; R. Nava C.; J. J. López L. 1981. Proceso de Carga y Descarga Frutal en Poblaciones Naturales de *Opuntia streptacantha* Lemaire. Uni. Auto. Agr. Antonio Narro. Monografía Técnico Científica. Saltillo, Coahuila. Mexico. 171-220 p.p.
- Gibson A. C.; P. Nobel S. 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press. Cambridge Massachusetts. U.S.A. 286p.
- González C., A.; A. J. W. Scheffey. 1964. Los Recursos Espontáneos y su Economía. En Beltrán, E. Las Zonas Áridas del Centro y Noreste de México y el Aprovechamiento de sus Recursos. I.M.R.N.R. 29-95 pp. México.
- González C., F.; G. Llamas L.; Jorge A. Bonilla C. 1998. Utilización de Nopal Como Sustituto Parcial de Alfalfa en Dieta para Vacas Lecheras. INIFAP-PRODUCE. Tec. Pec. en México. Vol. 36. No.1. Mexico. 73-81 pp.
- Goering, M.K., & Van Soest, P.J. 1970. Forage Fibre Analysis (Apparatus, Reagents, Procedure And Some Applications). USDA Agriculture Handbook, No. 379.
- Granados, S., & Castañeda P., D. y A. D. 1991. El Nopal: Historia, Fisiología, Genética E Importancia Fruticola. México: Trillas. 227 p.
- Grant, V.K. and K.A. Grant. 1979. Hybridization and variation in *O. pheacantha* Group in Central Texas. Bot. Gaz. 140 (2): 208-215 pp.
- ✠ Griffiths, D. 1905. The Priky-pear and Other Cacti as Food for the Stock. USDA. Bureau of Plant Industries Bulletin. 116 (1):42-56 pp. U.S.A.
- Gutierrez A., R. 1994. Incremento de Proteínas y Digestibilidad *in vitro* de Dos Genotipos de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) Bajo Condiciones de Laboratorio. Tesis Licenciatura. U. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 70 p.
- Hare, R. F. 1908. Experiments on the Digestibility of Prickly Pear by Cattle. Bull. 106. Bureau of Animal Industry. U. S. D. A. Washington. D. C.
- ✠Hoffman, W. 1979. The Manifold Uses of Prickly-pear (*Opuntia* spp) Mill, as Shown by Examples From Peru And México. Giessener Beitrage zur Intwicklungs forschung. 5. Reihel 1 (Simposium)
- INEGI, 1993. Condensado Estatal del Estado de Coahuila, México. (1:800 000)

Instituto Nacional de Geografía e Informática. México.

- Jewell D., C.; Islam-Faridi N. 1994. A Technique for Somatic Chromosome Preparation and C-banding of maize. In Walcott M. Freeling U. The maize handbook. Springer-Verlag. New York, USA. p. 484-493.
- Jones and Luchsinger. 1979. Plant Systematics. Mc. Graw-Hill. Book Company. 112-116 pp. U.S.A.
- Jung, H.G. 1989. Forage Lignins and their Effects on Fiber Digestibility. Published in Agron. J. 81: 33-38.
- Juscáfresa, B. 1974. Forrajes, Fertilizantes y Valor Nutritivo. Editorial AEDOS. Primera edición. Barcelona España.
- Lamb, E. y B. Lamb. 1983. Guía de los Cactus y Otras Suculentas. Omega. Barcelona, España. 450 p.
- Le Houerou, H. N. 1965. Note technique sur L'établissement de Cactus Inermes Dans les Gubernorats du Center et du Sud de la Tunisie. Ron. S : E. A. L'Agriculture. Tunes. 8p.
- * López G., J. J. 1977. Descripción Y Transformación del Ecosistema *Opuntia Streptacantha* Lemaire. Tesis. Maestría en Ciencias. Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 148 p.
- López G., J. J.; R. Nava C.; J. Gasto C. 1978. Establecimiento de la *Opuntia engelmannii* y *Opuntia cantabrigensis* con Criterios de Ecocultivo Bajo Hábitats Variables. Monografía Técnico Científica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 120-173 p.
- López G., J. J.; J. L. Elizondo E. 1988. El Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal en México. En: López G., J. J. y M. J. Ayala O. (Ed) El Nopal. Memorias de la 3ª. Reunión Nacional y la 1ª. Internacional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. (359) 1-3 pp. México.
- * López G., J. J.; A. Rodríguez G. 1991. Principales Especies Forrajeras de *Opuntia* en el Estado de Coahuila. Resumen en Memorias de la XXIII, Reunión Anual del A.M.P.A. Del 23 al 26 de Octubre. U. A. A. A. N., Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 49p.
- * López G., J. J.; L. Pérez R., A. Rodríguez G., J. Fuentes R. 1996. Estrategia De

