

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



***Opuntia rastrera*: captura de carbono en ecosistemas naturales y agroecosistemas en el sureste de Coahuila.**

Por.

Ricardo Hernández Del Carmen

TESIS

Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo Zootecnista

**Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
Diciembre de 2006**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Opuntia rastrera: captura de carbono en ecosistemas naturales y agro
ecosistemas en el sureste de Coahuila.

POR:

Ricardo Hernández Del Carmen.

TESIS.

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA.

Aprobado.

Presidente del jurado.

M.C. Luís Pérez Romero.

Dr. Juan José López González
Vocal.

Dr. Jorge G. Medina Torres.
Vocal

M. C. Gilberto Gloria Hernández.
Vocal suplente.

El coordinador de la División de Ciencia Animal.

Dr. Ramón F. García Castillo.

Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
Diciembre de 2006

DEDICATORIA.

A Dios por haberme brindado la dicha de vivir y por permitirme realizar este sueño de varios años de lucha.

Especialmente dedico este trabajo a mis padres:

Sr. Margarito Hernández Guzmán.

Por brindarme con tu ejemplo, la lucha y el sacrificio para alcanzar los sueños así como la nobleza de ayudar a quien lo necesita. A ti padre, muchas gracias por darme la fuerza en tiempos difíciles.

Sra. Feliz Del Carmen Caracas.

Eres mi gran pilar en esta vida, cada lágrima y cada suspiro por tus hijos, nunca podremos pagártelo. Con todo el corazón, te quiero y te dedico todos mis triunfos.

También dedico con todo aprecio, a mis hermanos que me ayudaron con apoyo incondicional para salir adelante, con orgullo y con la frente en alto.

Reyna Hernández Del Carmen.

Martha M. Hernández Del Carmen.

José M. Hernández Del Carmen.

Francisco J. Hernández Del Carmen.

A mi novia Edna M. Nolasco Vásquez una persona muy especial en mi vida, quien me ha brindado la dicha de compartir un sueño, y vivirlo cada día.

A todos mis familiares quienes siempre tuvieron un consejo y una palabra de aliento para mí.

A todos mis amigos, principalmente mi pequeña familia en esta etapa: Jesús E., Silvia, Javier y Efraín, el camino fue difícil, pero llegamos al final.

AGRADECIMIENTO.

A mi Universidad que me dio la gracia de pertenecer a ella y siempre llevare su escudo y recuerdo en el corazón.

Al M. C. Luís Pérez Romero por su valiosa asesoría, paciencia y pilar para la realización del presente trabajo, gracias.

Al M. C. Gilberto Gloria Hernández y su apreciable familia por todos sus consejos y abrirme las puertas de su hogar.

Al Dr. Juan José López González por su colaboración y brindarme las bases del presente trabajo.

Al Dr. Jorge Galo Medina Torres por su apoyo y colaboración.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

	Página.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	2
Importancia del Nopal.....	2
Taxonomía del nopal rastrero.....	2
Distribución geográfica de <i>Opuntia rastrera</i>	3
Distribución de <i>Opuntia rastrera</i> en el estado de Coahuila.....	3
Agro ecosistemas de nopal.....	4
Importancia ecológica.....	4
Ciclo del Carbono.....	4
Distribución del carbono en la tierra.....	5
Protocolo de Kyoto.....	6
México en el protocolo de Kyoto.....	7
Captura de carbono en la vegetación.....	8
Captura d carbono en el suelo.....	8
MATERIALES Y METODOS.....	10
Descripción del área de estudios.....	10
Ecosistemas naturales.....	10
Selección de sitios.....	10
Agro ecosistemas.....	14
Selección del sitio.....	14
Selección del material vegetativo.....	14
Sistema de plantación.....	15

Producción de fitomasa.....	15
VARIABLES A EVALUAR.....	15
RESULTADOS.....	17
Ecosistemas naturales de <i>Opuntia rastrera</i>	17
Agro ecosistemas de <i>Opuntia rastrera</i>	23
Comparación de ecosistemas.....	29
CONCLUSIONES.....	31
BIBLIOGRAFIA.....	32
CITAS EN INTERNET.....	37

ÍNDICE DE CUADROS.

No. de cuadro	Página.
1.- Atributos individuales y poblaciones de <i>Opuntia rastrera</i> en ecosistemas naturales del Norte de México.....	19
2.- Producción de materia seca y captura de carbono en ecosistemas naturales de <i>Opuntia rastrera</i> en el Norte de México.....	20
3.- Producción de materia seca en agro ecosistemas (plantaciones) de <i>Opuntia rastrera</i> en el Norte de México (1997 – 2002).....	24
4.- Captura de Carbono en agro ecosistemas (plantaciones) de <i>Opuntia rastrera</i> en el Norte de México (1997 – 2002).....	26
5.- Producción de materia seca y captura de carbono en agroecosistemas (plantaciones) de <i>Opuntia rastrera</i> en el Norte de México (1997 – 2002).....	28
6.- Producción promedio de materia seca y captura de carbono en ecosistemas naturales y agro ecosistemas (plantaciones) de <i>Opuntia rastrera</i> en el Norte de México.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS.

No. de figura	Página.
1.- Ciclo del carbono.....	5
2.- Relación entre densidad con producción de materia seca y Captura de carbono por hectárea considerando el sitio La Gamuza.....	21
3.- Relación entre densidad con producción de materia seca y Captura de carbono por hectárea sin considerar el sitio La Gamuza.....	22
4.- Relación edad de la plantación con kilogramos de materia Seca por hectárea.....	25
5.- Relación edad de la plantación con kilogramos de carbono por hectárea.....	27

INTRODUCCION.

La proliferación de las plantas arbustivas en los ecosistemas de pastizales ha sido consecuencia de la intensificación del uso del suelo, específicamente el apacentamiento del ganado, supresión del fuego, erradicación de herbívoros y prácticas antropogénicas. Este fenómeno cambió la estructura del ecosistema y consecuentemente la funcionalidad del mismo. Durante los pasados 300 años las arbustivas han invadido e incrementado en densidad y cobertura sitios previamente dominados por gramíneas. Los arbustos invasores han sido *Prosopis grandulosa*, *Larrea tridentata*, *Florencia cernua* y *Opuntia* spp. entre otros.

Opuntia rastrera ha sido una especie clave de manejo en el norte de México. Sin embargo tal aprovechamiento ha traído como resultado la degradación de estos ecosistemas en algunos casos o el incremento de su densidad en otros. Esta característica de conversión de pastizales a matorrales da la oportunidad para examinar como los cambios en la estructura del ecosistema y función afectan los bienes y servicios de estos ecosistemas. Dentro de estos últimos el secuestro de carbono reviste importancia ecológica a diversas escalas. Los matorrales tienen el potencial para alterar el almacenamiento de carbono en estos ecosistemas a través de: modificación de la magnitud de distribución de carbono en la fitomasa aérea y suelo, alterando la heterogeneidad de nutrientes, influenciando la cantidad y calidad de carbono provocado por la modificación de la composición de las especies.

