



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



**ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN POBLACIONES DE
GOBERNADORA (*Larrea tridentata*, Moc & Sesee Ex Dc Coville 1893)
MEDIANTE MODELOS ALOMÉTRICOS.**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

NORA LIZEET ESPINO FAVELA

DIRECTOR DE TESIS

DR. JESÚS GUADALUPE ARREOLA ÁVILA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES


Bermejillo, Durango, México, Junio 2016



El presente trabajo de tesis titulado **Estimación de la captura de carbono en poblaciones de gobernadora (*Larrea tridentata*, Moc & Seseé ex DC Coville 1893) mediante modelos alométricos**, fue realizado por la C. Nora Lizeet Espino Favela, bajo la dirección del Dr. Jesús Guadalupe Arreola Avila, la codirección del Dr. Ricardo Trejo Calzada y la asesoría del Dr. Aurelio Pedroza Sandoval, ha sido revisado y aprobado por el Comité Asesor como requisito parcial para obtener el grado de:

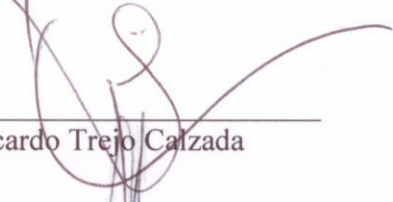
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Director



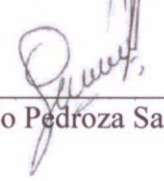
Dr. Jesús Guadalupe Arreola Avila

Codirector



Dr. Ricardo Trejo Calzada

Asesor



Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

Bermejillo, Durango, México, Junio de 2016.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma Chapingo - Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas por todo el apoyo otorgado durante mis estudios de maestría en el periodo 2014 - 2015.

A mi Comité Asesor, por su apoyo en la elaboración del presente trabajo, además de su colaboración en mi formación académica a lo largo de la maestría.

A mis Padres Juanita y José, por el amor, confianza y apoyo brindado a lo largo de mi vida.

A mi esposo Ricardo, por levantarme cada vez que las cosas se ponían difíciles, por el amor y comprensión que me ha dado.

A mi bebé, que es el pequeño motor que me impulsa a hacer las cosas tangibles.

A mis hermanos Elizabeth, Jesús, Yadira y Selene, por su cariño y apoyo en todos mis proyectos de vida.

A mis amigos por el apoyo brindado, que aunque son pocos son los suficientes.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nora Lizeet Espino Favela, Bióloga, egresada de la carrera de Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, generación 2003-2008. En el año 2009, realizó trabajo diversos en la SEMARNAT región laguna, como parte de sus prácticas profesionales, posteriormente en el periodo del 2010 - 2013 perteneció a la empresa ATLAS Consultores Ambientales, en la cual desempeño el cargo de Gestor Ambiental y Seguridad e Higiene, en donde realizó diversos estudios como: Estudio Técnico Justificativo para en Cambio de Uso de Suelo, Manifiestos de Impacto Ambiental, Informe Preventivo de Impacto Ambiental, Simulacro de Auditoría Ambiental, Licencia de Funcionamiento; Alta como Generador, Traslado y Acopio de Residuos Peligrosos y Manejo Especial; toma de muestras de agua potable y residual.

Durante los años 2014 - 2015, realizó sus estudios de posgrado en el programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas en la URUZA – UACH, con el tema de tesis Estimación de la captura de carbono en poblaciones de gobernadora (*Larrea tridentata*, Moc & Seseé ex DC Coville 1893) mediante modelos alométricos.

Estimación de la captura de carbono en poblaciones de Gobernadora (*Larrea tridentata*, Moc & Seseé ex DC Coville 1893) mediante modelos alométricos.

Estimating carbon sequestration in populations of Creosote bush (*Larrea tridentata*, DC Moc & Seseé ex Coville 1893) by allometric models

Espino-Favela Nora Lizeet¹, Arreola-Ávila Jesús Guadalupe²

Resumen

El incremento de la temperatura del planeta causado por los gases efecto invernadero repercute en el cambio climático. Para contrarrestar el efecto que esta variable tiene, es necesario disminuir la concentración de CO₂ atmosférico. La cobertura vegetal desarrollada en las zonas áridas, tiene un efecto potencial importante en su captura y disminución. El presente estudio se realizó en un área de la Sierra el Sarnoso, localizada al noreste del municipio de Lerdo y al oeste del municipio de Gómez palacio, Durango. Se determinó el contenido de carbono en la especie *Larrea tridentata*. Bajo tres densidades de cobertura vegetal. En los sitios de cada una de las coberturas se midió frecuencia, dominancia, cobertura, altura, diámetro menor, diámetro mayor, peso seco de raíz, tallo, hoja y peso seco total de 112 individuos de *Larrea tridentata*. Los datos obtenidos fueron empleados para generar ecuaciones mediante regresión lineal simple y múltiple. Las variables altura, diámetro menor, diámetro mayor y cobertura vegetal tuvieron una correlación altamente significativa con el contenido de carbono. Con base en los resultados obtenidos se desarrollaron ecuaciones alométricas para estimar el contenido de carbón en la planta. El modelo que mejor se ajustó fue: $Y = A (0.33134) - Dm (0.44665) + Cob (0.51955)$. Con una r^2 de 0.9169.

Palabras clave: Efecto invernadero, captura de CO₂, *Larrea tridentata*.