Cosecha de Nopal Forrajero: Consecuencias Individuales y Poblacionales. Taller Internacional Sobre Conocimiento Y Aprovechamiento de Nopal y Mezquite. Centro de investigaciones de estudios avanzados del IPN. Unidad Irapuato. CUCB., Guadalajara. Irapuato México.

- ✧ López G., J. J. 1997. Ecocultivos. Ecocultivos: Estudio de Especies con Importancia Económica; Nopales, Cactáceas y Magueyes. Foro de Investigación. UAAAN. Buenavista, Coahuila, México.
- López G., J. J. 1998. Ecocultivos de Zonas Áridas. Parte IV. Análisis y Desarrollo. Recursos Naturales. Planeación Integral. Ed. Trillas, México. 141-144 pp.
- López G., J. J. 1998. Importancia del Nopal Forrajero en el Norte de México. Su Distribución y Manejo en el Estado de Coahuila. Memorias: VI Seminario de Actualización en Nutrición Animal y Alimentos. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 1-20 pp.
- Lozano G., M. 1958. Contribución al Estudio e Industrialización de Nopal (*Opuntia spp*). Tesis Ing. Agrónomo. Esc. Sup. De Agric. "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila. México. 43 p.
- Llamas, L. G.; I. Tejada, H. 1990. Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Forrajes en Rumiantes. En: Castellanos, R. A.; G Llamas, L., y A. S. Shimada. (Eds). Manual de técnicas de investigación en rumiología. Primera edición. Sistemas de educación continua en producción animal. A. C. México.
- Macias H., B. M. 1972. Contribución al Conocimiento de los Nopales Forrajeros (*Opuntia spp*) de la Región Nororiental de Nuevo León. Tesis Licenciatura. UANL. Monterrey, N. L. 114 p. México.
- Maldonado, J. L.; M. Zapien B. 1977. El Nopal en México. Ciencias Forestales. Vol. 2(5):36-53.pp. México.
- Malo C., F. J. 1965. Estudio Agroecómico del Nopal Forrajero (*Opuntia spp.*) En el Estado de Nuevo León. Tesis Profesional. Esc. de Agr. y Gan.. I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León. México. 94 p.
- Martínez, C. J. L. 1994. Valor Nutritivo de Dos Especies de Maguey (*Agave atrovirens*. Karw y *A. salmiana*) en el Sur de Coahuila. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- ✧Marroquín J., S.; G. Boruja L.; R. Velázquez C.; J.A. de la Cruz C. 1964. Estudio Dasómico de las Zonas Áridas del Norte de México. Inst. Nac. Invest. For.. Publicación Especial. 2:116 p. México.