Con base en lo anterior se plantea la hipótesis que *Opuntia rastrera* puede contribuir al secuestro de carbono en su fitomasa aérea en sitios donde predomina esta especie y en agro ecosistemas con propósitos especiales. Para lograr esta hipótesis se estableció un experimento donde el objetivo fue evaluar el potencial de secuestro de carbono de los pastizales con *Opuntia rastrera* y de los agro ecosistemas.

REVISION DE LITERATURA

Importancia del nopal.

Muchos pastizales se han visto infestados por nopal como consecuencia de un manejo inadecuado que lo ha llevado a la degradación (González, 1990; Bement, 1968; Huston, 1963; Montemayor *et al.*, 1991).

Sin embargo el nopal ha sido considerado como una especie forrajera principalmente para herbívoros domésticos (Houston, 1963; Shoop *et al.*, 1977; Flores y Aguirre, 1992; Russel y Felker, 1987; Howell, 1989; Muller *et al.*, 1994; Hanselka y Paschal, 1991; Hanselka y Paschal, 1990; Hanselka y Falconer, 1994), fauna silvestre (Everitt y Alanis, 1981; Everitt *et al.*, 1981; Janzen, 1986), alimentación humana (Hanselka y Paschal, 1989) y en la rehabilitación de pastizales degradados (Medina *et al.*, 1988; López, 2004).

A pesar de todo esto, el nopal puede ser considerado al igual que otras especies importantes en la captura o almacenaje de carbono.

Taxonomía del Nopal rastrero.

Britton y Rose (1963) y Bravo (1978), describen taxonomicamente al nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber) como se muestra a continuación.

REINO	Vegetal
SUB-REINO	Embryophyta
DIVISION	Angiosperma
CALSE	Dycotiledonea
SUB-CLASE	Dialipétalas
ORDEN	Opuntiales
FAMILIA	Cactaceae

SUB-FAMILIA	Opuntioideae
TRIBU	Opuntieae
GENERO	Opuntia
SUB-GENERO	Opuntia (platyopuntia)
SERIE	Phaeacanthae Britton et Rose
ESPECIE	<i>Opuntia rastrera</i> .

Opuntia rastrera es una planta suculenta rastrera con artículos circulares de diferentes tamaños alcanzando hasta los 20cm de diámetro unidas formando cadenas, areolas axilares con espinas de color blanco con la base oscura , pelos y gloquidas de color amarillo, su fruto es una baya de color púrpura ácida y de forma abovada, y sus flores de color amarillo (Bravo, 1978).

Distribución geográfica de *Opuntia rastrera*.

Marroquín *et al.*, (1964) sitúan a *Opuntia rastrera* en lo que consideran como zona difusa, (22° a 23° de latitud Norte y 98° a 104° longitud Oeste), establece una mayor presencia de nopal rastrero a partir de San Luís Potosí y Zacatecas hacia el norte Nuevo León hasta Coahuila.

Distribución de *Opuntia rastrera* en el estado de Coahuila.

Marroquín *et al.*, (1981) establece que el nopal en la zonas árida ocupa una superficie aproximada de 232 984 km² en donde se estima que sobre una superficie de 44 821 km² permite una utilización del nopal como forraje. A nivel Coahuila se considera que en nopal puede distribuirse aproximadamente en 4 133 723 has. (COTECOCA, 1979)

Agro ecosistemas de Nopal.

Rojas *et al.*, (1966) menciona que en agro ecosistemas para propósitos de forraje en plantaciones de nopal con densidades de 2500 plantas ha⁻¹ se obtienen rendimientos de 113, 132 y 165 ton. Ha⁻¹ de forraje verde al 5º, 6º y 7º año respectivamente. Con *Opuntia ficus-indica* se llega a producciones de 27.4 - 64.8 ton. ha⁻¹ con densidades de 5000 – 80 000 plantas ha⁻¹ (Barrientos, 1972).

Importancia ecológica.

Su presencia en zonas áridas y semiáridas ha sido considerada como un buen mecanismo mediante el cual una planta contribuye a disminuir la severidad de las condiciones del medio ambiente físico características de estas zonas, ayudando a la presencia de especies que no son capaces de establecerse por si mismas en espacios abiertos. Estas plantas disminuyen las condiciones desérticas extremas manteniendo bajas temperaturas durante el día, baja demanda evaporativa y mejores condiciones hídricas (Valiente – Banuet y Ezcurra, 1991) además de producir islas de fertilidad en el suelo.

Ciclo del carbono.

Es un ciclo biogeoquímico una sucesión de transformaciones que sufre el carbono a través del tiempo de gran importancia para la regulación del clima de la tierra.

Durante este espacio y tiempo las plantas verdes toman el bióxido de carbono y cierta cantidad de este carbono pasa a formar parte de los tejidos vegetales en forma de compuestos orgánicos: carbohidratos, proteínas, lípidos y otros, la otra parte es liberada a la atmósfera o al agua por medio de la respiración. Las redes alimentarias dependen del carbono, no solamente en lo que se refiere a su estructura sino también a su energía. Así, el carbono pasa a los herbívoros que

consumen las plantas y de ese modo utilizan, reorganizan y degradan los compuestos de carbono. Una gran cantidad de éste es liberado en forma de CO_2 por la respiración, como producto secundario del metabolismo, pero parte se almacena en los tejidos animales y pasa a los carnívoros, que se alimentan de los herbívoros. En último lugar, todos los compuestos del carbono se degradan por descomposición, y el carbono es liberado en forma de CO_2 , que es utilizado de nuevo por las plantas (Encarta, 2005).

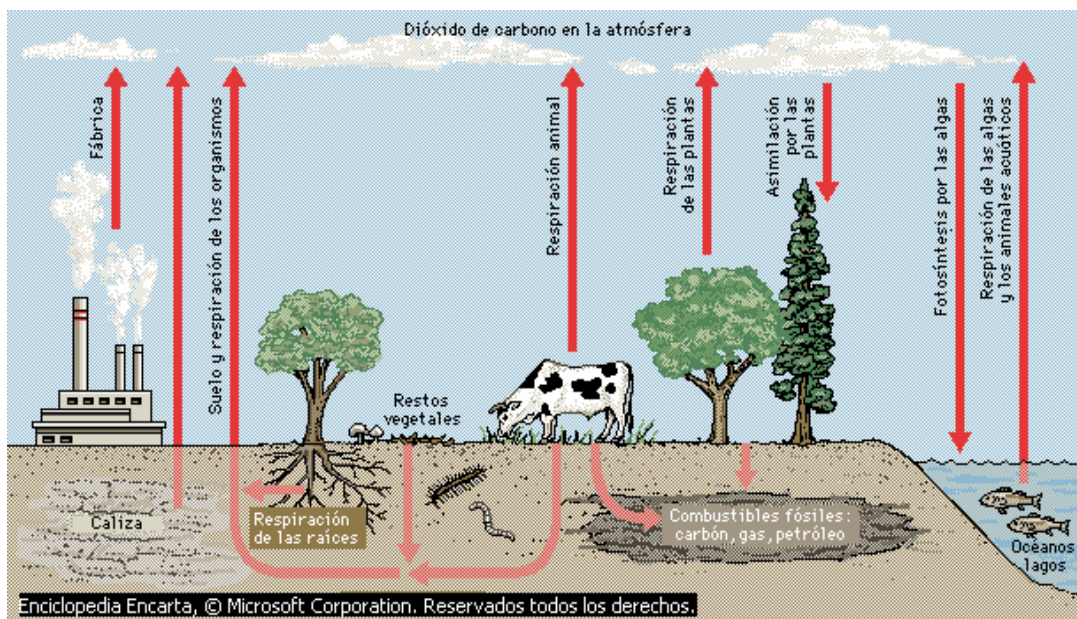


Figura 1. Ciclo del carbono

Distribución del carbono en la tierra

Los recursos totales de carbono, estimados en unas 49.000 gigatoneladas (1 gigatonelada es igual a 10^9 toneladas), se distribuyen en formas orgánicas e inorgánicas. El carbón fósil representa un 22% del total. Los océanos contienen un 71% del carbono del planeta, fundamentalmente en forma de iones carbonato y bicarbonato. Un 3% adicional se encuentra en la materia orgánica muerta y el fitoplancton. Los ecosistemas terrestres, en los que los bosques constituyen la principal reserva, contienen cerca de un 3% del carbono total. El 1% restante se

