

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**"RESPUESTA A LA REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS
DEGRADADOS MEDIANTE EL ESTABLECIMIENTO DE NOPAL
RASTRERO (*Opuntia rastrera* Weber) EN EL VALLE DE
ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH."**

POR

PEDRO MURILLO VITE

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**"RESPUESTA A LA REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS
DEGRADADOS MEDIANTE EL ESTABLECIMIENTO DE NOPAL
RASTRERO (*Opuntia rastrera* Weber) EN EL VALLE DE
ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH."**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

POR

PEDRO MURILLO VITE

ASESOR

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS

**"RESPUESTA A LA REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS
DEGRADADOS MEDIANTE EL ESTABLECIMIENTO DE NOPAL
RASTRERO (*Opuntia rastrera* Weber) EN EL VALLE DE
ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH."**

PRESIDENTE DEL JURADO

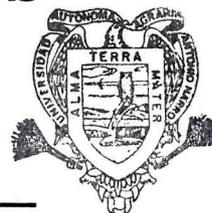


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**



ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ



COORDINACION DE LA DIVISION
DE CARRERAS AGRONOMICAS
TAAAN UL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**"RESPUESTA A LA REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS
DEGRADADOS MEDIANTE EL ESTABLECIMIENTO DE NOPAL
RASTRERO (*Opuntia rastrera* Weber) EN EL VALLE DE
ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH."**

**TESIS DEL C. PEDRO MURILLO VITE QUE FUE REVISADA Y
APROBADA POR:**



**DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS
ASESOR PRINCIPAL**



**MC. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
CO-ASESOR**



**ING. RUBÉN LOPEZ TOVAR
CO-ASESOR**



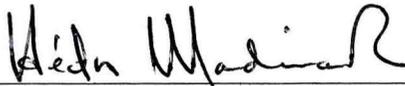
**ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ
CO-ASESOR**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

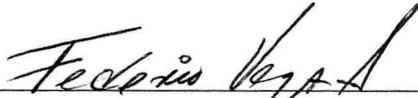
**TESIS DEL C. PEDRO MURILLO VITE QUE SE SOMETE A
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR**



**DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS
PRESIDENTE**



**MC. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
VOCAL**



**ING. FEDERICO VEGA SOTELO
VOCAL**



**ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ
VOCAL SUPLENTE**

TORREÓN, COAH., MÉXICO.

MAYO 2003

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA MATER:

Por haberme dado la oportunidad de superarme y hacer de mi un profesionalista.

A mis maestros y amigos que siempre me apoyaron y ayudaron en los momentos difíciles.

Al M. C. Francisco Javier Sánchez Ramos por su apoyo durante el transcurso de la carrera y por su apoyo en la revisión del presente trabajo.

Al M. C. José Luis Reyes Carrillo por haberme apoyado y brindado su amistad.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos y familia por su apoyo incondicional y por su gran amistad que me brindó, por otorgarme su confianza durante el transcurso de toda mi carrera, además por ser mi asesor principal de tesis.

Al M. C. Edgardo Cervantes Álvarez y a la Sra. Paula Padrón de Cervantes e hijos que me brindaron su amistad, su confianza y apoyo.

A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

PEDRO MURILLO SANTOS Y TEODORA VITE LÓPEZ

Por haberme dado la vida, amor, confianza y apoyo en los momentos difíciles, muchas gracias por hacer de mi un hombre de bien y que siempre estuvieron cerca de mi en todo momento.

A MIS HERMANOS:

BEATRIZ, BLANCA ESTELA, SANDRA LUZ Y JUAN DAMIÁN

Con quienes he compartido momentos tristes y alegres, que siempre me brindaron su amor y cariño de hermanos, que ha sido el mayor de los impulsos para poder seguir por lo que no los defraudare nunca.

A MIS SOBRINAS (OS):

TERESA DE JESÚS, KAREN ITZEL, VERÓNICA, YAMILE Y AL PEQUEÑO CARLITOS.

Por sentir su amor y saber que me esperan para seguir jugando los quiero mucho.

A MI NOVIA:

LORENA COLÍN CUEVAS

Por su gran apoyo, cariño y comprensión en los momentos más difíciles y haberme brindado su amor.

A TODOS ELLOS LOS QUIERO MUCHO.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue medir la respuesta a la rehabilitación de ecosistemas degradados en las localidades Río Aguanaval, Charcos de Risa, Tres Manantiales y Felipe Ángeles del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah., mediante la forestación con nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber). La metodología empleada en cada una de las localidades fue la siguiente: localización de áreas nopaleras y terrenos susceptibles de forestar. Dentro de cada una de las áreas señaladas se tomaron 20 ha para distribuir dentro de ellas los lotes experimentales. Se escogieron al azar 5 lugares de superficie variable para establecer aleatoriamente los propágulos. En febrero y marzo de 1999 se hizo el corte de los propágulos. La plantación se efectuó los meses de febrero y marzo. Para esto se siguió el criterio de arbustos "nodriza" o sitio seguro con formación de microcuencas. Cada uno de los propágulos y cada lote fue identificado con estacas que sirvieron para dar seguimiento al desarrollo de las plantas y para la toma de datos. Se emplearon dos periodos para medir la respuesta de rehabilitación: El primero fue en noviembre de 1999, se midieron las variables de sobrevivencia, altura, anchura y número de pencas como variables de crecimiento en cada una de las 50 plantas de los 5 lotes experimentales de cada localidad. El segundo período se realizó en noviembre de 2002, haciéndose las mismas mediciones que en el primer período. Se emplearon dos periodos para medir las variables del suelo: En el primero durante febrero, marzo y abril de 1999 se obtuvieron muestras de suelo por cada uno de los 5 lotes de nopal rastrero de cada localidad y se analizaron. En el segundo período, durante el mes de marzo

de 2002, se volvieron a obtener muestras de suelo y también se analizaron. Los resultados indicaron que de las variables productivas en el primer período la sobrevivencia total fue de 78 % y para el segundo período el promedio total de sobrevivencia fue de 47.5 %, disminuyendo en un 30.5 % esta variable. En cuanto a las demás variables también existió una disminución, a excepción del número de pencas en la que hubo un aumento de 2 pencas en promedio. De todas las localidades fue en Tres Manantiales en donde se obtuvo la mejor respuesta de rehabilitación de ecosistemas, mientras que en Río Aguanaval se obtuvieron los resultados más pobres, lo cual probablemente se debió al poco cuidado en el mantenimiento del área de exclusión. Los resultados obtenidos en la medición de las variables del suelo, comparando los dos periodos, se observó que en términos generales hubo cambios nulos, para que haya variaciones significativas en las concentraciones de las variables se requiere que transcurra un mayor lapso de tiempo. La precipitación pluvial registrada de 1999 a 2002, fue importante para que la rehabilitación lograda con la forestación de nopal rastrero en ecosistemas dañados del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah., fuera considerada como exitosa.

Palabras clave: ecosistema árido, pastizal, rehabilitación, propagación, *Opuntia rastrera* Weber, arbusto “nodriza” y sitio seguro,

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	4
METAS.....	5
HIPÓTESIS.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Desertificación de la tierra.....	7
Rehabilitación y restauración ecológica.....	9
Sitio seguro.....	11
Mejoramiento del pastizal.....	13
Establecimiento de plantaciones para mejorar el pastizal.....	14
Características morfológicas y productivas de la especie en estudio....	15
Nopal rastrero (<i>Opuntia rastrera</i> Webwer).....	15
Taxonomía del nopal.....	17
Especies y variedades.....	18
Descripción botánica.....	18
Condiciones de clima y suelo requeridos.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Descripción del área de estudio.....	22
Tratamientos.....	25
Evaluación de variables productivas.....	27
Evaluación de variables de suelo.....	29
Análisis de resultados.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
Respuesta a la rehabilitación de los ecosistemas.....	31
Variables productivas.....	31
Variables del suelo.....	36
Precipitación pluvial registrada de 1999 a 2002.....	42
CONCLUSIONES.....	47
LITERATURA CITADA.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO

Página

1	VALORES DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL NOPAL RASTRERO EN LAS LOCALIDADES DEL VALLE DE ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH. PRIMER PERÍODO (1999).....	34
2	VALORES DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL NOPAL RASTRERO EN LAS LOCALIDADES DEL VALLE DE ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH. SEGUNDO PERÍODO (2002).....	35
3	VALORES PROMEDIO DE LAS VARIABLES DEL SUELO A 30 CM DE PROFUNDIDAD EN LAS LOCALIDADES DEL VALLE DE ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH. 1999 Y 2002.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Ubicación del área de estudio entre las coordenadas 26° 12' 24" lat. N 103° 05' 23" long W; y 26° 36' 47" lat N 103° 08' 23" long W, según carta topográfica 1:250 000 del INEGI (1998).....	23
2	Fisiografía del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, según carta topográfica Escala 1:250 000 (INEGI 1998).....	24
3	Ubicación de los lotes experimentales en el área de estudio. N= Nopal rastrero.....	28
4	Valores promedio de sobrevivencia del nopal rastrero en localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. En 1999 y 2002.....	37
5	Valores promedio de altura en nopal rastrero en localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. En 1999 y 2002.....	38
6	Valores promedio de anchura en nopal rastrero en localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. En 1999 y 2002.....	39
7	Valores promedio del numero de pencas en nopal rastrero en localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. En 1999 y 2002.....	40
8	Valores promedios totales de las variables productivas en el nopal rastrero en localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. En 1999 y 2002.....	41
9	Valores promedio general de las variables del suelo a 30 cm de profundidad en las localidades del Valle de Acatita, municipio de francisco i. madero, coah. 1999 y 2002.....	44
10	Valores de precipitación pluvial mensual registrada de 1999 hasta agosto del 2002 en el Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah.....	45
11	Valores de precipitación pluvial anual de 1999 y hasta agosto de 2002 en el Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah.....	46

INTRODUCCIÓN

La degradación de las tierras es ocasionada fundamentalmente por el impacto humano. El término *tierras* incluye a: suelo, recursos hídricos locales, y vegetación o cosechas. La *degradación de ecosistemas* son una serie de procesos que implica una reducción de los recursos actuales y potenciales. Estos procesos incluyen: sobrepastoreo, erosión hídrica y eólica junto con las sedimentaciones producidas por ambos agentes, ocasionan a largo plazo disminución de la biodiversidad y salinización.

La degradación conduce a la desertización, el cual fue el primer problema ambiental en ser considerado a nivel global, reconocimiento que quedó formalizado en la Conferencia sobre Desertización de las Naciones Unidas (ONU), celebrada en Nairobi en 1977. En esta reunión se elaboró un mapa de los desiertos, desde entonces, se ha puesto en manos del Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) la coordinación de un intento global para combatir el problema.

Un gran porcentaje del territorio mexicano, ha perdido parte de su cubierta vegetal original, que ha sido sustituida por cultivos y praderas para alimentar ganado. Se puede observar que, lamentablemente, extensas superficies están ocupadas por suelos erosionados y degradados, casi carentes de vegetación, y tampoco se encuentran en vías de recobrar la cubierta de flora y fauna nativa original. Como parte del rescate ecológico del país, se deben buscar alternativas tales como reforestar con especies nativas o introducidas a esas áreas, para lograr la recuperación de suelos y controlar la erosión.

La rehabilitación es un proceso mediante el cual se pretende recuperar la productividad de los ecosistemas deteriorados. Es importante la rehabilitación por varias razones: 1) El incremento de los rendimientos de las cosechas es crucial para cubrir las necesidades de una población en crecimiento. 2) Los ecosistemas que vuelven a ser productivos con la recuperación de especies vegetales y animales tendrán impactos positivos sobre los ciclos biogeoquímicos que regulan los flujos de gases en el fenómeno de invernadero y determinan el balance total de energía en la tierra. 3) Se incrementa la biodiversidad favoreciendo la productividad de la tierra. 4) Se disminuya la amenaza sobre la estabilidad social de las naciones ya que el deterioro de la tierra es controlado.