Abstract

The increase in planet temperature caused by greenhouse gases has an impact on climate change. To counteract the effect of this variable, it is necessary to decrease the concentration of atmospheric CO₂. The vegetation cover developed in arid areas has significant potential effect on CO₂ capture and decline. This study was conducted in an area of the Sierra Sarnoso, located northeast of the municipality of Lerdo and west of the municipality of Gómez Palacio, Durango. The carbon content in the species *Larrea tridentata* was determined under three vegetation cover densities. At the sites of each of the covers, frequency, dominance, coverage, height, smaller diameter, larger diameter, root, stem and leaf dry weight and total dry weight of 112 individuals of *Larrea tridentata* were measured. The obtained data were used to generate equations using simple and multiple linear regression. The variables height, smaller diameter, larger diameter and vegetation cover had a highly significant correlation with the carbon content. Based on the results obtained, allometric equations were developed to estimate the carbon content in the plant. The model that best fit was: $Y = A (0.33134) - Dm (0.44665) + Cob (0.51955)$ with r^2 0.9169.

Keywords: Greenhouse effect, CO₂ capture, *Larrea tridentata*.

1 Tesista
2 Directo

ÍNDICE

Título	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO	2
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Ubicación del área de estudio	10
3.2. Muestreo y toma de datos en campo.....	11
3.3. Tamaño de la muestra	11
3.4. Análisis estadísticos	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1. Caracterización de la vegetación.....	15
4.2. Caracterización de las poblaciones de <i>Larrea tridentata</i>	19
4.3. Secuestro de carbono	24
4.4. Análisis de Coeficiente de Correlación de Pearson	25
4.5. Ecuaciones Alométricas	26
V. CONCLUSIONES	27
VI. LITERATURA CITADA	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Muestra la abundancia, frecuencia, dominancia así como el valor de importancia en el sitio de densidad de cobertura vegetal cerrada.	16
Cuadro 2. Muestra el porcentaje de importancia de las especies en el sitio de cobertura semiabierto así como la abundancia frecuencia y densidad.	17
Cuadro 3. Especies vegetales y muestra la abundancia, frecuencia, dominancia por metro cuadrado y el valor de importancia de las especies identificadas en los sitios con densidad de cobertura abierta.	18
Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de los parámetros evaluados en las tres densidades para las plantas de Gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).	20
Cuadro 5. Captura de carbono en las diferentes densidades de cobertura vegetal.	24
Cuadro 6. Coeficiente de Correlación de Pearson de los contenidos de carbono y las características morfológicas de la planta de gobernadora.	25
Cuadro 7. Análisis de varianza de contenido de carbono en los tejidos en las tres densidades de cobertura vegetal.	26
Cuadro 8. Modelos de predicción en captura de carbono.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área del proyecto.	10
Figura 2. Medias de contenido de carbono (kg) en los tejidos de hoja, raíz y tallo de <i>Larrea tridentata</i> en diferentes densidades de plantación.	21
Figura 3. Diámetro mayor y menor de la copa en tres densidades de población de <i>Larrea tridentata</i> . Las barras verticales indican el coeficiente de variación (n=112)	22
Figura 4. Altura de la planta en tres densidades de población de <i>Larrea tridentata</i>	23
Figura 5. Cobertura vegetal en tres densidades de población de <i>Larrea tridentata</i>	24

I. INTRODUCCIÓN

En la República Mexicana las zonas áridas ocupan aproximadamente el 40% de la superficie, puesto que cubren la mayor parte del territorio nacional, estas zonas se localizan en los estados de Baja California, Sonora, abarcan casi la totalidad del estado de Coahuila, Durango, Chihuahua y Nuevo León, una parte de Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, la región noreste de Guanajuato, Aguascalientes y gran parte de Querétaro, así como los estados de Hidalgo, Puebla y una pequeña porción de Oaxaca (Maldonado, 2012).

Actualmente se han descrito el comportamiento del contenido de carbono en innumerables estudios. Los diversos análisis de captura de carbono estiman el gran potencial que tiene México (Maser *et al.*, 2001) por sus diversos escenarios. Sin embargo, cabe destacar que pocos han sido los trabajos que se han desarrollado en la zona del árido y semiárido, dejando de lado la importancia del rol que desempeña la vegetación del matorral, aun cuando más del 30% del territorio nacional corresponde a este tipo de vegetación (Becerril *et al.*, 2006). Dentro de las especies más abundantes del desierto chihuahuense, se encuentra la gobernadora (*Larrea tridentata*), la cual se destaca por ser una de las especies más abundante.

En estas zonas, se localiza la gobernadora (*Larrea tridentata*), la cual es descrita como un arbusto muy ramificado de 0.6 a 3.0 m de alto. Hojas pequeñas, color verde a verde-amarillo, resinosas y de olor penetrante. Flores de tamaño reducido, color amarillo fuerte (CONABIO, 2008). Esta especie tiene una excelente adaptabilidad. Planta muy vigorosa, adaptada para sobrevivir en el desierto. Tiene capacidad para un intercambio positivo de CO₂, puede mantener un balance neto positivo de CO₂ a lo largo del año, aún a

temperaturas extremas (> 43 °C) y estrés de agua (< -83 bares). Posee gran habilidad para mantener actividad fotosintética neta, aún a potenciales de presión de agua muy bajos. Su adaptación a tales ambientes (áridos y calientes) es debida a su alto nivel de tolerancia protoplásmica a la desecación y a las altas temperaturas (CONABIO, 2008).