encuentra en la atmósfera, circulante, y es utilizado en la fotosíntesis (Encarta, 2005).

Protocolo de Kyoto.

Los gobiernos acordaron en 1997 el Protocolo de Kyoto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC) teniendo como objetivo conseguir reducir un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Este es el único mecanismo internacional en el cual se comienza a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los 6 gases de efecto invernadero de origen humano como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Este protocolo permite que los participantes deduzcan las emisiones en sus países de origen y/o beneficiarse de los llamados mecanismos flexibles (Comercio de Emisiones, el Desarrollo Limpio y la Aplicación Conjunta), así como contabilizar el carbono absorbido por los llamados sumideros como los bosques o las tierras de cultivo.

El comercio de emisiones, como su propio nombre lo indica trata de una compra-venta de emisiones de gases de efecto invernadero que ocurre entre países que tengan objetivos establecidos dentro del Protocolo de Kyoto. De esta manera, los que reduzcan sus emisiones más de lo comprometido podrán vender los certificados de emisiones excedentarios a los países que no hayan alcanzado a cumplir con su compromiso (<http://archivo.greenpeace.org/Clima/Prokioto.htm>).

En mayo de 2001, unas 150 empresas de 13 países diferentes, con unos ingresos conjuntos en el año 2000 de unos 400.000 millones de Euros se unieron para emitir su apoyo al protocolo como solución para combatir el cambio climático. Consideran el tratado de Kyoto como una nueva presentación de oportunidades para que las empresas cumplan su normatividad ecológica, y como medio para el beneficio de diversos sectores (<http://www.wwf.es/descarga/Protocolo%20Kioto.pdf>).

México en el Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto fue ratificado por unanimidad, en el pleno del Senado de la República, el 29 de abril del año 2000. El instrumento de ratificación fue depositado en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York el 7 de septiembre del mismo año.

Estimaciones preliminares de la antes SEMARNAP (2000) indican que se emiten al ambiente cerca de cuatro millones de toneladas de residuos peligrosos, doce millones de toneladas de contaminantes atmosféricos (sólo en cuencas urbanas) y cien mil toneladas de sustancias tóxicas y bioacumulables, entre las causas principales destacan las emisiones por cambio en el uso del suelo, emisiones de metano provenientes de desechos domésticos, procesos de combustión interna para el transporte, emisiones derivadas de procesos industriales, agricultura y ganadería, etc.

Para el periodo 1997–2000, el Programa de Desarrollo Forestal (PRODEFOR) apoyó la integración eficiente de cadenas productivas silvícolas en más de siete millones de hectáreas. Con la instrumentación completa del programa, la captura de carbono se estimó en 288 millones de toneladas, de las cuales 237 correspondieron a selvas y 27 a vegetación de zonas áridas. Adicionalmente, el Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales en México (PROCYMAF) integró más de 116 mil hectáreas a

esquemas de manejo forestal sustentable, y más de 13 mil hectáreas bajo el esquema de conservación

(http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/341/segunda.html?id_pub=341&id_tema=&dir=Consultas).

Captura de carbono en vegetación.

Todos los tipos de vegetación asimilan CO₂ atmosférico, a través de la fotosíntesis, los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques en todo el mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Por ello, la forestería contribuye a compensar las crecientes emisiones de CO₂. Se estima que una plantación puede absorber alrededor de 10 toneladas de Carbono atmosférico al año, los sistemas silvopastoriles pueden secuestrar en promedio 95 toneladas de carbono por hectárea en un periodo de 15 años además de proporcionar bienes y servicios que pueden parcialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales (Arévalo *et al.*, 2003)

Captura de carbono en el suelo.

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año) (Pg = 10¹⁵ g = Gt = 10⁹ toneladas métricas).

El carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima en cerca de 1 500 Pg. C a 1 m de profundidad (cerca de 2 456 a dos metros de profundidad). El carbono inorgánico representa cerca de

1 700 Pg pero es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos.

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO₂.

Si bien el contenido de carbono y la capacidad de fijar CO₂ por unidad de superficie en las tierras áridas son bajos, pueden de cualquier manera hacer una contribución importante a la captura global de carbono y al mismo tiempo prevenir o disminuir la tasa de desertificación

(<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>).

MATERIALES Y METODOS.

Descripción del área de estudios

El área de estudio se ubica en el sureste de Coahuila, entre las coordenadas 25° 25' de latitud Norte y las 101° 00' de longitud Oeste, la cual comprende los municipios de Arteaga, General Cepeda, Ramos Arizpe, Parras de la Fuente y Saltillo.

Ecosistemas naturales.

Selección de sitios.

Para la localización de las poblaciones de *Opuntia rastrera* se realizaron reconocimientos de la región de acuerdo al aprovechamiento que ganaderos y estableros hacen de esta especie. En la selección de los sitios se considero aquellos que presentaron mejores características de densidad de población de nopal forrajero.

Sitio uno: La Rinconada.

Micrófilo – Bajada media.

Matorral micrófilo crasicale 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, altitud 1579 m. s .n. m., pendiente de 0-10%, exposición Norte, fitocenosis formada por

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

Suelo de 0-15 cm. 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 grosos, de 5 a 8 mm. no presentan piedra o grava,

Sitio dos: El Barril.

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, pendiente de 0%, exposición indefinida, superficie muestreada 400 m², fitocenosis formada por dos tipos de matorrales: crasicaule espinoso y micrófilo.

Suelo de 1 – 15 cm. presenta raíces delgadas de 2 a 5 mm. no presenta grava ni piedras; de 15 – 30 cm. Raíces en mayor numero, de aproximadamente 6 mm.

Sitio tres: La Gamuza.

Micrófilo abierto – Bajada media.

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

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, altitud 910 m. s. n. m., pendiente de 1 a 2 %, la superficie muestreada fue de 400 m², la fitocenosis caracterizada por matorral crasicaule, por una nopalera densa de *Opuntia rastrera* y *Opuntia pheacantha* con alta cobertura, y otras especies

asociadas de *Opuntia leptocaulis*, *Larrea tridentata*, *Prosopis grandulosa*, entre otras.

El suelo es 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.

Sitio cuatro: Las Liebres.

Crasicaule abierto – Bajada baja.