El estado actual de los ecosistemas del Valle de Acatita, municipio de Francisco I Madero, Coahuila se caracteriza porque predomina: sobreutilización, subutilización del suelo, sequías y/o inundaciones recurrentes, suelos sin cobertura vegetal en pie, carencia de materia orgánica, pérdida de la fertilidad del suelo y baja productividad del pastizal y de los animales domésticos.

En distintas partes de esta región en años anteriores se han realizado intentos para establecer especies forrajeras nativas, principalmente nopal rastrero (Blanco 2000) pero no se tienen registros escritos de trabajos realizados con otras especies de importancia industrial o ganadera. El objetivo principal de esos trabajos fue conocer únicamente si las plantas logran establecerse.

Ante esta situación, se planteó la necesidad de proponer la rehabilitación de esos ecosistemas degradados, a través del establecimiento de especies que potencialmente tienen capacidad de adaptarse a tales condiciones, para ello se

plantó el nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber), midiendo sus respuestas al establecimiento o adaptación.

OBJETIVO

Medir la rehabilitación de ecosistemas degradados del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila mediante la forestación con nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber).

METAS

Medir la rehabilitación de ecosistemas degradados del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila mediante la medición de variables productivas del nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber) en los periodos de noviembre de 1999 y noviembre del 2002.

Medir la rehabilitación de ecosistemas degradados del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila tomando en cuenta las variables del suelo de áreas forestadas con nopal rastrero en los periodos de 1999 y 2002.

Medir la influencia que ejercieron las precipitaciones pluviales registradas en los ecosistemas del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila durante los años de 1999, 2000, 2001 y 2002.

HIPÓTESIS

El nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber) se establece exitosamente en los ecosistemas degradados del Valle de Acatita.

REVISIÓN DE LITERATURA

Desertificación de la tierra

La deforestación, es una práctica muy común, cuando se trata de desmontar terrenos con el fin de utilizarlos para cultivos, explotación con fines de recolección o zonas de pastoreo para ganado. Esta práctica, no se lleva a cabo de manera adecuada, en la mayoría de los casos, el primer paso es el deterioro y pérdida de los suelos. Las consecuencias de la degradación del suelo son: deterioro de flora y fauna, desequilibrio del ciclo hidrológico, disminución de la biodiversidad, contaminación, inundaciones y azolve de la infraestructura, incremento del albedo debido al polvo resultante de la erosión, por mencionar sólo algunos. El efecto más grave es la desertificación (Enkerlin *et al.* 1997).

La degradación de ecosistemas terrestres en el mundo es de alrededor de 8.1 millones de Km² los cuales se han convertido en desiertos en los últimos 50 años (Miller 1994). Sin embargo, Enkerlin *et al.* (1997), mencionan que a partir de 1945, a nivel mundial se han erosionado severamente más de 12 millones de km².

En México, el 70 % de los suelos tienen menos de 1 % de materia orgánica; un 20 % de área tiene condiciones de salinidad; un 30 % tiene condición de sodicidad y un 50 % presenta saturación de bases. Existe una disminución de la fertilidad del suelo en un 80 % del territorio nacional debido principalmente a la reducción de la materia orgánica. El ensalitramiento se observa en un 25 % del territorio y es causado por el mal manejo del agua, la compactación y el encostramiento se presenta en un 20 % y es causado por el abuso en la utilización de maquinaria agrícola. Se calcula que 21.6 millones de Ha, es decir, el 11 % de

la superficie total del país son áreas forestales perturbadas (CONAZA 1994a). Enkerlin *et al.* (1997), menciona que alrededor del 97 % del país está afectado en diferentes grados, por algún proceso de degradación del suelo; cerca del 60 % presenta un grado severo o extremo de degradación. Los procesos que más contribuyen son la erosión eólica que afecta a 85 % del país en diferentes grados, le sigue la disminución de la materia orgánica con 80 % del territorio; y la erosión hídrica, que afecta al 60 % del área total. La degradación más evidente, se presenta en los Estados de Chihuahua, Coahuila, Colima, Jalisco, Sinaloa y Sonora.

En la Comarca Lagunera se menciona que existe una erosión en las áreas agrícolas de un 50.1 % de los suelos, siendo severa en un 4.2 % del área, moderada en un 11.8 % y de moderada a baja en un 34.1 %. Aunque la erosión hídrica en la Comarca Lagunera no es de gran magnitud, la proyección de series de tiempo a 500 años indican que si las tasas actuales de erosión se mantienen constantes, a corto plazo el rendimiento del cultivo del maíz (por ejemplo) se verá seriamente afectado (Sánchez 1995). Para áreas forestales y pecuarias no existen datos precisos en relación a la problemática, sin embargo considerando la información dada por la Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero, para los municipios de Mapimí, Tlahualilo, Gómez Palacio y Lerdo Durango, el coeficiente de agostadero anual (Ha/UAA) es de 36 hectáreas por unidad animal por año (SARH- COTECOCA 1979).

Por lo aquí expuesto, es evidente que el estado actual de los ecosistemas terrestres en su mayoría se caracterizan porque presentan grandes áreas de suelo desnudo expuesto a los elementos (agua y aire principalmente), suelo

compactado, por ende, pérdida de porosidad, sin intercambio de gases (CO_2 y O_2), pérdida de la estructura del suelo, escasa materia orgánica en pie y/o sobre el suelo (hojarasca, mantillo), poco carbón orgánico sin vida (suelo estéril) o con una vida muy reducida, grandes escurrimientos superficiales, erosión hídrica o eólica, sin banco de semillas en el suelo, no hay precipitación efectiva (no hay infiltración que permita restaurar el balance hídrico del ecosistema), y predominan etapas pioneras de la sucesión o la presencia de arbustivas indicadoras de sobrepastoreo (Reynaga 1995).

Rehabilitación y restauración ecológica

La rehabilitación y restauración ecológica es una disciplina dedicada a renovar áreas y ecosistemas dañados. Cuando se abandona un ecosistema dañado, en la mayoría de los casos se restaurará por sí solo, al menos parcialmente, mediante la sucesión ecológica. Los ecosistemas degradados pueden ser rehabilitados o restaurados, al menos en parte, con la involucración ciudadana activa. La rehabilitación implica, el tratar de hacer la tierra degradada útil otra vez para los humanos sobre una base sustentable. Es particularmente útil para detener la erosión del suelo y la desertificación, y así permitir que la tierra degradada se utilice otra vez para producir alimento o combustible (Miller 1994).

La rehabilitación busca reparar el funcionamiento de un ecosistema dañado, con la meta primaria de recuperar la productividad del ecosistema para beneficio de la población humana, tratando de lograrlo tan rápido como sea posible (Vallentine 1989).

La restauración es más ambiciosa. Su meta es tomar un lugar degradado y volver a establecer una comunidad de organismos cercana a la que se tendría naturalmente (Miller 1994).

La restauración de ecosistemas degradados, es análoga a la restauración de alguna pintura del renacimiento que se ha deteriorado a través del tiempo, pero que aún revela sus líneas y colores iniciales de tal forma que permita que un restaurador en artes finos haga su trabajo. Análogamente, el restaurador ecológico busca el completo o casi completo regreso de un sitio a su estado primitivo. La Sociedad para la Restauración Ecológica define restauración como: "La alteración internacional de un sitio para establecer un ecosistema indígena o histórico definido. La meta de este proceso es imitar la estructura, funcionamiento, diversidad y dinámica del ecosistema especificado". Implícito en esta definición se encuentra la idea de que la restauración busca recuperar, hasta donde sea posible, un inventario predefinido de especies. Sin embargo, raramente es posible determinar estrictamente que ecosistema histórico o prehistórico existía o como funcionaba y es difícil establecer el listado completo de especies de la comunidad nativa, por lo que la restauración puede estar plagada de ambigüedades en sus metas y criterios.

Restauración, en sentido estricto describe los esfuerzos correspondientes a la Sociedad para la restauración Ecológica, como oposición a la restauración en sentido amplio, el cual busca simplemente alterar la degradación y dirigir un ecosistema perturbado en una trayectoria parecida a la que presumiblemente tenía antes del disturbio. A pesar de esa diferencia, la meta primaria de ambas

definiciones es la conservación de la biodiversidad nativa, la dinámica y estructura del ecosistema (Vallentine 1989).

El estado meta pretendido en los ecosistemas, deberá contar con todos o si no con la gran mayoría de los siguientes signos vitales: gran área con cobertura vegetal, o sea fitomasa aérea en pie, hojarasca y mantillo sobre y/o incorporado(a) en los primeros 5 cm de suelo, suelos disgregados cubiertos con materia orgánica en pie y/o sobre el suelo, alto contenido de carbón orgánico, con vida muy activa durante el ciclo anual, alta infiltrabilidad con un buen balance hídrico, un buen banco de semillas en el suelo, suelo fértil con una precipitación efectiva. Para lograr este estado meta se tiene que efectuar una transformación ecológica la cual es un proceso de cambio mediante el cual se modifica la estructura (componentes) y funcionamiento (procesos) del ecosistema a través de la aplicación de herramientas que tiende a normalizar desviaciones (Reynaga 1995).

Sitio seguro

La situación en que un individuo de una especie se establece en un sitio abierto y facilita el establecimiento de otras especies de plantas dentro de su área de influencia es conocido como "dinámica de la fase de anidamiento". La especie inicial, denominada comúnmente planta "nodriza" no es, por lo regular, tolerante a la sombra y es incapaz de establecerse bajo la cubierta vegetal de otra planta de la misma especie. Las plantas "nodriza" pueden tener una forma de crecimiento amacollada (tallos múltiples) que les permite agrupar materiales orgánicos y suelos finos en sus bases o ser capaces de fijar nitrógeno. En cualquier caso, crean

manchones ricos en nutrimentos bajo la cubierta vegetal, con lo cual pueden dar lugar a un "sitio seguro" (Yeaton 1995).

Las especies tardías son más tolerantes a la sombra, pueden requerir mayores niveles de nutrimentos del suelo y, con el tiempo, pueden reemplazar a la especie original que dio lugar al agrupamiento. A su vez éstas pueden ser reemplazadas. El patrón de reemplazo de las especies dentro de estos agrupamientos de vegetación depende del régimen de disturbio que se encuentre en la región. Si la frecuencia e intensidad del disturbio son altas o las condiciones climáticas difíciles, la probabilidad de que un agrupamiento de vegetación sobreviva es baja. El resultado será un incremento en la disponibilidad de sitios abiertos para el establecimiento de plantas "nodriza" y dará lugar a una sucesión cíclica simple (Yeaton 1995).

Las comunidades de arbustos de zonas áridas proveen algunos de los ejemplos más notables de la distribución de minerales en el suelo y su capa superficial debajo de la cubierta. A menudo, ésta presenta características químicas completamente diferentes a las de los interespacios, ya que es influenciada por factores como: retención de la caída de hojas debajo de la cubierta, edad del arbusto y composición química específica de residuos inorgánicos (Charley 1977).

Los arbustos ayudan a mantener reservas de nutrimentos en el suelo generando "islas de fertilidad" por acumulación de materia orgánica y suelo fino debajo de su cubierta. El crecimiento de herbáceas y poaceas en estos micrositos refleja un "sitio seguro" para la sobrevivencia y crecimiento de plantas (García y McKell 1970). Las islas de fertilidad no solo incrementan la reservas de nutrimentos, es posible también que se presente un incremento en la densidad de población de

hongos, bacterias (como *Rhizobium*), hongos micorrízico y actividad microbiana. Lo anterior fue comprobado en islas de fertilidad dominadas por mezquite (*Prosopis laevigata*) en ambientes semiáridos del norte de Guanajuato (Olalde *et al.* 2000).

Mejoramiento del pastizal

El manejo del pastizal puede ser definido como el arte y ciencia de planear y dirigir el uso del pastizal para obtener una producción animal máxima sostenida (ASRM 1964). Conscientes de que la participación de hombre sobre el ecosistema no debe ser solo extractiva, sino también regenerativa, en los últimos 40 años se ha empezado a investigar sobre tratamientos que se deben aplicar a la naturaleza para regresarla o acercarla a su estado original. A este conjunto de conocimientos se le llama “técnicas de mejoramiento del pastizal”. El mejoramiento del pastizal se acelera con la aplicación de herramientas como: resiembras, control de plantas indeseables con distintos métodos, construcción de cercos y distribución del agua y del ganado, con lo cual se logra una utilización más eficiente del forraje y se incrementa la producción animal (Vallentine 1980).