Por otra parte la biomasa y el índice de área foliar son dos parámetros estructurales fundamentales, en la descripción del estado de la cubierta vegetal en relación con los principales factores limitantes, especialmente la disponibilidad hídrica (Margaris y Mooney, 2012). La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown 1997; Eamus *et al.*, 2000) y está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Schlegel *et al.*, 2000). Además, la cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de carbono, un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (Malhi y Grace, 2000; Snowdon *et al.*, 2001).

1.1. OBJETIVO

- Determinar el contenido de carbono en la especie *Larrea tridentata*, bajo las tres densidades de cobertura vegetal.
- Construir una ecuación alométrica para la determinación de carbono en la especie *Larrea tridentata*.

1.2 Hipótesis

- El contenido de carbono de la especie *Larrea tridentata* es igual en las diferentes densidades de cobertura vegetal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La preocupación sobre las consecuencias del cambio climático global, generado por un eventual aumento de la temperatura del planeta y su relación con el incremento en los niveles de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, en particular de CO₂, ha motivado múltiples estudios en las últimas décadas. Donde los científicos han establecido que desde 1885 la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado en un 25%, producto de la combustión de fósiles para la generación de energía y la deforestación a escala mundial (Yerena-Yamallel *et al.*, 2011).

Las plantas absorben el CO₂ atmosférico y por difusión a través de pequeñísimos poros de las hojas llamado estomas, y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Cierta cantidad de CO₂ regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis (Jaramillo, 2004). La captura de Carbono (C) Consiste en el almacenamiento de carbono en suelos y bosques y otros tipos de vegetación (Nájera, 1999).

El carbono del planeta se almacena en cinco grandes compartimentos; las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal (García Oliva *et al.*, 2006).

El carbono de los sistemas terrestres usualmente se fracciona en cuatro principales componentes: Biomasa aérea, sistemas radiculares, mantillo y COS (Locatelli y Leonard 2001; Snowdon *et al.*, 2001).

Los datos de la biomasa de los árboles son esenciales para evaluar el secuestro de carbono y su dinámica (Dixon *et al.*, 1994; Binkley *et al.*, 2004).

En el desierto chihuahuense, una de las especies con mayor influencia en términos de flujo de energía y ciclo de nutrientes, es *Larrea tridentata*, debido a su abundancia. (Moorhead *et al.*, 1986). Esta permanece metabólicamente activa durante todo el año, siempre y cuando las condiciones sean las adecuadas, esta es reducida con las sequías prolongadas y la limitación del contenido de Nitrógeno, y como consecuencia se ve afectada la producción de biomasa (Lajtha- Whitford, 1989).

En un estudio realizado en Chile, se determinó el contenido de carbono (C) en fuste, ramas, hojas y corteza para 16 especies del bosque nativo en Chile. Los contenidos promedio de C orgánico en las especies fluctuaron entre 34.9 y 48.3%, y el promedio simple alcanzó a $43.7 \pm 0.16\%$. Mientras, el C total mostró ser en promedio $5.5 \pm 0.76\%$ mayor que el contenido de C orgánico. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de C orgánico entre grupos de especies y entre componentes del árbol. El carbono del fuste ($44.4 \pm 0.16\%$), en general, para todas las especies resultó ligeramente mayor que en las ramas, hojas y corteza ($43.5 \pm 0.21\%$), siendo mayor la variabilidad en estos últimos. La especie con el mayor contenido de C orgánico en la biomasa del fuste resultó *Saxegothaea conspicua* (mañío hembra) con $47.8 \pm 0.38\%$. Por su parte, *Weinmannia trichosperma* (tineo) mostró el menor porcentaje, $42.6 \pm 0.54\%$. Mediante análisis de varianza y método de Bonferroni, el estudio no encontró diferencias significativas en el contenido de C, entre las especies caducifolias y las especies siempre verdes, ni entre el grupo de especies del tipo forestal Siempre verde y del tipo Roble-Raulí-Coigüe. Por el contrario, se encontraron diferencias en el contenido de C entre las coníferas nativas y las especies latifoliadas (Gayoso-Guerra, 2005).

Giraldo *et al.* en el 2008, evaluó la captura y el monitoreo de carbono como servicio ambiental en silvopastoreo de *Acacia decurrens* + *Pennisetum clandestinum* ubicado en los Andes de Colombia (2538 msnm) a dos densidades alta (1111 árboles/ha), baja (407 árboles/ha). Obteniendo como resultado, en los tratamientos de densidad de siembra, se pudo comprobar mayores existencias totales de C en la biomasa aérea, basa en el árbol con la siembras de baja densidad, que de alta densidad.

A diferencia del estudio anterior, en un estudio de contenido de carbono en un ecosistema semiárido del centro de México, los resultados mostraron que la biomasa aérea se incrementa al aumentar la densidad de la vegetación en el orden: cobertura abierta 4.87 Mg ha⁻¹, semiabierta 20.53 Mg ha⁻¹ y cerrada 42.40 Mg ha⁻¹(Becerril *et al.*, 2014).

Diversos métodos se han desarrollado para determinar la biomasa aérea y el contenido de carbono en la vegetación, a partir de muestreos destructivos o bien mediante la aplicación de ecuaciones alométricas (Ketterings *et al.*, 2001) así como la aplicación de teledetección (Lu, 2005) para generar estimaciones de biomasa aérea en diversos ecosistemas.