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

El predio las liebres esta ubicado, 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 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, altitud 1130 m. s. n. m., con una pendiente de 0 – 2% la superficie muestreada de 400m², la fitocenosis esta formada por un matorral crasicaule dominando *Opuntia rastrera*, *Opuntia mycrodasis*, *Opuntia imbricata*, *Larrea tridentata*, *Jatropha dioica*.

El suelo de 0 – 15 cm. con poca materia orgánica, presenta raíces de 5 mm., en abundancia, no presenta piedras ni grava, suelos muy erosionados por factores eólicos e hídricos.

Sitio cinco: Narigua

Crasicaule micrófilo – Bajada Baja.

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

La ubicación es en el municipio de General Cepeda, carretera Saltillo-Torreón Km. 50, entronque a General Cepeda km. 12, corta al ejido Narigua a 35 km. altitud de 1360 m. s. n. m., pendiente del 2% la superficie muestreada fue de 400m², suelo de 0 – 15 cm. con poca materia orgánica, presencia de raíces pequeñas en abundancia, de 5 mm.

Sitio seis: Cosme.

Micrófilo –Llano.

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

Ubicado 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, altitud de 947 m. s. n. m., pendiente de 2%, superficie muestreada de 400m². Suelo de 0-15 cm. convoca materia orgánica, presenta raíces pequeñas en abundancia, de 5mm. no presenta piedras ni grava, erosión eólica e hídrica severa.

Sitio siete: San Martín de las Vacas.

Crasicaule micrófilo – Llano.

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.

Su ubicación es en el municipio de General Cepeda, carretera 45, saltillo-Monclova, en el Km. 18. Entronque San Martín de las Vacas, sobre la brecha de 17 Km. con orientación poniente, altitud de 1775 m. s. n. m., pendiente de 2%, superficie muestreada de 400m², el suelo de 0-15 cm. con poca materia orgánica,

presenta raíces pequeñas en abundancia de 5 mm. no presenta piedras ni grava, erosión eólica e hídrica severa.

Agro ecosistemas.

Selección del sitio.

Se realizó el trabajo de investigación en el Campo Experimental Forestal de Zonas Áridas La Saucedá, del municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Este campo se localiza a 100km de la ciudad de Saltillo, Coahuila, 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'' de 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 m.s.n.m.

La selección del material vegetativo

En este trabajo se consideró 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 las plantas 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 De La Cruz y Zapien, (1974), Torres (1990) y Rodríguez *et al.*, (1997) se seleccionaron las acciones más apropiadas, para obtener un mayor éxito en el establecimiento de nopales para lo cual se escogieron diferentes factores experimentales:

Plantación con surcado Lister. Se plantaron una o 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 exposición Este-Oeste y otra con una 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.

Producción de fitomasa.

La producción de fitomasa en pie 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.

Variables a evaluar.

Ecosistemas Naturales. Para tal propósito se seleccionaron parcelas de 20 x 20 m (400m²) donde se estimó la densidad y producción de fitomasa aérea en materia seca.

La estimación de la densidad se realizó contando el número total de individuos en la parcela. La producción de fitomasa aérea en cada sitio se estimó considerando: 1) El número total de cladodios por individuo y 2) El peso promedio del cladodio. Para el peso por cladodio se cortaron y pesaron 100 pencas en base a su peso seco. Para calcular la producción por hectárea se multiplicó el número total de cladodios por el peso promedio de cladodios por la densidad de nopales por hectárea.

La cantidad de carbono se calculó multiplicando la producción de materia seca por hectárea por 0.40 (Vogl *et al.*, 2004)

Se realizó un análisis de regresión lineal donde se relacionara:

- Densidad con producción de materia seca y captura de carbono por hectárea.
- Relación edad de la plantación con producción de materia seca y kg. de carbono por hectárea.

RESULTADOS

Ecosistemas naturales de *Opuntia rastrera*.

Las comunidades de *Opuntia rastrera* muestran rangos de densidad poblacional de 1475 a 3200 individuos por hectárea. A nivel individuo se observa que poblaciones con menores densidades tienden a tener menor número de cladodios (pencas) por planta de nopal; esto es individuos en bajas densidades tienen 38.4 pencas por planta y en densidades altas 60.8 pencas por planta. Sin embargo se observa que la comunidad de “La Gamuza” con una densidad alta (3125 ind. ha⁻¹) muestra 39.2 pencas por planta, esto es debido a que esta población está siendo utilizada (Cuadro 1), lo que se refleja en la figura 2 al incluir dicho sitio obtenemos un coeficiente de determinación bajo por la dispersión del sitio respecto a la línea recta ajustada.

Esto trae como resultado que poblaciones con menor densidad produzcan 4531.2 Kg. de MS ha⁻¹; mientras que a altas densidades (> 3000) producen aproximadamente 15267.8 Kg. de MS ha⁻¹ el cual es un 250% más que a menores densidades. Esta densidad puede ser debido al disturbio provocado en las poblaciones de nopal al ser utilizados y provocar una mayor dispersión de pencas las cuales al encontrar condiciones adecuadas logran establecerse incrementando en consecuencia la densidad poblacional de nopal. Sin embargo se desconoce el tiempo en el cual alcanzan esta densidad y producción de materia seca.

La gran mayoría de los sitios analizados muestran de dos a tres veces más producción de materia seca que los reportados por Vogl *et al.*, (2004) en *Opuntia engelmannii*, para comunidades dentro del desierto Chihuahuense, los cuales fueron de 5094 kg ha⁻¹ y en el presente trabajo se obtuvo un rango de 4531.2 a 15267.8 kg ha⁻¹ con una media de 10404.3 kg ha⁻¹.

La respuesta de producción de materia verde y seca está relacionada con la densidad de nopal y número de penca (Cuadro 2), resultando de ello un

coeficiente de determinación de 0.869 al eliminar el sitio que presentó disturbio (Figura 3). Esto conlleva a que en los ecosistemas naturales de nopal rastrero llegaran a almacenar o capturar rangos de 1812.48 – 6107.12 kg. C ha⁻¹. Sin embargo aun y cuando no se tiene evaluado el tiempo de recuperación después del disturbio provocado por la cosecha del nopal para forraje, se puede inferir que esta puede corresponder a un periodo de 15 ó 20 años.

Cuadro 1. Atributos individuales y poblacionales de *Opuntia rastrera* en ecosistemas naturales del Norte de México.

Ecosistema	Densidad Ind. ha ⁻¹	Pencas / Plantas.	Numero de pencas totales.	Peso seco/ penca Kg.	Producción Kg. ha ⁻¹
La Rinconada	1475	38.4	56640	0.080	4531.2
El Barril	2550	45.3	115515	0.090	10396.4
La Gamuza	3125	39.2	122500	0.078	9555.0
Cosme	2125	54.3	115387.5	0.085	9807.9
Las Liebres	3000	60.8	182400	0.082	14956.8
Narigua	3200	56.8	181760	0.084	15267.8
San Martín de las Vacas	2450	42.7	104615	0.080	8369.2

Cuadro 2. Producción de materia seca y captura de carbono en ecosistemas naturales de *Opuntia rastrera* en el Norte de México.