El mismo autor menciona que, cuando se habla de mejoramiento del pastizal, se entiende que es la aplicación máxima posible por parte de hombre de distintas herramientas y acciones para lograr volver a ser productivo el pastizal, mientras que en lo referente a la rehabilitación de lo que se trata es de lograr rescatar la productividad sin llegar al grado de maximizar la aplicación de insumos.

Establecimiento de plantaciones para mejorar el pastizal

Vázquez y Cervantes (1993), describen las propiedades que deben de tener las especies ideales para lograr éxito en el propósito de rehabilitar un ecosistema:

1) fácil propagación; resistencia a condiciones limitantes como baja fertilidad, sequía, suelos compactados o con pH alto o bajo; rápido crecimiento y buena producción de hojarasca; tener alguna utilidad adicional a su efecto restaurador, por ejemplo: producir forraje nutritivo; presencia de micorrizas que compensen el bajo nivel de nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos del suelo y que favorezcan el reestablecimiento de la flora y fauna nativas.

Los mismos autores mencionan que básicamente hay dos alternativas de propagación de plantas:

- 1) Utilizar los propágulos de origen sexual de las plantas, o sean las semillas.
- 2) Utilizar tejidos vegetales que conserven la potencialidad de multiplicación y diferenciación celular para generar nuevos individuos con partes vegetativas de la planta, conocida como propagación clonal o vegetativa. Esta última tiene esencialmente tres variantes que son: la micropropagación a partir de tejidos meristemáticos en cultivos *in vitro*, la propagación a partir de segmentos o esquejes de plantas con potencialidad de enraizar y, finalmente, la propagación a través de injertos de segmentos de la planta que se desea propagar.

Masters y Sheley (2001), consideran que, en pastizales deteriorados con abundancia de plantas invasoras, la rehabilitación de la comunidad es lenta o no ocurrirá a menos que las plantas invasoras hayan sido controladas.

La siembra de pastizales es un reto para los científicos de esta ciencia, especialmente en aquellos suelos con tendencia al encostramiento. Aunque está

disponible alguna información sobre cómo los acondicionadores del suelo afectan la emergencia de ciertas cosechas, poco se sabe acerca del efecto de la materia orgánica sintética en la emergencia de zacates. Rubio *et al.* (1992), estudiaron el efecto del poliacrylamide, un acondicionador del suelo, en la emergencia de la siembra de los zacates. Estos autores encontraron que bajo condiciones de campo, los zacates panizo azul (*Panicum antidotale*) y banderita (*Bouteloua curtipendula*) incrementaron su emergencia con las aplicaciones de poliacrylamide a la concentración más baja (10 kg ha^{-1}) durante el verano de 1987.

La profundidad de plantación ha sido reconocida como un factor que modifica la morfología de las plántulas de zacate. Sin embargo, el tipo y extensión de esta modificación no ha sido claramente entendida. Ries y Hofmann (1995), condujeron un estudio en cámara de crecimiento para evaluar el mesocotilo, coleoptilo y el desarrollo del entrenudo foliar de plántulas del zacate bromo suave "Lincoln" (*Bromus inermis*), zacate banderita (*Bouteolua curtipendula*) y zacate triguillo del oeste "Rodan" (*Agropyron smithii*), cuando se plantaron a 6, 25, 51, 76, y 102 mm de profundidad en el suelo. Las plantaciones poco profundas crecieron menos, mientras que las plantaciones profundas maximizaron el crecimiento dentro de los límites genéticos posibles para cada especie y genotipos individuales.

Características morfológicas y productivas de la especie en estudio

Nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber)

En América el nopal ha desempeñado, desde tiempos muy remotos, un papel importante en el desarrollo de las culturas prehispánicas de México. En algunas culturas del sureste, como la mixteca y la zapoteca en Oaxaca, el uso del

nopal se destinó, sobre todo, para el consumo humano en forma de fruto o verdura (Granados y Castañeda 1991). Bravo (1978), menciona lo importante que fueron las cactáceas en la vida económica, social y religiosa de los Nahuas. Los cactus se emplearon también como remedios en la curación de enfermedades e influyeron para determinar la fundación de poblados en regiones cactíferas.

Actualmente, en Perú y España el nopal se aprovecha en forma integral en el cultivo de cochinilla grana. En Italia y en el Mediterráneo consumen su fruto. Aunque todavía existen deficiencias serias en su aprovechamiento y valoración integral, en la zona norte de México el nopal se explota principalmente como forraje. En el centro se usa como fruta y verdura principalmente. La población del norte de México utiliza el nopal desde hace muchos años y, hoy día, gran parte de la industria pecuaria de las zonas áridas del norte y del centro de este país tiene en el nopal un recurso forrajero (Granados y Castañeda 1991).

Gran parte de la población en los diferentes estados de la República, principalmente la que se ubica en zonas áridas, dependen en gran parte del nopal para su subsistencia y para la conservación de su ganadería. En el país, el nopal, ocupa un área de 1'574, 403 ha (Jiménez 1989). Hasta 1984 se habían establecido en el estado de Coahuila más de 40,000 ha de nopal forrajero en 143 cooperativas del sur y centro del estado. Según estimaciones de la Comisión de fruticultura, la producción y utilización de tuna en México en 1975 alcanzó 2'697,850 toneladas, distribuidas en un área de 557,800 ha. De éstas, 10,850 corresponden a nopal cultivado (Borrego y Burgos 1986).

El nopal es un importante forraje, ya sea chamuscado para que el animal lo consuma directamente, o picado y ofrecido en comedero. Esta especie es un

suplemento de emergencia, ya que presenta un 80 % de agua, 1.4 % de proteína, 0.5 Mcal. kg⁻¹ y una digestibilidad de 60 %. Sin embargo, no debe recurrirse a él, salvo en casos de emergencia (Fierro 1995). Granados y Castañeda (1991), señalan que el nopal debe emplearse no solo durante la sequía, sino también como parte integral de la alimentación de los animales que han estado sujetos a una dieta con base a forraje seco, con lo cual se obtiene provecho y se producen efectos benéficos en los animales. Se sabe que en 1966 se utilizaban 600 toneladas diarias de nopal en Monterrey, N. L. y 100 toneladas en Saltillo, Coah., en la alimentación del ganado lechero estabulado (Borrego y Burgos 1986).

De acuerdo a la información revisada por Medina *et al.* (1986), el 74 % de los establos de Monterrey, N. L. usaron el nopal forrajero para alimentación del ganado lechero y, en Saltillo, Coah. todos los establos utilizaron de 30 a 60 kg de nopal / cabeza / día durante el invierno.

Taxonomía del nopal. El nopal se clasifica de la siguiente manera:

Clase Dicotyledoneae, Orden Cactales, Familia Cactaceae (Britt et R). Backbg; Subfamilia Opuntiadeae, Tribu Opuntieae, Género *Opuntia* (Tourn) Mill, que se divide en los subgéneros: A) *Cylindropuntia* Eng., B) *Grusonia* (Reichnb) Bravo, C) *Corynopuntia* (Knuth) Bravo, D) *Opuntia* y E) *Stenopuntia* Eng. que están clasificados en series; contiene 22 series y 377 especies. En México 104 especies son silvestres. El número da una idea de la gran diversidad y al mismo tiempo de su dificultad para separarlas y ordenarlas en forma taxonómica (Bravo 1978).

Especies y variedades. Todas los nopales tuneros producen forraje y, por el contrario, las especies forrajeras no siempre son productoras de tuna. Según Borrego y Burgos (1986), las principales especies forrajeras son las siguientes: *Opuntia chrysacanth* (Nopal penca redonda), *Opuntia tenuispna* Engelman, *Opuntia megacantha* Salm-Dick (Nopal de castilla), *Opuntia rastrera* Weber, (Nopal rastrero) *Opuntia azurea* Rose (Nopal coyotilla), *Opuntia cantabrigiensis* Linch (Cuija en S.L.P), *Opuntia engelmannii* Salm- Dick, *Opuntia lucens* Griffiths, *Opuntia lindheimeri* Engelman (Nopal cacanapo), *Opuntia streptacanta* Lemaie (Nopal cardón), *Opuntia leucotricha* De Candolle (Nopal duraznillo), *Opuntia microdasys* (L) Pfeiffer (Nopal cegador), *Opuntia pilifera* Weber (Nopal crinado), *Opuntia máxima* (Nopal pelón), *Opuntia robusta* Weber (Nopal camueso) y *Opuntia leucotricha* (Nopal duraznillo).

Descripción botánica. El género *Opuntia* comprende plantas bien definidas que en el caso del nopal pueden ser rastreros o frutescentes. Los tallos en *Opuntia* son cladodios articulados y ramificados, de contorno circular u oval, discoides o en forma de raqueta, la superficie está provista de areolas, que son formaciones que corresponden a las hojas que no se desarrollan. El tallo se caracteriza porque los elementos parenquimatosos se encuentran muy desarrollados y que hace las funciones de las hojas (Borrego y Burgos 1986).

La raíz principal y las secundarias tienen mas o menos el mismo desarrollo. Los diámetros y espesores de las pencas varían según la humedad de que disponga la planta. Con la sequía adquieren un color amarillento, se tuercen y pueden desprenderse. El frío impone un color rojizo, sobre todo en las partes

expuestas de estas plantas; cuando es muy intenso y persistente, llega a producir la congelación y hasta la muerte del nopal(Borrego y Burgos 1986).

Las pencas del nopal, además de servir de vías para la savia ascendente y descendente ejercen la función clorofiliana a través del parénquima clorofiliano, éste está situado debajo de la epidermis y del tejido suberoso. La estructura del parénquima anterior es análoga al parénquima de las hojas. Este está constituido por varias capas de células prismáticas de gran tamaño y paredes delgadas con numerosos cloroplastos. Este parénquima se comunica al exterior por los estomas (Borrego y Burgos 1986).

El género *Opuntia* presenta hojas convertidas en espinas lo cual es un rasgo común en las cactáceas, o bien carece de ellas. En brotes tiernos, numerosas especies presentan hojas verdaderas de vida muy corta. Por lo general las espinas son de dos tipos: unas pequeñas agrupadas en gran número (gloquídeos), que comúnmente se denominan ahuates, y las grandes, que son, según algunos naturistas, hojas modificadas.

La flor del género *Opuntia* es hermafrodita, hemicíclica, con el eje floral frecuentemente largo. Su color es variable, las hay rojas, blancas, amarillas, entre otros colores. La diferencia entre el cáliz y la corola es poco notoria y, por transiciones, se pasa de los sépalos a los pétalos. Todas estas piezas están dispuestas en series espiraladas que constituyen el perigonio o perianto. Los segmentos exteriores son verdosos y los internos son verdaderos pétalos coloridos, que pueden ser libres y ampliamente extendidos o soldados en su porción interior, formando un tubo de longitud variable. El gineceo es ínfero

sincárpico, tiene de tres a ocho carpelos, con numerosos óvulos sobre placentas parietales.

El fruto de este género es una baya poliespérmica, carnosa, tiene forma esférica u ovoide, el pericarpio puede tener una superficie lisa o provista de tubérculos con espina, su color varía desde el blanco hasta los diversos matices del anaranjado, rojo púrpura o violeta; normalmente es jugoso y comestible; es una baya pero es un fruto accesorio, ya que se desarrolla de un ovario ínfero (Bravo 1978).

Condiciones de clima y suelo requeridos. La especie *Opuntia rastrera* es una planta CAM que puede soportar períodos largos de sequía y se adapta a suelos con alto contenido de salinidad. Debido a su valor nutritivo, éste puede utilizarse como forraje en los periodos de sequía, así como complemento en la alimentación del ganado. Además de ser una especie nativa de las zonas áridas de la Comarca Lagunera, el nopal rastrero ha probado ser un forraje que entra a la clasificación de suplementación de emergencia, que también ocurre cuando se prolonga el periodo de sequía. De este nopal se pueden aprovechar temporalmente los brotes tiernos para alimentación humana, como nopal verdura. Además, esta especie se adapta a un amplio rango de precipitaciones; prospera con precipitaciones medias anuales de 150 mm hasta 800 mm distribuidas durante el año (CONAZA 1994b).