- Mauseth, J.D. 1984. Introduction two nine cactus anatomy (Part 7). Epidermis. Cactus and Succulents Journals (US). 56: 33-37 pp.
- Maymone, B.; F. Malossini. 1960. Degradabilita e Valores Nutritivo del Cladodie del Frutto del *Opuntia ficus-indica* Mill. Impregati Nell Alimentazione Animale Ann. Sper. Agr. 15(2):251-280. Roma.
- Maynez del R., F., R. Armijo T. y J. Gastó C. 1975. Clínica Ecosistémica y Silvoagropecuaria. Fundamentos y Metodología. U. A. A. A. N. Monografía Técnico – Científica 1: 72 –136. Saltillo, Coahuila, México.
- Mendoza, H. J. M. 1983. Boletín meteorológico para la zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN Buenavista, Saltillo, México.
- Medina T., J. G.; M. E. Acuña M.; J. J. López G.; O. E. Cavazos C. 1990. Variables Criticas Ambientales para el Establecimiento de Nopal Forrajero en el Árido del Norte de México. Coahuila. México. Memorias de la 3a. Reunión Nacional y la 1a. Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 359p.
- Moore. R.J. 1973. Index to Plant Chromosome Numbers. . 1967-1971. Utrecht, Netherlands. U.S.A.
- Montes I., C. E. 2003. Tasa de Degradación *In Vitro* de la Fibra de Algunas Especies de Nopal del Género *Opuntia* Cortadas en Invierno. Tesis Licenciatura. U. A. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 49 p.
- Muñoz U., A.; A. García V.; E. Pimienta B. 1995. Relación entre el Nivel de Ploidía y Variables Anatómica Morfológica en Especies Silvestres y Cultivadas de Nopal Tunero (*Opuntia spp*). En: Pimienta B., E.; C. Neri L.; A. Muñoz U.; F. M. Huerta M. (Comp.). Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Memorias del 6º Congreso Nacional y 4º Congreso Internacional. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.
- Morrison, F.B. 1956. Compendio de Alimentación del Ganado. UTHEA. México. 721 p.
- Monjauze, A., & Le Houérou, H.N. 1965. Le Role Des Opuntias Dans L'Economic Agricole De L'Afrique Du Nord. Bull. Ecole Sup. Agron. Tunis. 8-9: 85-164.
- Muller – Dombois, D. y H. Ellemberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Willey and Sons. 547 p.

- Murillo, S. M.; J. M. Fuentes, R.; M. Torres, H.; F. Borrego, E. y R. Gutiérrez, A. 1994. *In Vitro* Protein Digestibility of Two *Opuntia* Genotypes After the Addition of Yeast, Ammonia and Urea. 5th Annual Texas Prickly Pear Council convention. Kingsville, Texas. U. S. A. 77-82 pp.
- ✠ Nobel, P. S. 1982. Los Incomparables Agaves Y Cactus. Ed. Trillas. Pp.221. México.
- Osmond, C.B. 1975. Environmental Control of photosintetic options im crassulacean Plants. Pages 311-321 in Marcell, Ed. Environmental and biolocal control of photosynthesis. Dr. W. Junk, the Hague.
- Parada, H. M. R. 1997. Tasa de Degradación In Situ de la Fibra de Algunos Forrajes de Uso Común. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Palomo G., D. R. 1963. Datos Sobre los Nopales Utilizados como Forraje de Invierno en el Noreste de México. Tesis Profesional. Escuela de Agr. y Gan. I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León, México.
- Pérez, R. S. 1964. Los Suelos y la Vegetación del Campo Experimental La Saucedá en las Zonas Áridas de Coahuila. Bol. Técnico No. 16. I. N. I. F.-S. A. G. México.
- Pimienta B., E. 1988. Descripción Botánica, uso e Importancia Económica. Sociedad Mexicana de Fitomejoramiento. Revista Germen. No. 7. México. P.10.
- Pimienta B., E. 1990. El Nopal Tunero. De. Universidad de Guadalajara. Primera Edición. Guadalajara, México. 246p.
- Pimienta B., E. 1993. El Nopal (*Opuntia spp*): Una Alternativa Ecológica Productiva para las Zonas Aridas y Semiáridas. Ciencia 44, 339-350pp.
- Pimienta B., E. 1994. Prickli Pear (*Opuntia spp*): A Valuable Fruit Crop for the Semi-Arida Lands of Mexico. Journal of Arid Environments 28:1-11.
- Pimienta B., E.; A. Muñoz U. 1995. Domestication of *Opuntias* and Cultivates Varieties. En : Barbera, G.; P. Inglese and E. Pimienta B. Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. FAO. Plant Production and Protection. Paper 132. 216 p.
- Pinkava, D.J.; M.A. Barker; B.D. Parfitt and M.W. Mohlenbrock. 1985. Chromosome Nubers in Some Cacti of Western Norht America. V. Syst. Bot. 10(4): 471-483.