Sitio	Densidad de Opuntia Ind. ha ⁻¹	Producción de Materia V Kg. ha ⁻¹	Producción de Materia seca Kg. ha ⁻¹	Kg. C ha ⁻¹
La Rinconada	1475	22856.0	4531.2	1812.48
El Barril	2550	51981.7	10396.2	4158.48
La Gamuza	3125	47775.0	9555.0	2622.00
Cosme	2125	49039.4	9807.8	3923.12
Las Liebres	3000	74784.0	14956.8	5982.72
Narigua	3200	76070.4	15267.8	6107.12
San Martín de las vacas	2450	41846.0	8369.2	3347.68

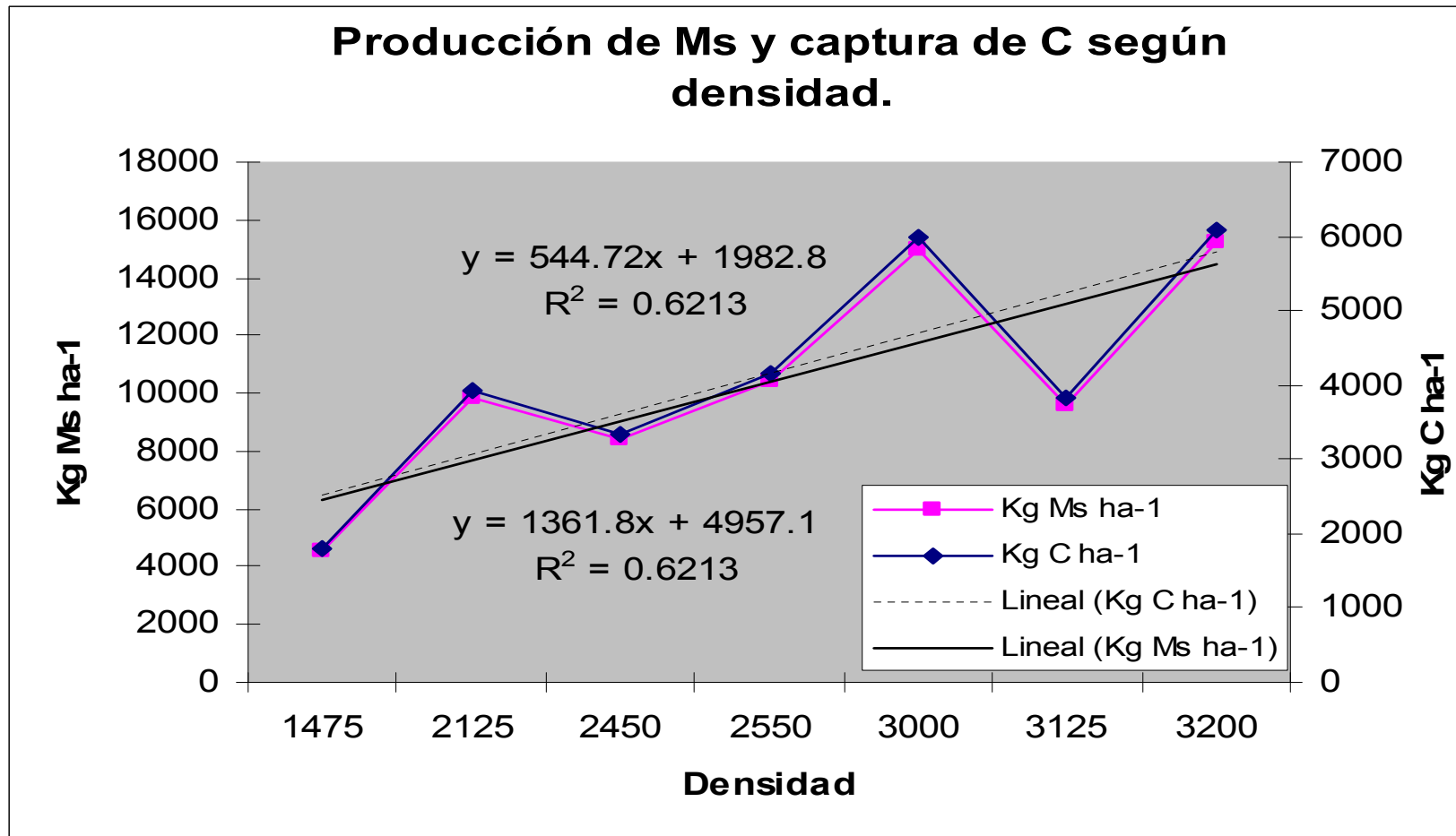


Figura 2 Relación entre densidad con producción de materia seca y captura de carbono por hectárea, considerando el sitio La Gamuza.