Por lo general los suelos en zonas áridas se caracterizan por su poca materia orgánica y deficiencia de nutrimentos, como nitrógeno y fósforo. Debido a su gran desarrollo y gran poder de penetración a través de los intersticios de las

rocas, capas calizas y tepetates, el sistema radicular del nopal, contribuye a la permeabilidad del suelo. Por su anclaje forma una barrera contra la erosión (Borrego y Burgos 1986).

Maldonado y Zapién (1977) realizaron plantaciones a nivel comercial en diferentes condiciones ecológicas con nopal rastrero (*Opuntia rastrera*), la cual es la especie de mayor dominancia en el área de influencia de la Sauceda, municipio de Ramos Arizpe, Coah. Esta especie se adaptó bien y a los 5 años de plantada se evaluó la producción. De acuerdo a los resultados obtenidos la mejor producción fue de 5.77 ton. ha⁻¹.

La misma especie fue propagada con éxito en el Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. A partir de 1988 se relizaron plantaciones en forma de ecocultivos en varios ejidos a través de programas de reforestación gubernamental. Dichas plantaciones fueron empleadas en este estudio como fuente de propágulos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en los ejidos Charcos de Risa, Tres Manantiales, Felipe Ángeles y Río Aguanaval, que se ubican en el Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila (Figura 1). Estos Ejidos se localizan entre las coordenadas $26^{\circ} 12' 24''$ y $26^{\circ} 36' 47''$ de Lat. N y $103^{\circ} 05' 23''$ y $103^{\circ} 08' 23''$ de Long. W

En el Valle de Acatita fisiográficamente se pueden observar tres áreas principales: la parte plana o valle, la parte de lomeríos o faldeo de cerros y la parte de alta montaña (Figura 2). La altura varía de 1070 msnm en la parte plana a los 2420 msnm en la parte más alta en la Sierra de Las Delicias.

El tipo de clima predominante es cálido, muy seco (BW) y del subtipo muy seco semicálido (BWh), con una temperatura media anual de 21.2°C . La precipitación media anual es de 200 mm siendo los meses de mayor precipitación julio, agosto y septiembre (Solís 1992).

Los suelos predominantes en esta área son de origen calizo, con formaciones aluviales, coluviales o mixtos procedentes de materiales de acarreo depositados por el efecto de agua de lluvia. Los cuatro tipos de suelos existentes son: yermosol háplico, regosol calcárico, litosol y xerosol háplico (CETENAL 1976).

La hidrología se caracteriza por arroyos intermitentes que conducen los escurrimientos superficiales provenientes de las Sierras de Las Delicias y de Tlahualilo (CETENAL 1976).

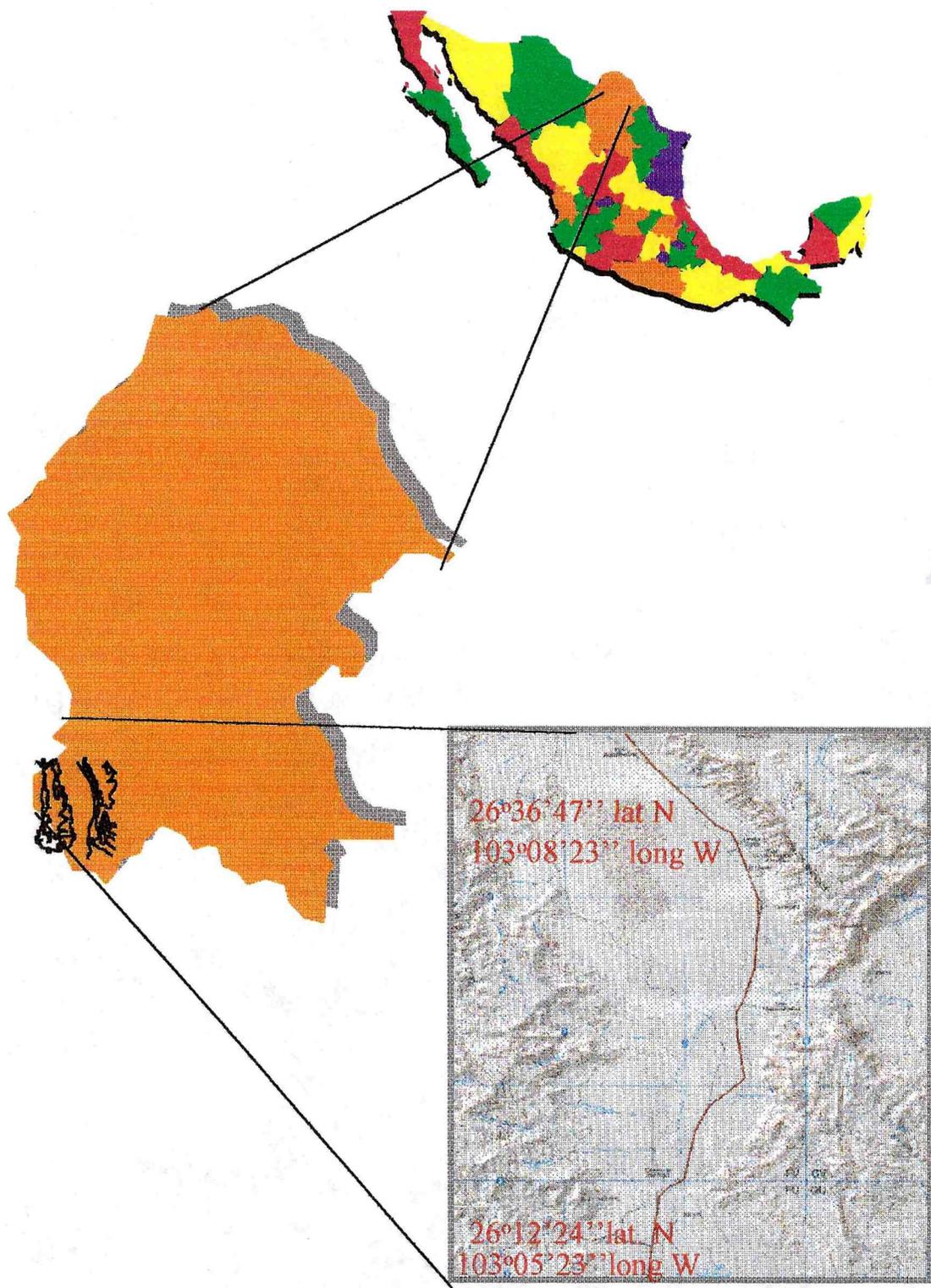


Figura 1. Ubicación del área de estudio entre las coordenadas $26^{\circ}12'24''$ lat. N $103^{\circ}05'23''$ long W; y $26^{\circ}36'47''$ lat N $103^{\circ}08'23''$ long W, según carta topográfica 1: 250 000 del INEGI (1998).

La vegetación en el área plana se distribuye de cuatro modos según Solís (1992):

1) Manchones de pastizal amacollado formados principalmente por *Hilaria mutica*.

Entre los pastos hay arbustos como: *Larrea tridentata*, *Cordia greggi* y *Opuntia rastrera*.

2) Arbustivas que frecuentemente no presentan estratos gramíneo y herbáceo, con grandes espacios de suelo desnudo. Este tipo de ecosistemas fueron considerados como degradados.

3) Arbustivas presentando ocasionalmente estratos con algunas hierbas y zacates bajo su sombra y con espacios de suelo desnudo. Este tipo de ecosistemas también presentaron una cierta degradación.

4) Arbustivas con gramíneas y otras herbáceas que están aislados en los espacios abiertos. Las arbustivas en ocasiones se localizan en áreas en las cuales el espacio entre un arbusto y otro está cubierto por plantas gramíneas como: *Bouteloua barbata*, *Enneapogon desvauxii*, *Eragrostis* sp, etc.

En la parte cerril la vegetación está compuesta por: matorrales micrófilos y crasicaules, destacando la presencia de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*) y zacate chino (*Bouteloua ramosa*), entre otras.

Tratamientos

El trabajo de campo se efectuó de febrero a noviembre de 1999. En cada uno de los ejidos señalados se escogieron áreas degradadas susceptibles de rehabilitar mediante el establecimiento de especies vegetales. La especie

seleccionada fue: nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber), el origen de los propágulos fue de las mismas localidades.

La metodología empleada en cada uno de los ejidos fue la siguiente:

1. Localización de áreas nopaleras, y terrenos susceptibles de resembrar. Los criterios utilizados para hacer las reforestaciones. Con nopal, se hizo considerando nopales ya establecidos, haciéndose la plantación en las inmediaciones que circundan dichos lugares, los cuales se caracterizaron por presentar gobernadora sin estratos gramíneo y herbáceo y grandes espacios abiertos de suelo desnudo
2. Dentro de cada una de las áreas señaladas se tomaron 20 ha para distribuir dentro de ellas los lotes experimentales (Figura 3). La orientación con que invariablemente se colocaron los propágulos fue al noroeste con respecto al arbusto nodriza.

a) Selección de lotes experimentales. Dentro de las 20 ha mencionadas se escogieron al azar 5 lugares de superficie variable (fue determinada en base a la frecuencia con que aparecían los arbustos "nodrizas") para establecer aleatoriamente los propágulos.

b) En febrero y marzo de 1999 se hizo el corte con machetes a nivel de nudos, el secado (que duró de 8 a 15 días bajo la sombra de gobernadoras y mezquites) y transplante de 10 propágulos compuestos individualmente por 1 hasta 6 pencas en cada uno de los 5 lotes experimentales.

En la localidad Charcos de Risa la plantación se efectuó el 4 de febrero, en Felipe Ángeles la plantación se realizó el 29 de marzo, en Río Aguanaval fue el 30 de marzo y en Tres Manantiales el 25 de marzo. Para aumentar las probabilidades

de éxito se siguió el criterio de arbustos "nodriza" o sitio seguro (Winkel *et al.* 1991) con formación de microcuencas según lo recomiendan Rodríguez y Martínez (1996). La planta nodriza que invariablemente se aprovechó fue la gobernadora. Cada propágulo y cada lote fue identificado con estacas que sirvieron para dar seguimiento al desarrollo de las plantas y para la toma de datos.

Evaluación de variables productivas

Fueron dos periodos los empleados para medir la respuesta de rehabilitación:

El primero fue en noviembre de 1999, al finalizar la época de lluvia, el 6 de noviembre en la localidad Río Aguanaval, el 13 de noviembre en Charcos de Risa y Tres Manantiales y el 20 de noviembre en Felipe Ángeles, se midieron las variables sobrevivencia (que se evaluó cualitativamente, en base a si estaba o no presente y si las pencas estaban secas y esqueléticas completamente lo cual significaba que estaban muertas) y crecimiento de la planta: altura (se midió la parte más alta), anchura de la planta (se midió la parte más ancha) y número de pencas (se determinaron al momento del transplante) de cada una de las 50 plantas de los 5 lotes experimentales de cada localidad.

El segundo período se realizó en noviembre de 2002, los días 9 y 20, haciéndose las mismas mediciones que en el primer período. Cabe mencionar que en la localidad de Río Aguanaval para este periodo ya no se detectó sobrevivencia alguna de las plantas que se evaluaron durante el primer período, razón por la cual en esta localidad ya no se evaluaron las variables de crecimiento.