- Ramírez G., F. 1984. Estudio Cromosómico en el Género *Opuntia*. Tesis M. C.. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 81p.
- Ramírez L. R, G.; G, F. Alanis F. y M^a, A. Nuñez G. 2000. Dinámica Estacional de la Digestibilidad Ruminal de la Materia Seca del Nopal. Revista: CIENCIA UANL. Vol. III, N°. 3: 267-273 p.p.
- Revuelta, G. L. 1963. Bromatología Zootécnica y Alimentación Animal. Ed. Salvat. Madrid, España.
- Reynaga V., J. R. 1976. Evaluación de la Fitomasa Forrajera en Praderas Artificiales Sobre Curvas a Nivel, Alternándolas con Franjas de Vegetación Nativa, Utilizando Cinco Especies de Gramíneas y Siguiendo Cuatro Diferentes Sistemas de Siembra. Tesis Profesional. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Rios, L.A. 1954. El Nopal y la Oveja, una Esperanza para las Zonas Desértica Mexicana. Sria. Rec. Hidráulicos. Memorando Técnico. México. 6 pp.
- Robles, C., F. 1986. Efecto de la Frecuencia de Riego sobre las Relaciones Hídricas, Producción y Calidad de Nopal para Verdura. (*Opuntia ficus-indica*). Tesis Profesional, Univ. De Sonora, Hermosillo, México. 66 P.
- Rodríguez, G. A., J. J. López G. y J. Valdez R. 1990. Amplitud Ecológica de *Opuntia lindheimeri* Engelm., En el Estado de Coahuila. Tesis Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.
- Rodríguez G., A.; J. J. López G.; J. Valdés R. 1992. Sistemática del Complejo *Opuntia lindheimeri* Engel., en el Estado de Coahuila, México. En: Resúmenes de 22Nd IOS Congress. Desert Botanical Garden. Phoenix, Arizona. U.S.A.. 45p.
- Rodríguez C. V.M. y O. U. Martínez B. 1996. Comparación de Diferentes Estrategias de Establecimiento de Especies Forrajeras en Matorral Parvifolio Inerme. Campo Experimental. Saltillo INIFAP-SAGAR, Saltillo, Coahuila, México.
- ✠Rodríguez C., V. M.; M. J. Ayala O.; J. J. López G. 1997. Estrategia de Restauración en Matorral Micrófilo Inerme. IV Reunión Nacional Sobre Sistema de Captación de Lluvia. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Torreón, Coahuila, México.
- Rodríguez D., K. 2000. Efecto del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) ANTV-6 Tratado con Sulfato de Amonio ((NH₂)₂ SO₄) y Levadura en Diferentes Concentraciones como Suplemento Proteico en la Producción de carne