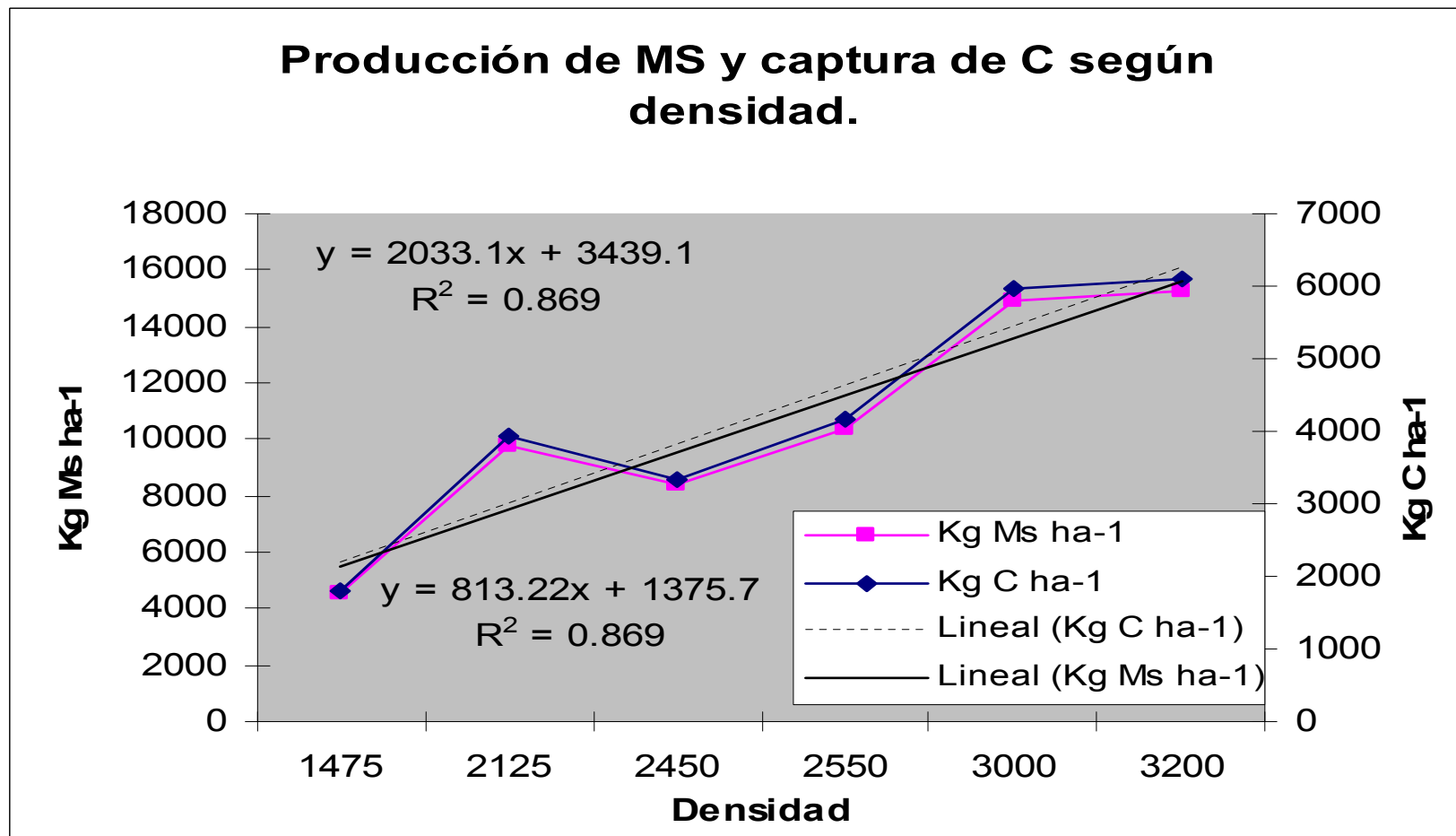


Figura 3. Relación entre densidad con producción de materia seca y captura de carbono por hectárea, sin considerar el sitio La Gamuza.

Agro ecosistemas de *Opuntia rastrera*.

La producción de materia seca en plantaciones de nopal varia de acuerdo a la estrategia de plantación, éxito de establecimiento y condiciones climatológicas o ambientales. La producción de MS varia de 1234.3 a 7860.7 kg. MS ha⁻¹ para el tratamiento 1 y 4 respectivamente (Cuadro 3). En el tratamiento 1 se observa que existe una acumulación de fitomasa de 805.7 kg. de MS ha⁻¹ en un periodo de cinco años, mientras que el tratamiento 4 acumulo 5678.2 kg. de MS ha⁻¹ en el mismo periodo, el cual es siete veces mas productivo que la respuesta al tratamiento 1. Torres (1990) estableció que la producción de *Opuntia rastrera* en microcuencas es de 327.85 kg. MS ha⁻¹ al año cuando se siembra una penca, al sembrar dos pencas la producción haciende hasta 609.06 kg. MS ha⁻¹ al año, como podemos observar su sistema de plantación corresponde al planteado en el presente trabajo para los tratamientos 1 y 2 obteniendo estos últimos, índices mayores de producción; así mismo obtuvo que cuando se establece 1 y 2 pencas tiradas sobre el suelo barbechado se obtienen índices de 36.6 y 123.3 kg. de MS ha⁻¹ al año respectivamente, caso que nosotros no pudimos observar por el daño causado por las liebres y no lograrse establecer el cultivo, por tal razón en el presente trabajo solo se evaluaron los primeros seis tratamientos. La tendencia mínima y máxima de producción en relación al tiempo de establecimiento se observa en la Figura 4.

Una respuesta similar se observo para la captura de carbono en las plantaciones de nopal. En el tratamiento1, en un periodo de 5 años se capturaron 493.72 kg. C ha⁻¹ mientras que el tratamiento 4 capturo 3144.28 kg. C ha⁻¹ el cual es aproximadamente siete veces mas que el tratamiento 1 (Cuadro 4 y 5, Figura 5).

Cuadro 3. Producción de materia seca en agro ecosistemas (plantaciones) de *Opuntia rastrera* en el Norte de México (1997-2002).

Tratamiento	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	—————		Kg. ha ⁻¹	—————		
1	428.6	565.7	600.0	668.5	1234.3	1234.3
2	1156.6	1305.9	1679.1	1977.6	3880.6	3880.6
3	1590.9	1590.9	1915.0	2180.1	4330.9	4713.9
4	2182.5	2620.3	3144.3	3624.6	7424.0	7860.7
5	763.6	963.5	1036.3	1254.4	2180.0	2181.6
6	1255.5	1833	1900.3	2239.6	3381.4	3732.7

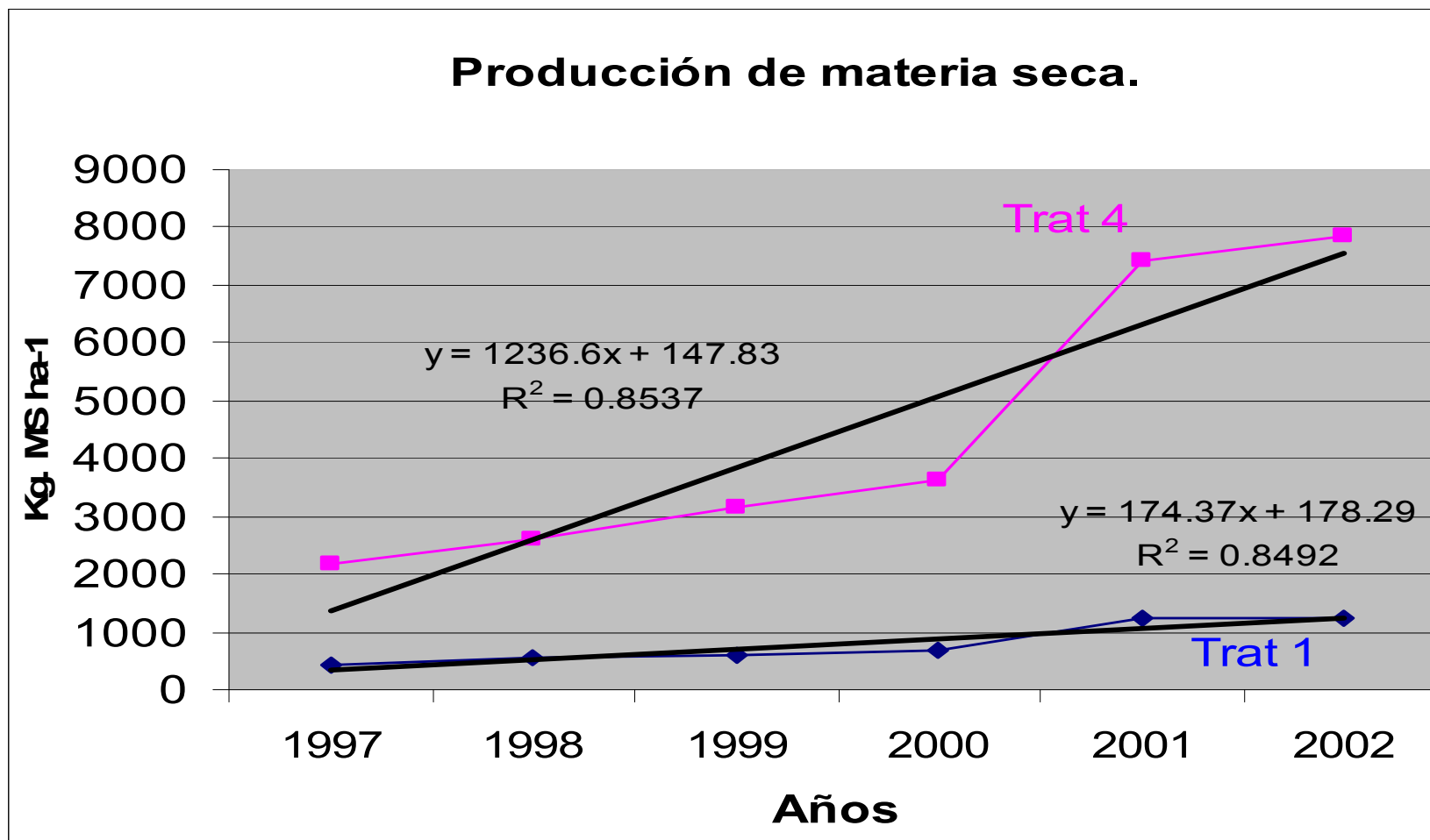


Figura 4. Relación edad de la plantación con kilogramos de materia seca por hectárea.