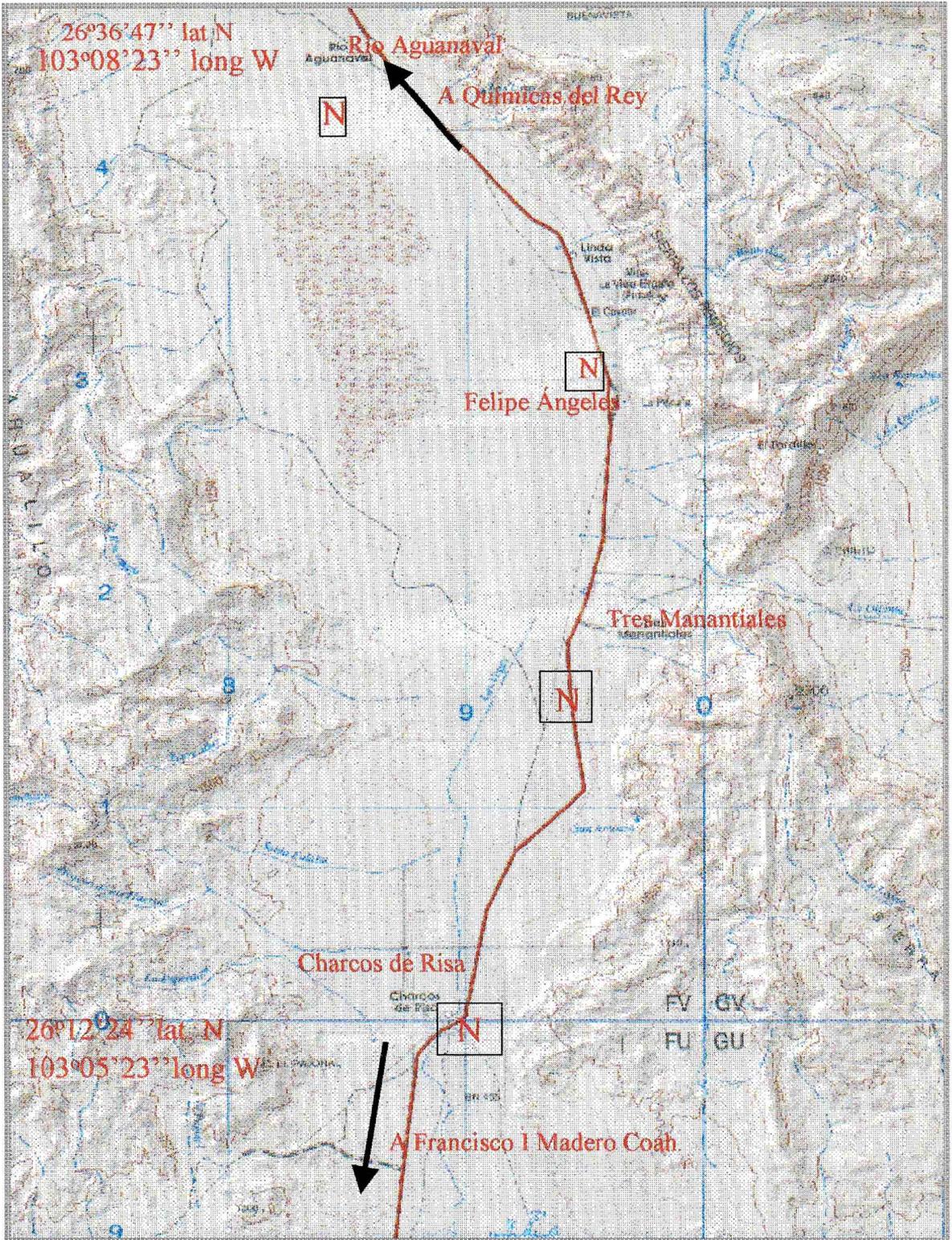


Figura 3. Ubicación de los lotes experimentales en el área de estudio.

N=Nopal rastrero.

Evaluación de variables de suelo

Al igual que en el caso anterior se emplearon dos periodos:

En el primero, durante febrero, marzo y abril de 1999, se obtuvieron muestras de suelo por cada uno de los 5 lotes de nopal rastrero, para cada localidad. En total fueron 20 muestras de suelo. La ubicación de cada muestra de suelo se realizó al azar, a una profundidad de 30 cm y un diámetro de 15 cm.

Durante el mismo período en los meses de mayo, junio y julio se efectuó un análisis de suelos en laboratorio y se determinaron los valores de las siguientes variables: pH y conductividad eléctrica (CE) en (mS/cm) analizados con el método en extracto de suelo a saturación, densidad aparente (Da) en (gr/cm^3) mediante el método de parafina, nitrógeno (N) en (%) por el método de Kjeldhal, fósforo (P) en (ppm) por el método de Olsen modificado, materia orgánica (MO) en (%) por el método de Walkey-Black, calcio (Ca) en (meq/lit), magnesio (Mg) en (meq/lit) y sodio (Na) en (meq/lit) por medio del extracto de suelo a saturación analizado en absorción atómica (Universidad Autónoma Chapingo 1998).

En el segundo período, durante el mes de marzo de 2002, se volvieron a obtener muestras de suelo, repitiendo la metodología del primer período. En la localidad Río Aguanaval, como ya se señaló, desaparecieron todas las plantas del área experimental, por lo cual se decidió no coleccionar muestras, en total fueron 15 muestras las procesadas.

En este mismo período, durante abril, mayo y junio se realizaron los mismos análisis de laboratorio que en el primer período.

Análisis de resultados

Para conocer la rehabilitación de los ecosistemas, se midieron las respuesta de las variables productivas del nopal rastrero y de las variables del suelo en los dos periodos señalados en cada una de las localidades y se hizo una comparación de la rehabilitación entre las distintas localidades. Se obtuvieron los datos de precipitación pluvial registrada durante 1999, 2000, 2001 y 2002 (hasta agosto), a través de la caseta meteorológica ubicada en el Ejido Felipe Ángeles, que se localiza entre Río Aguanaval y Tres Manantiales, con el propósito de utilizarlos como base para explicar su posible influencia en el grado de rehabilitación de los ecosistemas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta a la rehabilitación de los ecosistemas

Variables productivas. En el primer periodo (1999) en los lotes de Tres Manantiales se obtuvo la mejor sobrevivencia con un promedio de 100 %, siguiéndole los lotes de Felipe Ángeles con 90 %, Río Aguanaval con 72 % y Charcos de Risa con 50 %. El promedio total de sobrevivencia para ese año fue de 78 % (Cuadro 1, Figura 4 y 8). Mientras que en el segundo periodo (2002) se observó una sobrevivencia menor con un promedio de 92 % en Tres Manantiales, seguido de Charcos de Risa y Felipe Ángeles con un promedio de 64 % y 34 % respectivamente. Siendo el promedio total de 47.5 % para este año (Cuadro 2, Figura 4 y 8). Se observó que conforme transcurre el tiempo (cuando menos cuatro años), la sobrevivencia de esta especie ha ido a la baja (en un 30.5 % aproximadamente). Es importante mencionar que la sobrevivencia del nopal en los lotes de Río Aguanaval fue nula, esto repercutió fuertemente en el promedio general de sobrevivencia. Posiblemente la no sobrevivencia de plantas, fue consecuencia del nulo control de los animales domésticos. Aunque en las demás localidades se observó también disminución en la sobrevivencia, se considera que los datos son aceptables, ya que la escasez de lluvias, la baja disponibilidad de nutrientes y la acción de depredadores, seguramente influyeron negativamente.

Con respecto a la altura promedio del nopal en 1999, la mayor fue de 26.3 cm en Río Aguanaval, seguido de Tres Manantiales con 20.4 cm, en Charcos de Risa y Felipe Ángeles fue de 16.9 cm y 15.9 cm respectivamente. El promedio total de altura fue de 20 cm para este año (Cuadro 1, Figura 5 y 8). En el 2002 la

altura promedio mayor fue de 29.74 cm en Tres Manantiales, seguido de Charcos de Risa y Felipe Ángeles con 17.18 cm y 6.6 cm respectivamente. El promedio total para ese año fue de 17.84 cm (Cuadro 2, Figura 5 y 8). Se puede observar una disminución en esta variable, dicha disminución pudo deberse a que en la localidad de Felipe Ángeles (que fue donde hubo un decremento drástico) en el crecimiento, no existió una exclusión 100 % eficiente, es decir se permitió la entrada de animales domésticos y además fauna silvestre (como las liebres) que también produjeron daño en las plantas.

La anchura promedio mayor para 1999 fue de 28.9 cm en Tres Manantiales, seguido de Felipe Ángeles y Río Aguanaval con 23.7 cm y 23.1 cm respectivamente, en Charcos de Risa fue de 20 cm. El promedio de anchura para este año fue de 24 cm (Cuadro 1 y Figura 6 y 8). Para el 2002 el promedio fue de 34.47 cm para Tres Manantiales, seguido de Charcos de Risa y Felipe Ángeles con 18.05 cm y 5.8 cm respectivamente. El promedio para este año fue de 19.44 cm, que comparado con los datos de 1999, mostró al igual que la variable anterior un decremento. El cual fue dado en la localidad de Felipe Ángeles, las razones por las que ocurrió esto son las mismas que se señalaron en el anterior caso. (Cuadro 2, Figura 6 y 8).

El numero de pencas promedio mayor en 1999 fue de 3 pencas por planta en Tres Manantiales, Charcos de Risa y Felipe Ángeles presentaron 2 pencas por planta, en Río Aguanaval fue donde menor número de pencas hubo(1penca). Siendo el promedio total para ese año de 2 pencas por planta (Cuadro 1, Figura 7 y 8). Para el 2002 el promedio mayor de pencas fue de 8 por planta en Tres Manantiales, Charcos de Risa con 3 pencas por planta y Felipe Ángeles con una

penca por planta. El promedio total de pencas para este año fue de 4 pencas por planta (Cuadro 2, Figura 7 y 8). En este caso se observó que hubo un incremento en el número de pencas, ya que varió de 2 a 4 en promedio. Estos resultados parecen ser contradictorios si los comparamos con las variables altura y anchura, sin embargo son lógicos si se considera que en Tres Manantiales hubo un incremento significativo ya que varió de 3 a 8 pencas de 1999 al 2002 en promedio, o sea 5 más. Por otro lado la variación en decremento en la localidad de Felipe Ángeles (varió de 2 a 1 penca). Además el tamaño de cada penca no fue considerable. Es decir hubo un incremento en el número de pencas, pero el tamaño promedio de cada pencas no se incrementó, observándose eso en las localidades de Felipe Ángeles y Charcos de Risa.

CUADRO 1. VALORES DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL NOPAL RASTRERO EN LAS LOCALIDADES DEL VALLE DE ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH. PRIMER PERÍODO (1999).

Localidad	Lotes L ₁	Sobrevivencia %	Altura (cm)	Anchura (cm)	Numero de pencas
Río Aguanaval L ₂	I	90	28	20.5	1.3
	II	70	28.6	30	1
	III	60	28.3	30	1
	IV	40	17	25.3	1
	V	100	31.8	20.4	1
	Promedio	72	26.3	23.1	1.1
Charcos De Risa L ₃	I	70	22.7	16.3	1.7
	II	100	20.7	23.9	1.9
	III	30	13.7	20.3	1.7
	IV	-	-	-	-
	V	50	10.6	19.8	1
	Promedio	50	16.9	20.0	1.6
Felipe Angeles L ₄	I	90	15.7	30.4	1.77
	II	90	18	24.5	1.6
	III	100	18	19.5	1.2
	IV	70	15.4	24	1.7
	V	100	12.2	20.1	1.7
	Promedio	90	15.9	23.7	1.6
Tres Manantiales L ₅	I	100	22.4	31.9	2.8
	II	100	17	19.1	2.8
	III	100	23.9	35.5	4.2
	IV	100	20.7	37.9	3
	V	100	18.2	20.1	1.7
	Promedio	100	20.4	28.9	2.9
	Promedio	78	20	24	1.8
	Total				

L₁ Valor promedio de 10 plantas (lote).

L₂ Fecha de plantación 30/03/99 y fecha de muestreo 06/11/99.

L₃ Fecha de plantación 04/02/99 y fecha de muestreo 13/11/99.

L₄ Fecha de plantación 25/03/99 y fecha de muestreo 13/11/99.

L₅ Fecha de plantación 29/03/99 y fecha de muestreo 20/11/99.

CUADRO 2. VALORES DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL NOPAL RASTRERO EN LAS LOCALIDADES DEL VALLE DE ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH. SEGUNDO PERÍODO (2002).