La producción de biomasa incrementa con el gradiente geomórfico (partes más áridas: menor producción, partes más húmedas: mayor producción), este incremento en la biomasa se explica por varias fuentes de variación, dentro de las cuales destacan las siguientes: la humedad disponible es mayor en derramadero intermitente durante la estación de lluvias y tiempo después de la estación lluviosa; a medida que el paisaje cambia hacia sitios alejados de los arroyos, la cantidad de agua disponible para la evapotranspiración disminuye (Espinoza-Bretado y Návar, 2005). En estos sitios sólo existe la precipitación anual (Návar y Bryan, 1990; Návar, 1993).

El procedimiento más común es el método de estimación por medio de análisis de regresión. La implementación de esta herramienta estadística requiere el muestreo destructivo de algunos organismos para relacionar alguna variable alométrica con la biomasa (Díaz- Franco *et al.*, 2007).

Con la elaboración de ecuaciones a partir de los datos que se tenían de los muestreos destructivos, los muestreos de vegetación, se puede determinar la biomasa de un sitio de estudio sin tener que realizar muestreos destructivos (Becerril *et al.*, 2006).

Los modelos para ecosistemas semiáridos son limitados y poco estudiados (Návar *et al.*, 2004). Varios autores (Grünzweig *et al.*, 2003; Lal, 2003; Noretto *et al.*, 2006) consideran las regiones áridas y semiáridas como sumideros potenciales de carbono, ya que ocupan más del 45 % de la superficie del planeta.

En el estudio de contenido de carbono en un ecosistema semiárido en Dolores Hidalgo, Guanajuato, México, La cobertura vegetal del área de estudio se reclasificó en tres tipos: abierta, semi-abierta y cerrada. El contenido de carbono en la cobertura abierta fue de 2.4 Mg C ha⁻¹, semi-abierta 10.26 Mg C ha⁻¹ y cerrada de 21.20 Mg C ha⁻¹. Por lo que los ecosistemas semiáridos de la zona central de México representan un potencial considerable como sumideros de carbono con un promedio de 11 Mg C ha⁻¹ (Becerril *et al.*, 2014).

Aunque el almacén y captura de C en los matorrales han sido poco estudiados, Segura-Castruita *et al.* (2005) reportan un almacén promedio de 24 ton C/ha en matorrales xerófilos de México. Por su parte, Navar-Chaidez (2008) reporta un almacén de 77 ton C ha⁻¹ en suelo del matorral tamaulipeco del noreste de México, con alta presencia de

arbustos como *Acacia berlandieri*, *Prosopis glandulosa*, *Diospyros texana*, *Pithecellobium pallens*, *Cordia boissieri* y otros, con una tasa anual de acumulación de 0.51 ton C ha⁻¹. Un estudio elaborado por Beier *et al.*, en el 2009, muestra que los matorrales de Europa tienen un almacén desde 11.6 hasta 185.5 ton C ha⁻¹ y pueden ser desde sumideros (1.26 ton C ha⁻¹ año⁻¹) hasta fuentes de carbono (-5.36 ton C ha⁻¹ año⁻¹).

En el estado de Chihuahua se realizó un estudio donde se determinó el contenido de carbono en tres tipos de matorral, obteniendo como resultado que para el Matorral Inerme fue de 4.20 ton C ha⁻¹, para el Matorral Mediano de 7.08 C ha⁻¹ y para el Matorral *Crasiosulifolio* de 2.65 C ha⁻¹ (Guerra *et al.*, 2013).

La gobernadora (*Larrea tridentata*) también llamada hediondilla o creosote bush perteneciente a la familia Zygophyllaceae es una de las plantas más abundantes en las zonas semiáridas de los Desiertos Chihuahuense y Sonorense del norte de México; zonas áridas de California y el Suroeste de Estados Unidos (Rundel *et al.*, 1994), se estima que el 25% (500,000 Km²) de la República Mexicana está cubierta con este arbusto (Belmares *et al.*, 1979). La abundancia de esta planta leñosa del semidesierto es tal que en ciertas localidades se ha encontrado una densidad de población de 1700 arbustos o más por hectárea (Downum *et al.*, 1988). Esta característica combinada con su hábito perenne de crecimiento hace de *Larrea* uno de los recursos vegetales más importantes y predecibles en muchos ambientes de las zonas áridas (Arteaga *et al.*, 2005).

Esta especie del semidesierto se distribuye abundantemente en el norte de México y suroeste de Estados Unidos. Brinker (1994), señala que desde el oeste de Texas hasta California ocupa cerca de 35 millones de acres. Por otro lado, Belmares *et al.* (1979),

menciona que en las zonas desérticas de nuestro país la gobernadora crece en aproximadamente 500,000 km².