- de Cerdo Comercial. Tesis Licenciatura. División de Ciencia Animal. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- ✠ Rojas M., P. 1961. Aprovechemos las zona árida [s. Cultivo del nopal tunero. El Campo. XXX (878):48-54. México.
- ✠ Russell y Felker, 1987. The prickly pears (*Opuntia spp.*, Cactaceae) : a source of human and animal food in semi-arid regions. Econ. Bot., 41:433-445.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. 432 p. México.
- Small, J. K. 1933. Manual of the Southeastern Flora. Univ. North Carolina Press. Chapil Hill. U. S. A.
- Sosa Ch., R. 1964. Microporogenesis, Importancia Económica y Distribución de tres Especies del Género *Opuntia*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 60 p.
- Stocwell, W.P. 1933. Cromosoma Numbers of Some of the Cactaceae. Bot. Gaz. 96:565-560.
- Sudzuki Hills, F. 1995. Anatomy and Morphology. p.28-35, in: G. Barbera, P. Inglese and E. Pimienta B. (eds) Agroecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. F. A. O. Plant Production and Protection. Paper, 132.
- Terblanche, I. L.; M. Mulder, A.; W. Rossouw, J. 1971. The Influence of Moisture Content on the Dry Matter Intake and Digestibility of Spineless Cactus. Agro-animalia, 3 (2): 73-77.
- Tilley, J. M. A.; R. A. Terry. 1963. A Two-stage Technique for the *In Vitro* Digestion of Forage Crops. J. British. Grassland. Soc. 18.104.
- Ting., I.P. et al., 1972. Gas exchange and productivity for *Opuntia sp.* Desert Bioma. US. Internacional Biological Program. 22 p.
- Tompson, J. 1974. Saber son the Rio Grande. Presidial Pres. U.S.A. 1-2 p.
- ✠ Torres A., E. 1990. Evaluación de Dos Sistemas de Plantación en Nopal Forrajero (*Opuntia rastrera* Weber.) y (*Opuntia lindheimeri* var. *lindheimeri* Engelmann). Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Forestal. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Trujillo, A. S.; E. M. González. 1991. Aislamiento Reproductivo y Formas de Reproducción en *Opuntia spp.* Agrociencia, Serie Recursos Naturales Renovables 1(1):39-58.

- Turner, G.T. and D.F.Casteco. 1942. Ecological Aspects of the prickly pear. Problem in eastern Colorado and wayoming. U.S.A. Ecology 23: 419 p.
- Valdes E. V. and G.E. Jones. 1987. A. Comparicon of in vivo dry matter digestibility techniques of the evaluation of forage quality. Canadian Journal Animal Science. Vol. 67: 573 – 576.
- Van Soest P.J. 1970. Nutrition Ecology of the Rumiant. Comstock, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Varel H. V. and K. Kreikemeier. 1995. Tecnicl Note: Comparison of *In Vitro* and In Situ Digestibility Methods. J. Anim. Sci. 73: 578-582.
- Velásquez C., R. 1962. Aspectos Ecológicos, Distribución y Abundancia de *Opuntia streptacantha* y *Opuntia leucotricha* en la Región Árida de Zacatecas y San Luis Potosí. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Estado de México, México.
- Viena, S. P. 1965. El Uso del Nopal sin Espinas en la Alimentación del Ganado. Anales del 9° Congreso Internacional de Pasturas. 2. 1461. Sao Paulo, Brasil.
- Villarreal, A. 1958. El nopal como Forraje para el Ganado. En 1er. Congreso de Investigación Agrícola en México. Chapingo, México. pp. 210-220.
- Woodward, T. E.; W. F. Turner.; O. Griffiths. 1915. Prickly Pears as a Feed Dairy Cows. Journal of Agricultural Research. U. S. D. A. 4:405-450.
- * Zapata, M., J. L. 1992. Comportamiento Productivo de Dos Sistemas de Plantación de Nopal Forrajero (*Opuntia rastrera* Weber y *Opuntia lindheimeri* var. *lindheimeri* Engelman. Tesis. Presentada como requisito parcial para obtener el Titulo de: Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Anexo 1

Evaluación de formas de uso y manejo de nopal forrajero por ganaderos del sur de Coahuila.

Encuesta No. _____

Nombre.- _____

Tenencia de la tierra.- _____

Ejido.- _____

Municipio.- _____

Tipo de explotación.- _____

Tipo de animales:

a.- Bovinos	_____	Num.	_____
b.- Caprinos	_____	Num.	_____
c.- Ovinos	_____	Num.	_____
d.- Otros	_____	Num.	_____

Formas de cosechar nopal:

a.- Chamuscado en pié	_____
b.- Natural en pié	_____
c.- Despuntado	_____
d.- Cortado y chamuscado	_____
e.- Otras formas	_____

Cuando lo consume más:

a.- En la mañana (hora)	_____
b.- Al medio día	_____
c.- En la tarde (hora)	_____

Estación del año: _____

Consumo estimado:

a.- Bovinos	_____	Kg	_____
b.- Caprinos	_____	Kg	_____
c.- Ovinos	_____	Kg	_____

Especies consumidas.- _____

Manejo.- _____

Anexo 2

Encuesta de establos lecheros que utilizan nopal forrajero en su ración.