Localidad	Lotes L ₁	Sobrevivencia %	Altura (cm)	Anchura (cm)	Numero de pencas
Río Aguanaval L ₂	I	-	-	-	-
	II	-	-	-	-
	III	-	-	-	-
	IV	-	-	-	-
	V	-	-	-	-
	Promedio	-	-	-	-
Charcos De Risa L ₃	I	90	20.9	27.7	3.6
	II	50	12.5	13.95	1.6
	III	80	17.9	23.65	3.4
	IV	30	5.9	7.5	3.1
	V	70	14.4	17.45	2.6
	Promedio	64	17.184	18.05	2.86
Felipe Angeles L ₄	I	60	11	10.15	1.4
	II	30	5.1	4.05	0.4
	III	20	7	5.6	0.9
	IV	20	4.6	4.35	0.9
	V	40	5.3	4.85	0.8
	Promedio	34	6.6	5.8	0.88
Tres Manantiales L ₅	I	80	27.1	29.1	8.8
	II	90	25.3	29.5	7.1
	III	90	32.8	38.55	9.4
	IV	100	34.1	40.6	9.7
	V	100	29.4	34.65	7.2
	Promedio	92	29.74	34.479	8.44
	Promedio	47.5	17.841	19.443	4.06
	Total				

L₁ Valor promedio de 10 plantas (lote).

L₂ Fecha de plantación 30/03/99 y fecha de muestreo 09/11/02.

L₃ Fecha de plantación 04/02/99 y fecha de muestreo 20/11/02

L₄ Fecha de plantación 25/03/99 y fecha de muestreo 09/11/02.

L₅ Fecha de plantación 29/03/99 y fecha de muestreo 09/11/02.

Variabes del suelo. Los resultados obtenidos de los muestreos realizados se pueden observar en el Cuadro 3 y Figura 9. Según los resultados en el primer período (1999) y comparados con los obtenidos en los efectuados en el segundo período (2002), se observó que en términos generales hubo cambios prácticamente nulos. Sin embargo hubo en algunos casos disminuciones leves y en otros incrementos leves también, por ejemplo: en Charcos de Risa hubo una disminución en cuanto a CE en 1999 fue de 2.57 mS/cm y en el 2002 de 0.732 mS/cm, en concentración de P de 10.29 ppm en 1999, a 6.86 ppm en el 2002. En Tres Manantiales hubo un incremento en cuanto a Ca, Mg y Na; con valores de 1.65 meq/lto, 0.95 meq/lto y 0.92 meq/lto en 1999, 2.12 meq/lto, 1.64 meq/lto y 1.72 meq/lto respectivamente en el 2002. Al comparar los valores promedio de las variables obtenidos en 1999 y 2002, en términos generales se observó el mismo comportamiento señalado para cada localidad.

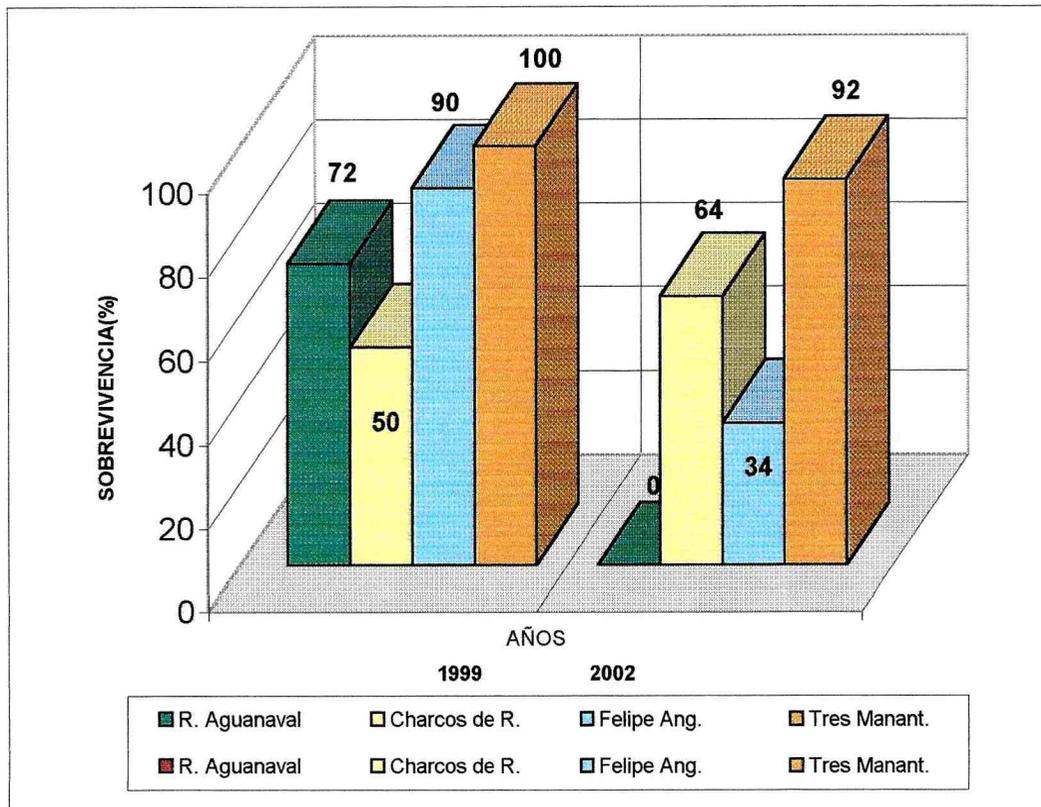


FIGURA 4. Valores promedio de sobrevivencia del nopal rastrero en las cuatro localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. en 1999 y 2002.

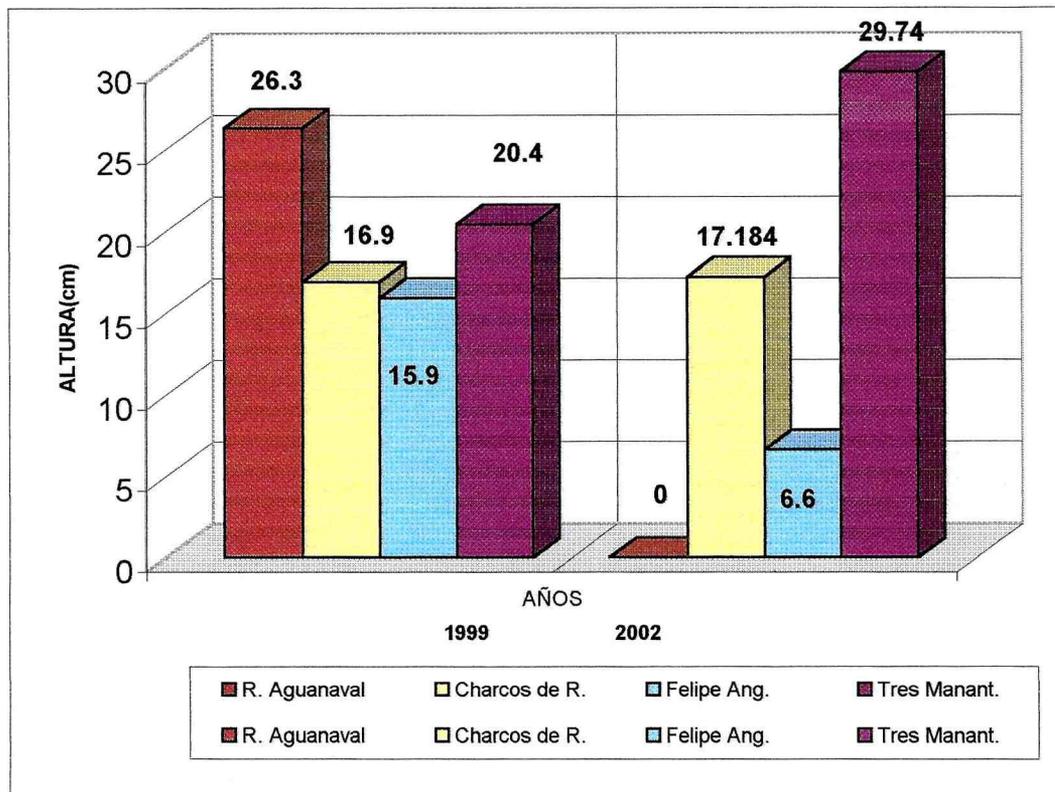


FIGURA 5. Valores promedio de altura en nopal rastrero en las cuatro localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah., en 1999 y 2002.

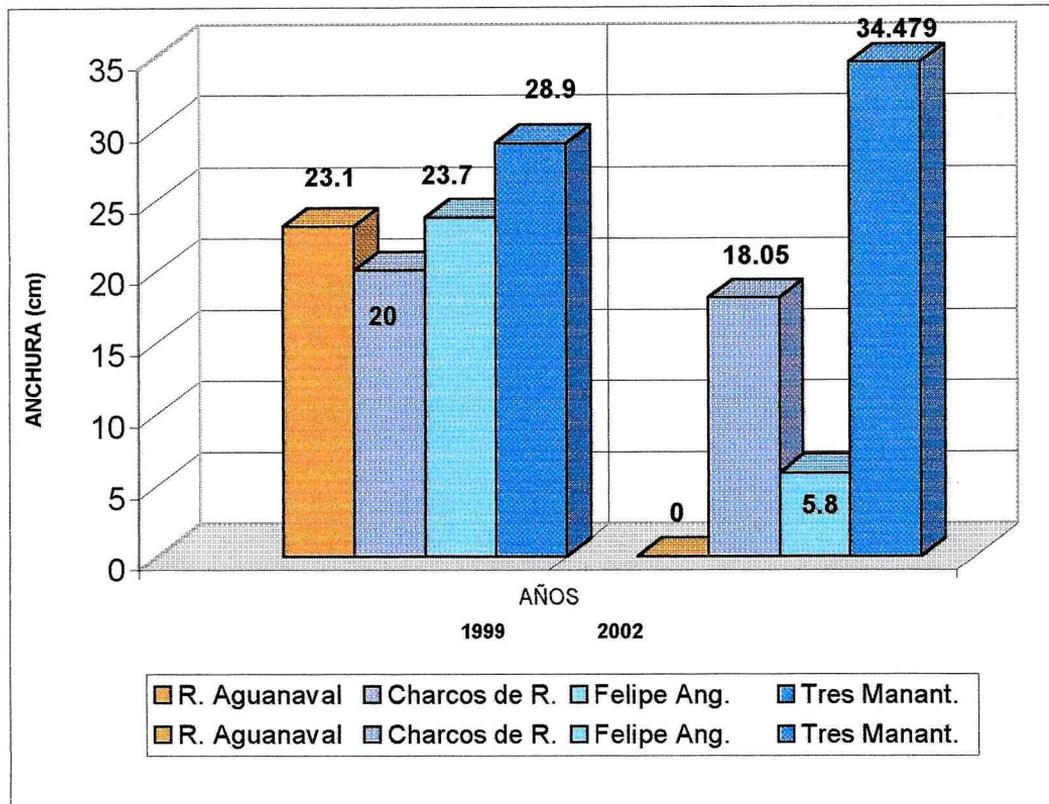


FIGURA 6. Valores promedio de anchura en nopal rastrero en las cuatro localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah., en 1999 y 2002