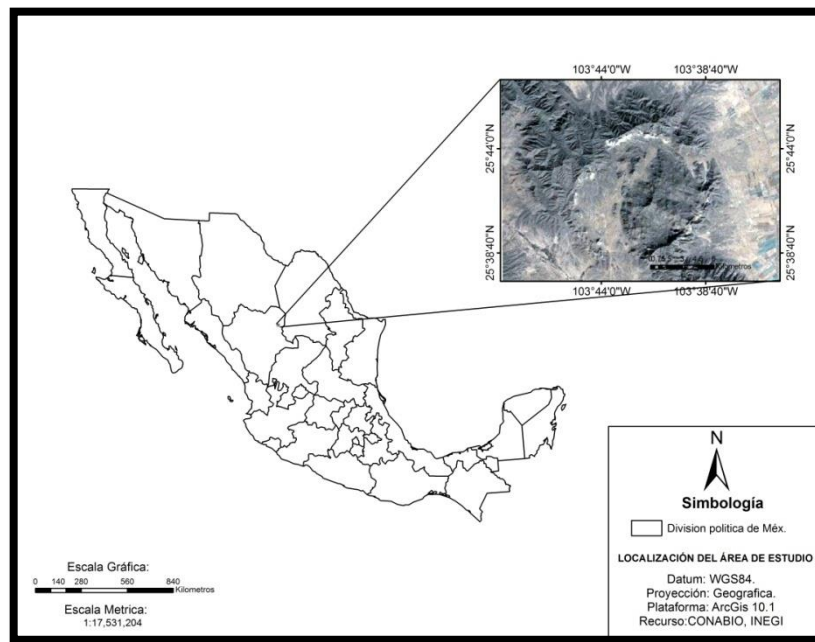
Larrea crece y se adapta en los sitios más secos de México, en terrenos planos, laderas, lomeríos bajos (originados de materiales geológicos del cretácico superior e inferior y en planicies aluviales. Se desarrolla en lugares con temperaturas de 14 a 28 °C y presencia de 8 meses de sequía, en climas áridos (BS) y muy áridos (BW) y en precipitaciones de 150 a 500 mm anuales.

Los suelos en los que se desarrolla son de profundidad variable, textura franco arenosa, estructura granular, drenaje interno medio de consistencia friable, de color café grisáceo, compacto arcilloso, calcáreo, blanco arenoso, aluvial con pH de 6.8 a 7.6.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en una sección de la Sierra el Sarnoso (Figura 1). La sierra abarca un área de 61.594 km², y se localiza a lado noreste del municipio de Lerdo, Durango, colindando al lado oeste con la localidad denominada como Dinamita, perteneciente al municipio de Gómez palacio, Durango (INEGI, 2012).



El clima es de tipo BWh según la clasificación del sistema Köppen-Geiger. La temperatura media anual es de 18-20 °C y la precipitación media anual es de 125-400 mm al año (CONABIO, 2008).

3.2. Muestreo y toma de datos en campo

Se realizó un muestreo tipo aleatorio estratificado y sub-muestreo simple al azar (Mostacedo-Fredericksen, 2000; Martella *et al.*, 2012) en el periodo de junio-julio del 2015. En primera instancia, se hicieron recorridos en campo para ubicar los sitios de muestreo. Se identificaron visualmente nueve sitios, los cuales fueron de tres diferentes densidades de cobertura vegetal: tres son de tipo abierta, tres de semi-abierta y tres de cerrada. Para cada tipo de cobertura se implementaron transectos de 100 m² (2 X 50 m) (Becerril *et al.*, 2014).

3.3. Tamaño de la muestra

El tamaño mínimo de muestra, se determinó mediante el uso de las siguientes formulas:

$$n = \frac{Z^2 * (p) * (1-p)}{d^2}$$

Donde:

n: tamaño mínimo de muestra

z: nivel de confianza: mide la confiabilidad de los resultados. El cual es al 95% (1.96).

p: probabilidad de ocurrencia: probabilidad de que ocurra el evento. Lo usual es utilizar una probabilidad de ocurrencia del 50%.

d: error absoluto esperado, expresado en decimal

$$n \text{ corregida} = \frac{n}{1 + \frac{n-1}{Tp}}$$

Donde:

n: tamaño mínimo de muestra

Tp: tamaño poblacional conocido

(Hernández, 2006).

El tamaño de muestra se determinó en cada uno de los nueve sitios, esto debido a que cada transecto presentaba diferente número de individuos de *Larrea tridentata* (tabla 1).

Tabla 1. Tamaño de la muestra por sitios

Sitio	Densidad	N
Sitio1	Cerrada	16
Sitio2	Semi-abierta	13
Sitio3	Abierta	8
Sitio4	Semi-abierta	14
Sitio5	Abierta	9
Sitio6	Cerrada	15
Sitio7	Cerrada	16
Sitio8	Semi-abierta	13
Sitio9	Abierta	8

Una vez determinado el tamaño de la muestra para los sitios se procedió a etiquetar todos los individuos de gobernadora, mediante la numeración consecutiva en cada sitio, esto para poder seleccionar los individuos de la muestra de manera aleatoria, aplicando muestreo aleatorio simple mediante números aleatorios con una calculadora, para que todos tuvieran la misma probabilidad de ser escogidos.

En el caso del tallo y la raíz se colocaron etiquetas colgantes de cartón, con los datos del número de sitio, numeración del individuo y peso fresco.

Después de obtener los datos que se describen anteriormente, se procedió a la extracción de los individuos seleccionados. Para cada una de las plantas, se removieron las hojas y se guardaron en bolsas de papel canela de 18x40 cm, a cada una de las bolsas se etiquetó con el número de sitio, numeración del individuo y peso fresco. Esto con la finalidad de tener un mejor control y no tener pérdidas del material.

A los individuos seleccionados para la muestra, se les tomaron las medidas morfométricas: altura y diámetro de la copa (diámetro mayor y diámetro menor), dichos datos, se anotaron en la libreta de campo, para posteriormente obtener la cobertura vegetal, en especies que tiene la forma de la copa elíptica, como es el caso de la gobernadora, se utiliza la siguiente fórmula:

Cobertura vegetal= $(\pi * \text{Diámetro mayor} * \text{Diámetro menor}) / 4$, (Ramírez G. A., 2006).