Descripción del establo No. _____

I.- DATOS GENERALES

Propietario: _____
 Ubicación: _____
 Propósito: _____

II.- DESCRIPCION GENERAL

A.- Características del establo _____

B.- Otras actividades _____

C.- Producción de leche _____

1.- Más alta: _____

2.- Más baja: _____

3.- Promedio: _____

D.- Composición del hato.

1.- Número total: _____

2.- Vacas lactando: _____

3.- Vacas secas: _____

4.- Vaquillas de reemplazo: _____

5.- Numero de sementales: _____

6.- Becerras < de un año: _____

7.- Becerros: _____

8.- Otros animales

a.- caprinos: _____

b.- ovinos: _____

otros: _____

E.- Tipo de alojamiento.- _____

III.- CARACTERISTICAS DE LA DIETA

1.- Alimentación en invierno-primavera: _____

2.- Alimentación en verano-otoño: _____

3.- Nopal ofrecido: _____ costo _____

4.- Concentrado: _____ costo _____

5.- Alfalfa: _____ costo _____

6.- Avena: _____ costo _____

7.- Heno: _____ costo _____

8.- Ensilaje: _____ costo _____

9.- Suplementacion mineral: _____ costo _____

IV.- CARACTERISTICAS DE LA SALA DE ORDEÑA

A.- Descripción general.-

- 1.- Sala de ordeña: _____
- 2.- Tipo: _____
- 3.- Tamaño: _____
- 4.- Mecanización. Si _____ No _____

B.- Procedimiento de la ordeña

- 1.- Frecuencia: _____
- 2.- Tiempo de ordeña por vaca: _____
- 3.- Número de ordeñadores: _____
- 4.- Sistema de ordeña: _____

V.- CONTROL DE ENFERMEDADES

1.- Mastitis

Detección: _____

Control: _____

- 2.- Control de enfermedades reproductivas: _____
- 3.- Control de enfermedades metabólicas: _____
- 4.- Visitas del veterinario: _____
- 5.- Programa de sanidad animal: _____
- 6.- Información adicional: _____

VI.- CARACTERISTICAS NUTRICIONALES DE LA LECHE

- 1.- Por ciento de la grasa: _____
- 2.- Por ciento de proteína: _____
- 3.- Por ciento de sólidos no grasos: _____

VII.- VENTA DE LECHE

- 1.- ¿A quien se la vende? _____
- 2.- Cuantos litros promedio _____
- 3.- ¿A como se vende? _____

VIII.- INFORMACIÓN DEL NOPAL UTILIZADO

- 1.- Variedad: _____
- 2.- Procedencia: _____
- 3.- Cantidad de compra: _____
- 4.- Costo: _____
- 5.- Procedencia del material: _____
- 6.- Como se cosecha: _____
- 7.- Manejo: _____

Anexo 3

Inventario del ambiente y vegetación.

TAMAÑO DEL AREA MUESTREADA _____

SITIO _____ LOCALIDAD _____

MUNICIPIO _____ ESTADO _____

FECHA _____ REALIZADO POR _____

DESCRIPCION DEL SITIO _____

TIPO DE VEGETACIÓN _____

TIPO DE CLIMA _____ PEDREGOSIDAD _____

ROCOSIDAD _____ PENDIENTE _____

EXPOSICIÓN _____ ALTITUD _____

LATITUD _____ LONGITUD _____

EROSIÓN _____ EROSIÓN (%) _____

UTILIZACIÓN DEL ÁREA _____

OBSERVACIONES _____

ESPECIES ASOCIADAS _____

ESPECIES Y/O VARIEDADES DE *Opuntia spp.*, PRESENTES _____