Cuadro 4. Captura de Carbono en agro ecosistemas (plantaciones) de *Opuntia rastrera* en el Norte de México (1997-2002)*

Tratamiento	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1	171.44	226.28	240.00	267.40	493.72	493.72
2	462.64	522.36	671.64	791.04	1552.24	1552.24
3	636.36	636.36	766.00	872.04	1732.36	1885.56
4	873.00	1048.12	1257.72	1449.84	2969.60	3144.28
5	305.44	385.40	414.52	501.76	872.00	872.64
6	502.20	733.20	760.12	895.84	1352.56	1493.08

* Los valores de la tabla 2 fueron multiplicados por 0.40

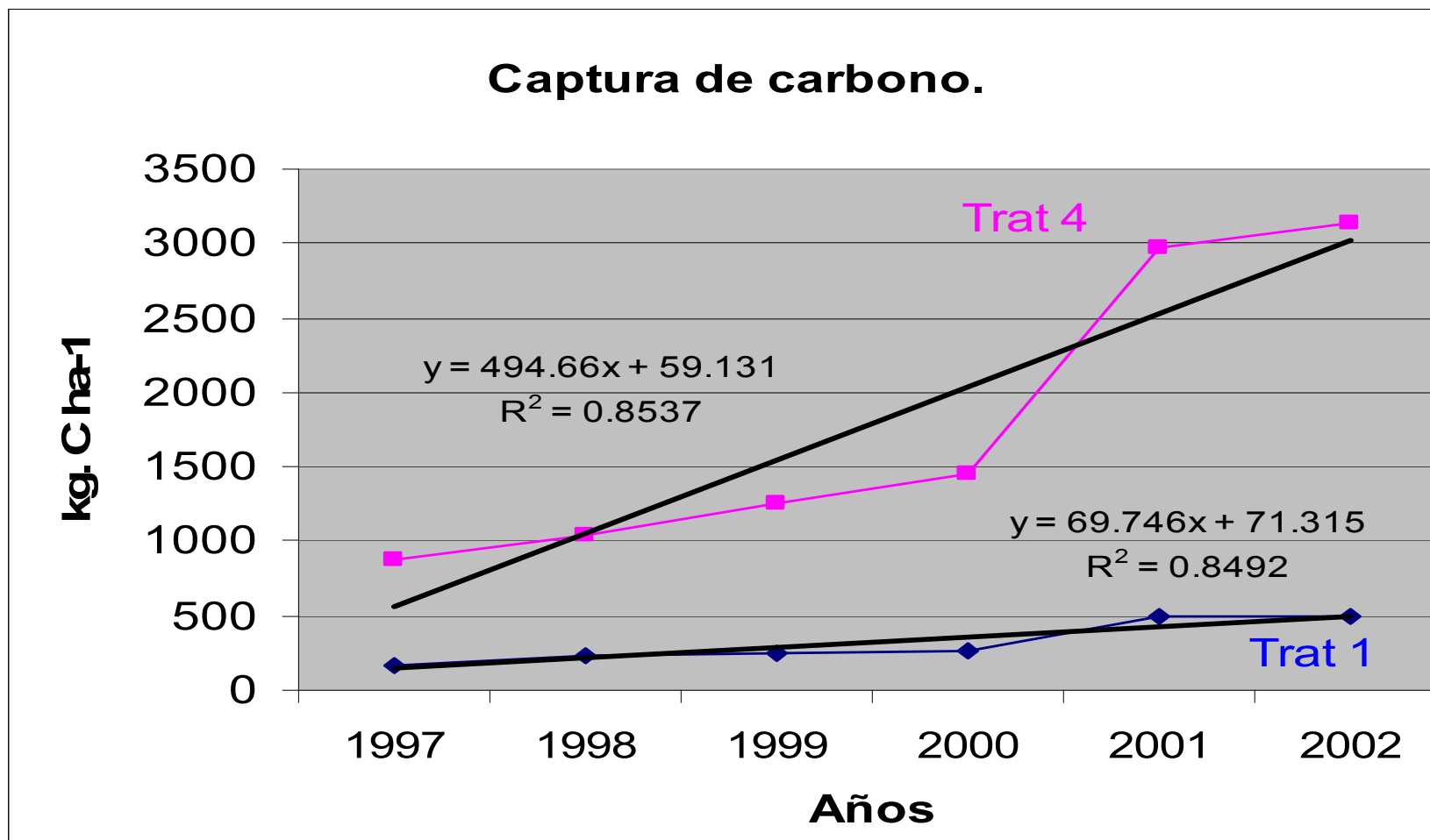


Figura 5. Relación edad de la plantación con kilogramos de carbono por hectárea.

Cuadro 5. Producción de materia seca y captura de carbono en agro ecosistemas (plantaciones) de *Opuntia rastrera* en el Norte de México(1997-2002)

Tratamiento	Kg. MS. ha-1		Kg. C. ha-1	
	1997	2002	1997	2002
1	428.6	1234.3	171.4	493.72
2	1156.6	3880.6	426.6	1552.20
3	1590.9	4713.9	636.3	1885.50
4	2182.5	7860.7	873.0	3144.20
5	763.6	2181.6	305.4	872.60
6	1255.5	3732.7	502.2	1493.00

Comparación de ecosistemas.

Los ecosistemas naturales muestran mayor producción de fitomasa aérea y captura de carbono que los agro ecosistemas (Cuadro 6). Sin embargo se tiene que comparar el tiempo tasa de captura y costo de manejo para la captura y conservación del C en ecosistemas de nopal rastrero.

En promedio se observa que los ecosistemas naturales producen y capturan C dos veces mas que los agro ecosistemas.

Cuadro 6. Producción promedio de materia seca y captura de carbono en ecosistemas naturales y agro ecosistemas (plantaciones) de *Opuntia rastrera* en el Norte de México.

Ecosistema	Producción M. S. Kg. ha-1	Kg. C. ha-1
Natural	10404.3	4161.7
Artificial*	3371.9	1348.7

* Plantaciones de 5 años.

CONCLUSIONES.

Con los resultados obtenidos podemos concluir que:

- A nivel individuo se observa que poblaciones con menores densidades tienden a tener menor número de cladodios (pencas) por planta de nopal y viceversa, correspondiente a la densidad esta la producción de materia seca y captura de carbono.
- Se observo una mayor producción de materia seca y captura de carbono en el agro ecosistema correspondiente al tratamiento 4.
- De acuerdo a densidad existe mayor producción de materia seca y secuestro de carbono en los ecosistemas que en los agro ecosistemas, sin embargo no se considera la edad de los ecosistemas.
- Efectivamente *Opuntia rastrera* Weber contribuye al secuestro de carbono significativamente en zonas áridas.