Otra variable que se tomó, es el índice de área foliar (LAI) mediante el uso del LICOR 2000. Se tomó una lectura blanco y cuatro lecturas en los cuatro puntos cardinales, con una apertura de 90° lectura para obtener un promedio de área foliar.

Las muestras de plantas correspondientes a las tres densidades de planta se transportaron al invernadero ubicado al interior de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo-URUZA Campus Bermejillo ahí se mantuvieron hasta obtener peso constante (peso seco) y así obtener el contenido de carbono orgánico. El valor de biomasa en kilogramos y son multiplicadas por 0.5 para obtener carbono. La razón por la que se multiplica por 0.5 para obtener carbono se debe a que la literatura indica que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono, una vez se ha removido el agua (IPCC, 1996; MacDicken, 1997; Slijepcevic, 2001).

El valor de carbono fue dividido dentro de la superficie de la parcela de muestreo (en m^2) para obtener tC/m^2 . Al multiplicarlo por $10,000m^2/ha$ se obtienen tC/ha (Márquez, L. 2000).

3.4. Análisis estadísticos

Se realizaron los análisis estadísticos con el paquete estadístico SAS 9.3, donde se efectuó la prueba de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, debido a que los datos no cumplían con las características de la distribución normal, se realizó la transformación de las variables con logaritmo natural. Una vez obtenidos los datos transformados, para comparar los efectos de la captura de carbono en hoja, carbono en tallo, carbono en raíz y carbono total de las plantas en las diferentes densidades de cobertura vegetal, se llevó a cabo el análisis de varianza, así como las pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$), se establecieron correlaciones entre las variables estudiadas utilizando la prueba de Pearson. Para predecir el contenido de carbono capturado por la planta de gobernadora, se utilizó el modelo de Backward Stepwise Regression.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gobernadora (*Larrea tridentata*) especie ampliamente distribuida en el desierto de Chihuahua, juega un papel ecológico importante debido al secuestro de carbono. El secuestro de este gas de efecto invernadero, es posible predecir, como se muestra en este estudio, mediante una ecuación generada a partir de parámetros morfométricos de la planta como altura, diámetro mayor y diámetro menor de la copa.

4.1. Caracterización de la vegetación.

Las comunidades vegetales están constituidas por especies vegetales que crecen en un mismo lugar y muestran una asociación definida o una afinidad unas con otras. Estas comunidades presentan ciertas características como estructura, forma de vida, composición de especies, biomasa, así como procesos funcionales, que permiten en cierta forma su caracterización.

Basado en lo anterior, en el cuadro 1 se muestran las especies vegetales presentes en los sitios de estudio, caracterizados como de densidad vegetal cerrada, con mayor importancia. La especie *Larrea tridentata* es la que mostró mayor abundancia con 125 individuos observados, constituyendo una densidad de $1.25/m^2$, seguida de *Agave lechuguilla* con 41 individuos con una densidad de $0.41/m^2$, la especie de *Agave aspérrima* presentó 30 individuos con una densidad de $0.30/m^2$ y *Lippia graveolens* con 22 individuos y una densidad de $0.22/m^2$.

Así *Larrea tridentata* presentó un índice de importancia de 31.48%, mientras que en *Agave lechuguilla* se cuantificó un índice 11.45% de importancia.

Las especies menos abundantes con solo un individuo fueron: *Prosopis glandulosa* y *Tecoma stans*. Estas especies con menos representación en la población pueden ser más sensibles a las perturbaciones ambientales, que conduce posiblemente a la menor competitividad ejercida por las especies con alto valor de importancia.

Cuadro 1 Muestra la abundancia, frecuencia, dominancia así como el valor de importancia en el sitio de densidad de cobertura vegetal cerrada.

Especies	Ab	AbR%	Frec.	Frec. R.%	D(#/m ²)	D. Rel.	IVI
<i>Larrea tridentata</i>	125	42.2297	3	10	1.25	42.2297	31.4865
<i>Prosopis glandulosa</i>	1	0.3378	1	3.33	0.01	0.3378	1.3363
<i>Opuntia rastrera</i>	15	5.0676	3	10	0.15	5.0676	6.7117
<i>Agave Asperrima</i>	30	10.1351	2	6.67	0.3	10.1351	8.9790
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	10	3.3784	3	10	0.1	3.3784	5.5856
<i>Tecoma stans</i>	1	0.3378	1	3.33	0.01	0.3378	1.3363
<i>Lippia graveolens</i>	22	7.4324	2	6.67	0.22	7.4324	7.1772
<i>Acacia farneciana</i>	8	2.7027	2	6.67	0.08	2.7027	4.0240
<i>Jatropha dioica</i>	22	7.4324	3	10	0.22	7.4324	8.2883
<i>Fouquieria splendens</i>	8	2.7027	3	10	0.08	2.7027	5.1351
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	8	2.7027	3	10	0.08	2.7027	5.1351
<i>Agave lechuguilla</i>	41	13.8514	2	6.67	0.41	13.8514	11.4565
<i>Yucca filifera</i>	2	0.6757	1	3.33	0.02	0.6757	1.5616
<i>Senecio flaccidus</i>	3	1.0135	1	3.33	0.03	1.0135	1.7868

Ab= Abundancia, Ab. R.= Abundancia Relativa, Frec.= Frecuencia, Frec. R.= Frecuencia Relativa, D=Densidad, D. Rel.= Densidad relativa, IVI = Índice de valor de importancia.