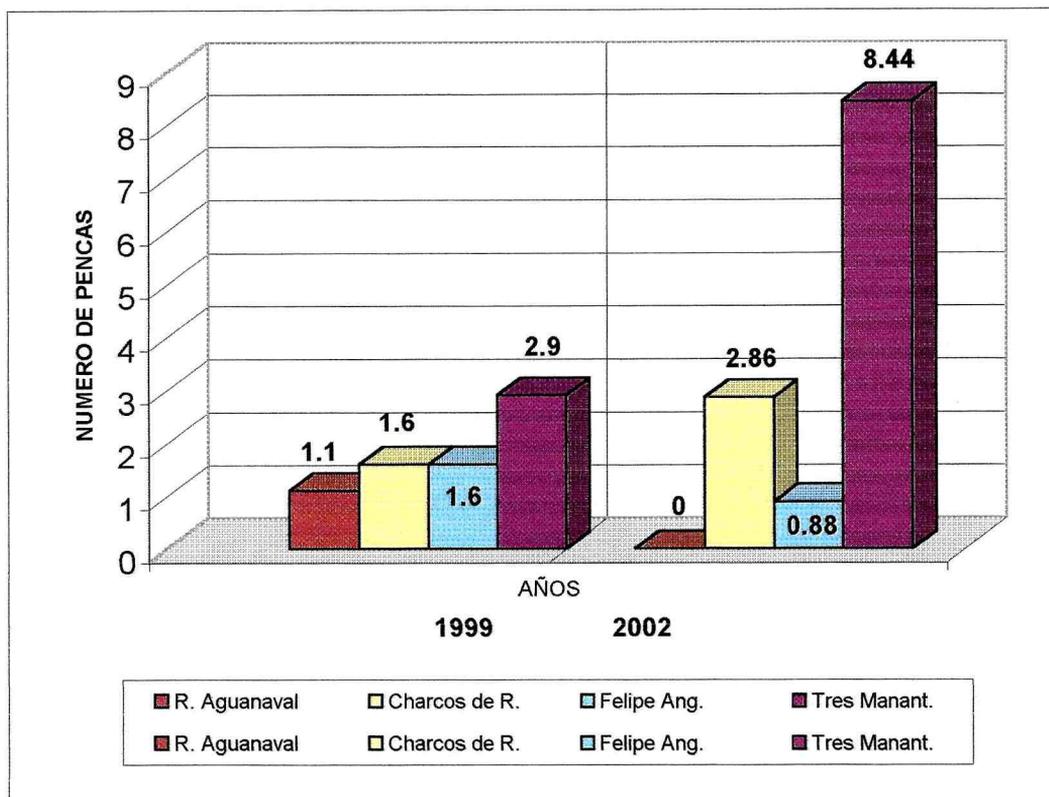


FIGURA 7. Valores promedio de numero de pencas en nopal rastrero en las cuatro localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah., en 1999 y 2002

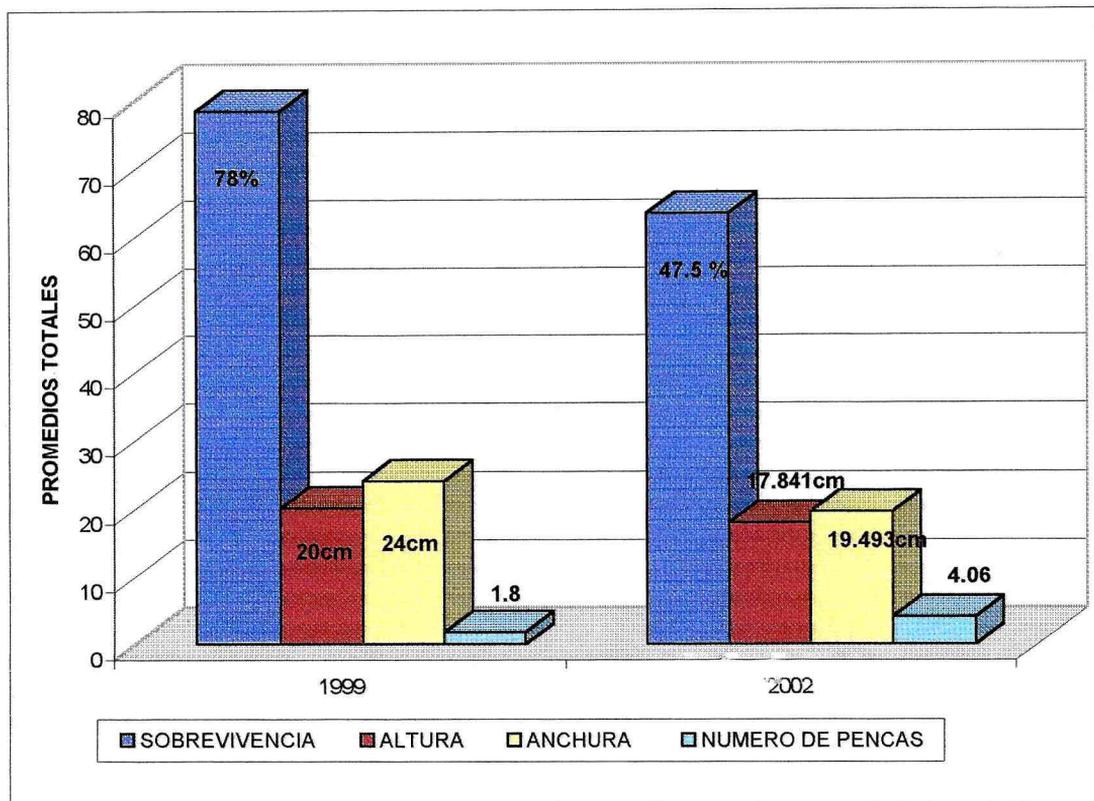


FIGURA 8. Valores promedios totales de las variables productivas en el nopal rastrero en las cuatro localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah., en 1999 y 2002.

Precipitación pluvial registrada de 1999 a 2002. En el mes de junio de 1999 se registró la mayor precipitación que fue de 190 mm, lo cual favoreció el éxito de las plantaciones realizadas, asimismo en julio y mayo llovió considerablemente con 70 y 60 mm respectivamente. Durante estos meses se registro el 98.7 % de la lluvia total de ese año. En el 2000, junio fue el mes más lluvioso con un total de 123 mm, destacando además los meses de mayo y octubre con 26 y 23 mm respectivamente. En estos tres meses se registró el 92.8 % de la lluvia total de ese año. Para el 2001 el mes más lluvioso fue agosto con 112 mm, destacando diciembre y noviembre con 37 mm y 24 mm respectivamente. En estos meses se registro el 98.5 % del total de las lluvias de ese año. En el 2002 el mes más lluvioso fue junio con 45 mm, seguido de julio con 30 mm y marzo con 10 mm. En estos meses se registro el 98.3 % del total de las lluvias de ese año (Figura 10 y 11). Sin embargo en este año no se pudieron obtener los datos del resto de los meses a partir de septiembre, por lo cual el análisis no puede ser completo. Como puede observarse la precipitación fue de más a menos o sea llovió con mayor abundancia en 1999, mientras que en 2000 y 2001 llovió menos que en 1999. Posiblemente esto influyó para que en términos generales se observara una disminución en el crecimiento en todas las localidades a excepción de Tres Manantiales.

CUADRO 3. VALORES PROMEDIO DE LAS VARIABLES DEL SUELO A 30 CM DE PROFUNDIDAD EN LAS LOCALIDADES DEL VALLE DE ACATITA, MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAH. 1999 Y 2002

Variable	R. Aguanaval (Años)		C. Risa (Años)		T. Manantiales (Años)		F. Ángeles (Años)		Prom. Gral. (Años)	
	1999	2002	1999	2002	1999	2002	1999	2002	1999	2002
PH	7.57	-	7.26	7.29	7.28	7.49	7.33	7.42	7.36	7.4
CE mS/cm	0.55	-	2.57	0.73	0.53	0.55	2.07	2.23	1.43	1.17
Da g/cm	1.26	-	1.08	1.21	1.42	1.21	1.31	1.25	1.26	1.22
N %	0.04	-	0.08	0.05	0.04	0.07	0.04	0.06	0.05	0.06
P ppm	6.96	-	10.29	6.86	9.31	8.98	12.06	6.71	9.65	7.51
M. O. %	0.84	-	1.31	0.59	0.91	0.98	1.05	0.95	1.02	0.84
Ca eq/100g	2.66	-	14.58	3.02	1.65	2.12	11.89	11.52	7.69	5.55
Mg meq/l	1.43	-	2.09	1.54	0.95	1.64	3.35	3.56	1.95	2.24
Na meq/l	0.76	-	1.08	2.63	0.92	1.72	1.06	6.88	0.95	3.74

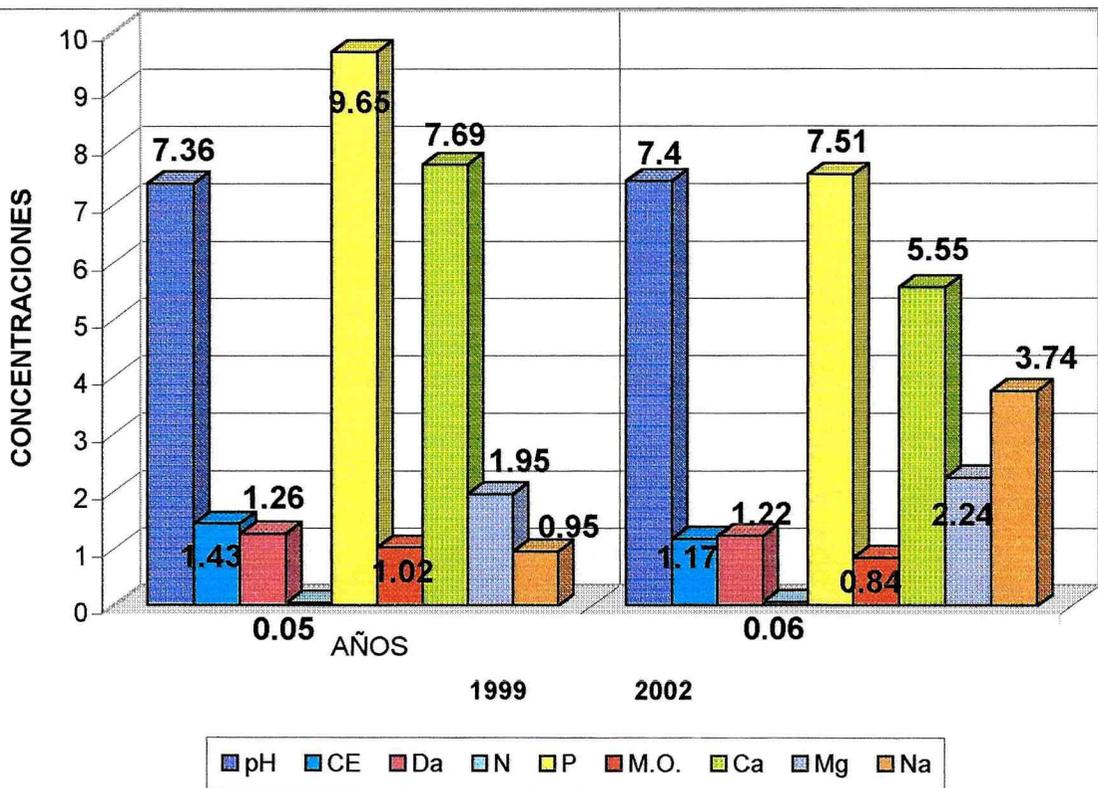


FIGURA 9. Valores promedio general de las variables del suelo a 30 cm de profundidad en las localidades del Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah. 1999 y 2002

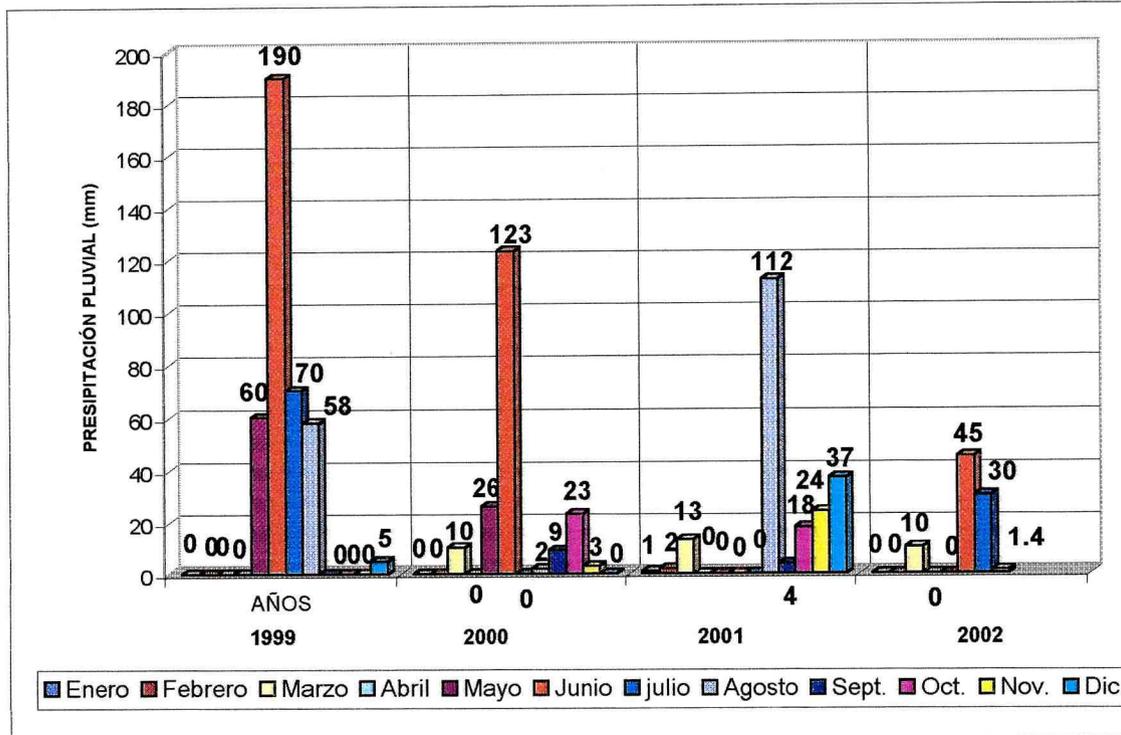


FIGURA 10. Valores de precipitación pluvial mensual de 1999 hasta agosto del 2002 en el Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah.