BIBLIOGRAFÍA.

- Arévalo, L. A., J. C. Alegre, y C. Palm. 2003. Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. 24 p.
- Barrientos, P. F. 1972. Rendimiento del nopal (*Opuntia Picus- indica* var. Copena) F1 diversas densidades. Chapingo, México. ENA. Colegio de Postgraduados. SARH. Subdirección de ganadería.
- Bement, R. E. 1968. Plants prickly pear: relation to grazing intensity and blue grama yield on control great plains. J. Range Management. 21:83-86.
- Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation.
- Bravo, H. E. 1978. Las cactaceas de México. Universidad Autónoma de México, Vol. 1. México, D. F. 328-329pp.
- Britton, N. L. y J. N. Rose. 1963. The Cactaceae. Dover publ., Inc, New York. U. S. A. 8-149 pp.
- COTECOCA. 1997. Comisión Técnica Consultiva para la determinación regional de los Coeficientes de Agostadero. Coahuila. 255p.
- De La Cruz C., J. A., M. Zapien B. 1974. El Campo Experimental Forestal de Zonas Áridas de "La Sauceda" Ramos Arizpe, Coahuila. Línea de investigación y resultados. Bol. Div. No. 36. I. N. I. F. –S. A. G. México.
- Everitt, J. A., C. L. Gonzalez, M. A. Alanis and G. V. Látigo. 1981. Food habits of the collared pecary on south Texas rangelands. J. Range Management. 34: 141-144.

- Everitt, J. H. and C. L. González. 1981. Seasonal nutrient content in food plants of whitw-tailed deer on the south Texas plains. *J. Range Manegement*. 34: 506-510
- Everitt, J. H., and M. A. Alaniz. 1981. Nutrient content of cactus and woody plant fruit eaten by birds and mammals in south Texas *Southwestern naturalis*. 26:301-305.
- Flores, V. C. A. and J. R. Aguirre. 1992. *El Nopal como forrage*. 1ª ed. Imprenta universitaria UACH. Texcoco Mex. 91 p.
- Gonzalez, C. L. 1990. Brush infectation following mechanical manipulation. *J. Arid Enviromental*. 18:109-117.
- Hanselka, C. W and J. C. Pascual. 1990. The prickly pear cactus: an important regeland resource. *Texas Agricultural Extensión Source*. Progress Report. Texas Agricultural deep experimental station Beef Cattle research in Texas.
- Hanselka, C. W. and Falconer L. L: 1994. Prickly pear management in south Texas. *Rangeland* 16: 102-106.
- Hanselka, C. W. and J. C. Paschal. 1989. Developing prickly pear as a forage, fruit and vegetable resource. *Proceedings of conference*, Texas A&I University, Kingsville, Texas.
- Hanselka, C. W. and J. C. Paschal. 1991. Prickly pear cactus: a Texa rangeland enigma rangelands. 13: 109-111.

- Howell, J. 1989. Some thoughts on using prickly pear as an emergency livestock feed. In: C. W. Hanselka and J. C. Paschal (eds). Developing prickly pear as a forage. Fruit and vegetable resource Texas Agricultural Experimental Station Publication. 15-19.
- Huston, W. R. 1963. Plains prickly pear weather and grazing in the northern great plains. Ecology 44: 569-574.
- Janzen, D. H. 1986. Chihuahuan Desert nopaleras defaunated big mammals vegetation. Annual Review of Ecology and Systematics 17:595-636.
- Lopez, G. J. J. 2004. Evaluación agroecológica y nutricional del Nopal forrajero (*Opuntia spp.*) en Coahuila, México. Tesis de doctorado. U. A. A. N. Buena vista, Saltillo, Coahuila, México. 179 p.
- Marroquín, S. G. Boruja L. R., Velazquez C. y J. A. de la Cruz. C. 1964. Estudio dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. Pub. Especial 2. INIF. México. 116 p.
- Marroquin, S. J., Borja G. L., Velásquez R. C., y De la Cruz C. J. A. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. Publicación especial No.22^a Edición INIFA SARH. 166 p.
- Medina, J. G., E. Acuña and J. A. De la Cruz. 1988. *Opuntia* revegetation: an agroecological reforestation alternative for deteriorated rangeland in Coahuila, México. In: E. E. Whitehead, C. F. Hutchinson, B. N. Timmermann and R. G Varody. (eds.). Aridlands: today and tomorrow westriew press. Boulder 127-136.

- Montemayor, E., Fullbright T. E., Brothers L. W., Chat B. J. and Casels P. 1991. Long-term effects of rangeland disking on white-tailed browse in south Texas. TRM. 44:246-248.
- Muller, D. M., Shoop M. C. and Lycock W. A. 1994. Mechanical harventhing of plants prickly pear for control and feeding. J. Range Management. 47:311-314.
- Rodríguez, C. V. M., M. J. Ayala O. 1997. Establecimiento de plantas forrajeras en matorral parvofólio inerme. XXXIII reunión nacional de investigación pecuaria Veracruz. Veracruz, Veracruz, México.
- Rojas, M., T. Malo C., F. J. y Palomo G. O. 1966. El nopal forrajero en Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. Agronomía, ITESM.
- Russel C. E. and P. Felker. 1987. The prickly pears (*Opuntia spp* Cactecea) a source of human and animal food in semiarid regions. Economic Botanic 41:433-445.
- Shoop, M. C., E. J. Alford and H. F. Maylaud. 1977. Plains prickly pear is a good forage for cattle. J. Range Management. 30: 12-17.
- Torres, A. E. 1990. Evaluación de dos sistemas de plantación en nopal forrajero (*Opuntia rastrera* Weber) y (*Opuntia lindheimeri* var. *Lindheimeri* Engelman). Tesis de licenciatura, U. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 70 p.
- Valiente-Banuet, A., Ezcurra, E. 1991. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse-plant *Mimosa luisiaba* in the Tehuacan Valley, México. Journal of Ecology. 79:961-971.

Vogl, L. A., Archer S., McMurtry C. 2004. Pricklypear (*Opuntia engelmannii*) carbon pool in a desert grassland. In: Research insights in semiarid ecosystem (RISE). University Arizona, Tucson. Noviembre 2004.

CITAS EN INTERNET.

- <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0g.htm#BM16>
Fecha de consulta 20/10/2006.
- <http://www.cactuspro.com/photos.php?action=afficher&id=1638>
Fecha de consulta 19/10/2006.
- <http://www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/10CAtm1/350CaCli.htm>
Fecha de consulta 19/10/2006.
- <http://archivo.greenpeace.org/Clima/Prokioto.htm>
Fecha de consulta 15/09/2006.
- <http://www.wwf.es/descarga/Protocolo%20Kioto.pdf>
Fecha de consulta 19/07/2006.
- http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/341/segunda.html?id_publicacion=341&id_tema=&dir=Consultas
Fecha de consulta 14/11/2006.
- <http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>
Fecha de consulta 19/11/2006.