Para los sitios de cobertura semiabierto las especies que presentaron el mayor índice de valor de importancia fueron: *Larrea tridentata* con 26% seguida por *Jatropha Dioica* con 15%, *Agave aspérrima* y *Acacia farneciana* con 7% de valor de importancia. En estos sitios los individuos de *Larrea tridentata* cuantificados fueron 88. Considerando una superficie de 0.03 ha, con una densidad de cobertura por metro cuadrado de 0.88 como se muestra en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Muestra el porcentaje de importancia de las especies en el sitio de cobertura semiabierto así como la abundancia frecuencia y densidad.

Especies	Ab	AbR%	Frec.	Frec. R. %	D(#/m ²)	D. Rel	IVI
<i>Larrea tridentata</i>	88	34.1085	3	10	0.88	34.1085	26.0724
<i>Prosopis glandulosa</i>	5	1.9380	1	3.3333	0.05	1.9380	2.4031
<i>Opuntia rastrera</i>	12	4.6512	3	10	0.12	4.6512	6.4341
<i>Agave aspérrima</i>	21	8.1395	2	6.6667	0.21	8.1395	7.6486
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	9	3.4884	2	6.6667	0.09	3.4884	4.5478
<i>Jatropha dioica</i>	47	18.2171	3	10	0.47	18.2171	15.4780
<i>Acacia farneciana</i>	15	5.8140	3	10	0.15	5.8140	7.2093
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	12	4.6512	2	6.6667	0.12	4.6512	5.3230
<i>Lippia graveolens</i>	4	1.5504	1	3.3333	0.04	1.5504	2.1447
<i>Senecio flaccidus</i>	10	3.8760	2	6.6667	0.1	3.8760	4.8062
<i>Tecoma stans</i>	3	1.1628	1	3.3333	0.03	1.1628	1.8863
<i>Yucca filifera</i>	6	2.3256	2	6.6667	0.06	2.3256	3.7726
<i>Fouquieria splendens</i>	7	2.7132	2	6.6667	0.07	2.7132	4.0310
<i>Agave lechuguilla</i>	19	7.3643	3	10	0.19	7.3643	8.2429

Ab= Abundancia, Ab. R.= Abundancia Relativa, Frec.= Frecuencia, Frec. R.= Frecuencia Relativa, D=Densidad, D. Rel.= Densidad relativa, IVI = índice de valor de importancia.

En el cuadro 3 se muestra la caracterización de la población para los sitios con densidad de cobertura vegetal abierta, la especie con mayor abundancia fue *Larrea tridentata* con una abundancia relativa de 24.20 % de ocupación de territorio en el sitio seguida por *Agave aspérrima* con 17.83%.

Las especies menos abundantes con solo un individuo en el sitio de estudio fueron: *Tecoma stans*, *Cylindropuntia imbricata*, *Jacaranda sp* y *Yucca filifera*. Estas especies con menor representación, pueden ser más sensibles a los cambios abióticos, que conllevan a una menor competitividad, en comparación a las especies más abundantes.

El índice de valor de importancia para las especies en estos sitios de cobertura abierta como *Larrea tridentata* fue de 19%, seguido por *Agave aspérrima* con 15% y *Acacia farneciana* con 13% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Especies vegetales y muestra la abundancia, frecuencia, dominancia por metro cuadrado y el valor de importancia de las especies identificadas en los sitios con densidad de cobertura abierta.

Especies	Ab	AbR%	Frec.	Frec. R.%	D(#/m ²)	D. Rel	IVI
<i>Larrea tridentata</i>	38	24.2038	3	10.7143	0.38	24.2038	19.7073
<i>Agave aspérrima</i>	28	17.8344	3	10.7143	0.28	17.8344	15.4610
<i>Acacia farneciana</i>	24	15.2866	3	10.7143	0.24	15.2866	13.7625
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1	0.6369	1	3.5714	0.01	0.6369	1.6151
<i>Jatropha dioica</i>	20	12.7389	3	10.7143	0.2	12.7389	12.0640
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	12	7.6433	2	7.1429	0.12	7.6433	7.4765
<i>Tecoma stans</i>	1	0.6369	1	3.5714	0.01	0.6369	1.6151
<i>Opuntia mycrodasis</i>	4	2.5478	2	7.1429	0.04	2.5478	4.0795
<i>Jacaranda Sp.</i>	1	0.6369	1	3.5714	0.01	0.6369	1.6151
<i>Lippia graveolens</i>	4	2.5478	2	7.1429	0.04	2.5478	4.0795
<i>Agave lechuguilla</i>	15	9.5541	1	3.5714	0.15	9.5541	7.5599
<i>Opuntia rastrera</i>	3	1.9108	2	7.1429	0.03	1.9108	3.6548
<i>Fouquieria splendens</i>	2	1.2739	1	3.5714	0.02	1.2739	2.0397
<i>Prosopis glandulosa</i>	3	1.9108	2	7.1429	0.03	1.9108	3.6548
<i>Yucca filifera</i>	1	0.6369	1	3.5714	0.01	0.6369	1.6151

Ab= Abundancia, Ab. R.= Abundancia Relativa, Frec.= Frecuencia, Frec. R.= Frecuencia Relativa, D=Densidad, D. Rel.= Densidad relativa, IVI = indice de valor de importancia.