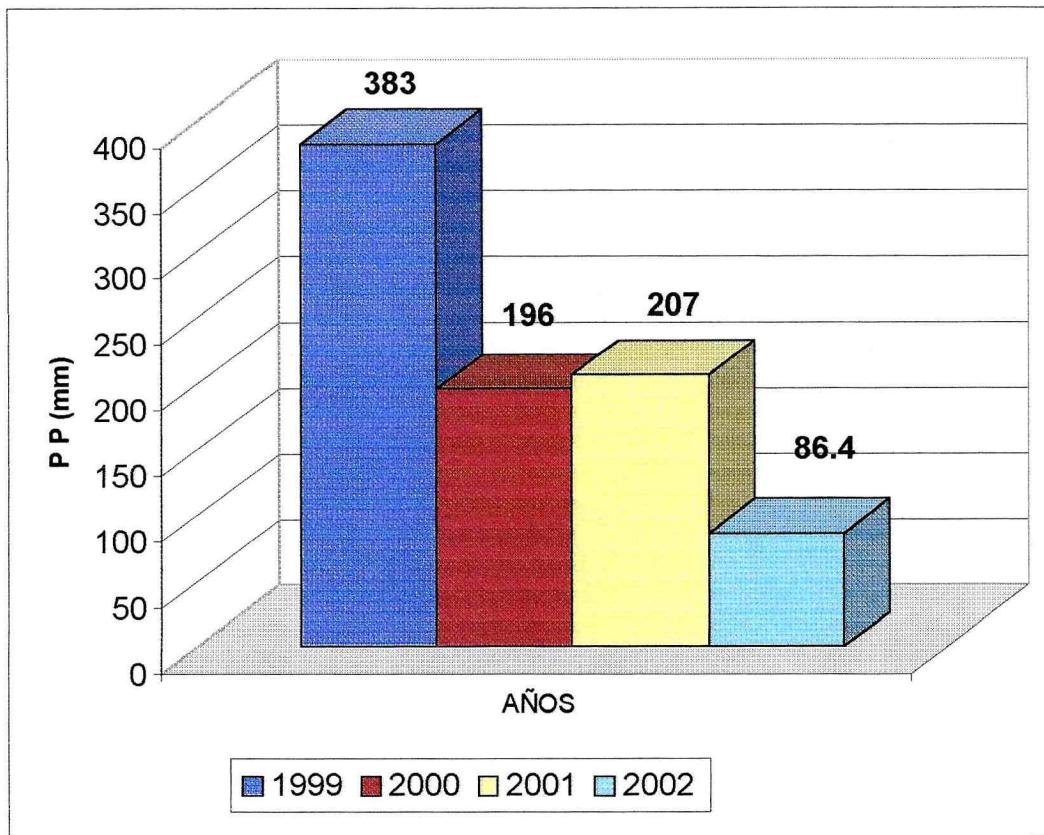


FIGURA 11. Valores de precipitación pluvial anual de 1999 hasta agosto de 2002 en el Valle de Acatita, municipio de Francisco I. Madero, Coah.

CONCLUSIONES

- ✓ La rehabilitación lograda en ecosistemas dañados del Valle de Acatita fue exitosa ya que el nopal rastrero tuvo una aceptable adaptación. A excepción de la localidad de Río Aguanaval en la cual en el 2002 desaparecieron las plantas, pudiéndose explicar esto por la falta de cuidados en la exclusión del área.
- ✓ En buena medida la adaptación se ha debido a la precipitación pluvial alcanzada en esos años, principalmente la de 1999. Comprobándose que efectivamente esta especie logra sobrevivir y crecer en precipitaciones mínimas de 150 mm.
- ✓ De todas las localidades fue en Tres Manantiales en donde se obtuvo la mejor respuesta de rehabilitación de ecosistemas, debiéndose esto posiblemente a que en el momento del transplante el número de pencas iniciales fue mayor que las empleadas en las demás localidades y además la eficiencia de la exclusión fue mejor.
- ✓ El efecto separado de la rehabilitación de suelos no se notó, para que haya variaciones significativas en las concentraciones de las variables se requiere de un mayor lapso de tiempo.
- ✓ Se recomienda que se continúe este estudio considerando todas las variables evaluadas (productivas y de suelo) así como la profundidad de suelo recuperado.

LITERATURA CITADA

- American Society of Range Management (ASRM). 1964. Range term glossry Comm. A Glossary of terms useds in range management. American Society of Range Management. Portland, Oregon. 5 p.
- Blanco C., M. I. 2000. Sobrevivencia y crecimiento del nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber) en los Ejidos Lindavista y Río Aguanaval del Valle de Acatita Municipio de Francisco I Madero Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón Coahuila. 62 p.
- Borrego E., F. y N. Burgos V. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila México. 227 p.
- Bravo, H. 1978. Las Cactáceas de México. Segunda edición. Vol. 1. De. UNAM. México D.F. 743 p.
- CETENAL. 1976. Sierra Tlahualilo. Carta edafológica. Escala 1: 50 000. G13B76
- Charley, J. L. 1977. Mineral cycling in rangeland ecosystems, In: R. E. Sosebee Ch. (Ed.). Rangeland Planta Physiol. Range Sci. Series. 4: pp215-256
- Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA). 1994^a. Plan de acción para combatir la desertificación en México (PACD- MÈXICO). Comisión Nacional de Zonas Áridas. SEDESOL. México D.F. 160 p.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA). 1994^b . Nopal verdura (*Opuntia spp*) Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas del México. CONAZA-INE. México D.F. 31 p.
- Enkerlin E. C., G. Cano, R. A. Garza y E. Vogel. 1997. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. International Thomson Editores. México D. F. 690 p.

- Fierro G., L. C. 1995. Nutrición del ganado en apacentamiento. En: De León G. L. L. (editor). Temas de actualidad en manejo de pastizales. Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales (SOMMAP). UAAAN. Gobierno del Estado de Coahuila. Saltillo Coahuila. p. 11.
- García M., E. y C. M. McKell. 1970. Contribution of shrub to the nitrogen economy of a desert wash plant community. *Ecology* 51(1):81-88 p. USA.
- Granados S., D. y A. D. Castañeda P. 1991. El Nopal. Primera edición. Ed. Trillas. México, D. F. 225 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. Tlahualilo de Zaragoza. Carta topográfica. Escala 1: 250 000. G13-6
- Jiménez M., A. 1989. La producción de forrajes en México. Universidad Autónoma Chapingo. Banco de México-FIRA. Colección Fénix. Carretera México- Texcoco. Km 38.5 .100 p.
- Krebs C., J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. Segunda edición. Editorial Harla. México D.F. 753 p.
- Maldonado A., J. y M. Zapién B. 1977. El Nopal en México. *Ciencia Forestal*. No 5. Vol.2, INIFAP. 48 p.
- Masters A., R and R. L. Sheley. 2001. Invited Synthesis Paper: Principles and practices for managing rangeland invasive plants. *J. Range Manage.* 54 (5): 502-517.
- Medina T., J. G., E. Acuña, J. Espinoza y J. J. López. 1986. Manejo de Pastizales, Memorias del Segundo Congreso Nacional de Caracterización Agroecológica de Plantaciones del Nopal Forrajero en Coahuila,

Departamento de Recursos Naturales Renovables. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México., p. 47.

Miller T., M. G. 1994. Ecología y Medio Ambiente. Grupo Iberoamérica, S. A. de C. V. México D. F. 867 p.

Olalde P., V., J. T. Frías H., A. L. Aguilar L., N. Pescador y L. I. Aguilera G. 2000. Caracterización Microbiológica de Suelos de Islas de Fertilidad de Mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex. Wild) M. C. Johnst.) en Ambientes Semiáridos. En: Frías, H. J. T., V. Olalde P. Y J. Vernon C. El Mezquite Árbol de Usos Múltiples Estado Actual del Conocimiento en México. CINVESTAV – IPN Unidad Irapuato. Universidad de Guanajuato. UAM – Iztapalapa. México. 247 p.

Reynaga V., J. R. 1995. Transformación ecológica de pastizales. En: Medina T. G. J., M J. Ayala O., L. Pérez R. y J. Gutiérrez C. (Editores). Rehabilitación de ecosistemas de pastizal, conceptos y aplicaciones. SOMMAP.UAAAN. Saltillo Coah. p.17.

Ries R., E. And L. Hofmann. 1995. Grass seedling morphology when planted at different depths. J. Range Manage. 48 (3): 218-223.

Rodríguez C., V. M. y O. U. Martínez. 1996. Comparación de diferentes estrategias de establecimiento de especies forrajeras en matorral parvifolio inerme. XII Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales. Zacatecas Zac. p. 19.

Rubio H., O., M. K. Wood, M. Cardenas and B. A. Buchanan. 1992. The effect of polyacrylamide on grass emergence in southcentral New Mexico. J. Range Manage. 45 (3): 296-300.

- Salisbury B., F. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana S.A. de C. V. México D.F. 759 p.
- Sánchez C., I. 1995. Erosión y Productividad en la Comarca Lagunera. Manejo y uso del agua en las cuencas hidrográficas del norte de México. CENID RASPA, ORSTOM. Folleto Científico Num. 4. 25 p.
- Secretaria de Agricultura y Recursos hidráulicos y Comisión Técnica Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (SARH-COTECOCA). 1979. Comisión Técnica Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero. Durango. pp 142 y 143.
- Solís E., J. A. 1992. Inventario de Vegetación del Ejido Charcos de Risa, Municipio de Francisco I. Madero Coah. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Coahuila. Esc. De Ciencias Biológicas. Torreón, Coah. 85 p.
- Vallentine J., F. 1980. Range Development and Improvement. Brigham Young University Press. Segunda edición. 545 p.
- Vallentine J., F. 1989. Range Development and Improvement. Academic Press Inc. New York. 524 p.
- Vázquez Y., C. y V. Cervantes. 1993. Reforestación con árboles nativos de México. Ciencia y Desarrollo. Vol. XIX. Num. 113. Nueva Época. 52-63 pp.
- Winkel V., K., B. A. Roundy and J. R. Cox. 1991. Influence of seedbed microsite characteristics on grass seedling emergence. J. Range Manage. 44(3):210-214.

Yeaton I., R. 1995. Rehabilitación de pastizales Karoo, Sudafrica: función de la dinámica de la fase de anidamiento. En: Medina T. G. J. , M. J. Ayala O. , L. Pérez R. y J. Gutiérrez C. (editores). 1995. Rehabilitación de ecosistemas de pastizal. Conceptos y aplicaciones. Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales (SOMMAP). UAAAN. Saltillo, Coah. 151 p.