Los resultados obtenidos por el índice de valor de importancia (IVI) en los diferentes sitios de cobertura vegetal (cerrado, semiabierto y abierto) indico que la especie con el más alto valor de importancia fue *Larrea tridentata*, con una importancia de 31% en el área con densidad de cobertura cerrada, mientras que en los sitios de densidad de cobertura semiabierto fue de 26%, mientras que en el área de densidad de cobertura abierta esta especie obtuvo un valor de importancia del 19%. Cabe mencionar que la gobernadora es abundante en las zonas desérticas de los estados mexicanos de San Luis Potosí, Coahuila, Chihuahua, Durango, Sonora, Zacatecas, Baja California Norte y Sur, y en el suroeste de los estados unidos en Arizona, California, Nevada, Texas y Nuevo Mexico (Rzedowsky y Huerta, 1994).

4.2. Caracterización de las poblaciones de *Larrea tridentata*

Se cuantifico un total de 112 plantas de gobernadora; correspondiendo 47 de estas a la densidad de cobertura vegetal cerrada, 40 a la semi-cerrada y 25 a la densidad abierta. En la densidad cerrada se observó una variación en altura de 0.44 a 1.58 m, mientras que la densidad semi-abierta fue de 0.51 a 1.52 m, y en la densidad abierta de 0.54 a 1.41 m. El diámetro mayor, estuvo en los intervalos de 0.65-1.73, 0.66-2.11 y 0.69-2.18 m para las densidades mencionadas. Para el diámetro menor, los intervalos van de 0.43-1.7, 0.4-1.75 y 0.46-1.35 m para las tres densidades. En cobertura vegetal, la densidad cerrada varió de 0.22 – 1.54 m², mientras que en la densidad semi-abierta 0.25-2.51 m² y en la densidad abierta fue de 0.25-1.71 m². En el cuadro 4 se describe los estadísticos correspondientes a los parámetros evaluados en el presente estudio.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de los parámetros evaluados en las tres densidades para las plantas de Gobernadora (*Larrea tridentata*).

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
D_Mayor (m)	DCVC	47	1.13	.25	.04	1.06	1.21	.65	1.73
	DCVS	40	1.06	.33	.05	.95	1.16	.53	2.11
	DCVA	25	1.11	.30	.06	.98	1.23	.67	2.18
D_Menor (m)	DCVC	47	.94	.25	.04	.86	1.01	.43	1.70
	DCVS	40	.91	.37	.06	.79	1.03	.40	1.89
	DCVA	25	.86	.23	.05	.76	.95	.46	1.35
Altura (m)	DCVC	47	.92	.31	.05	.83	1.01	.44	1.58
	DCVS	40	.87	.24	.04	.80	.95	.51	1.52
	DCVA	25	.84	.23	.05	.74	.94	.54	1.41
CV (m ²)	DCVC	47	.88	.42	.06	.75	.99	.22	2.31
	DCVS	40	.83	.57	.09	.65	1.01	.25	2.51
	DCVA	25	.77	.36	.07	.62	.92	.25	1.71
CHoja (Kg)	DCVC	47	.10	.04	.01	.09	.12	.04	.24
	DCVS	40	.12	.07	.01	.10	.15	.03	.37
	DCVA	25	.10	.05	.01	.08	.12	.03	.22
CRaíz (Kg)	DCVC	47	.08	.07	.01	.06	.10	.01	.32
	DCVS	40	.07	.06	.01	.05	.09	.01	.31
	DCVA	25	.05	.06	.01	.02	.08	.01	.22
CTallo (Kg)	DCVC	47	.16	.14	.02	.12	.20	.03	.61
	DCVS	40	.12	.09	.01	.09	.15	.02	.41
	DCVA	25	.12	.19	.04	.05	.19	.02	.97
CTotal (Kg)	DCVC	47	.34	.23	.03	.28	.41	.09	.96
	DCVS	40	.32	.20	.03	.25	.38	.06	.97
	DCVA	25	.27	.25	.05	.17	.38	.05	1.32

*Donde D_mayor= diámetro mayor, D_menor= diámetro menor, CV= cobertura vegetal por planta, DCVC=Densidad de cobertura vegetal cerrada, DCVS=Densidad de cobertura vegetal semi-abierta, DCVA=Densidad de cobertura vegetal abierta.

En la figura 2 se muestra el contenido de carbono en diferente tejido vegetal de *Larrea tridentata* desarrollada en tres densidades de plantación. Se observó una tendencia hacia mayor contenido de carbono en los tejidos de gobernadora correspondiente a población abierta. Mientras que la tendencia hacia mayor contenido de carbono (0.13 kg) se observó en tallo, independientemente de la densidad, seguido del contenido en hoja con un promedio de 0.11kg, mientras que en raíz se observó el menor valor, el cual equivale al 50% aproximadamente al valor observado en tallo.

La mayor cantidad de carbono observada en los individuos en la población abierta, pudo ser debida a una mejor condición de radiación y consecuente mayor eficiencia fotosintética. Esta mayor captura de carbono, se relaciona con lo observado por Giraldo *et al.* (2008) quienes observaron mayor captura de carbono en arboles de *Acacia decurrens* + *Pennisetum clandestinum* sembrados a baja densidad, bajo un sistema silvopastoril.

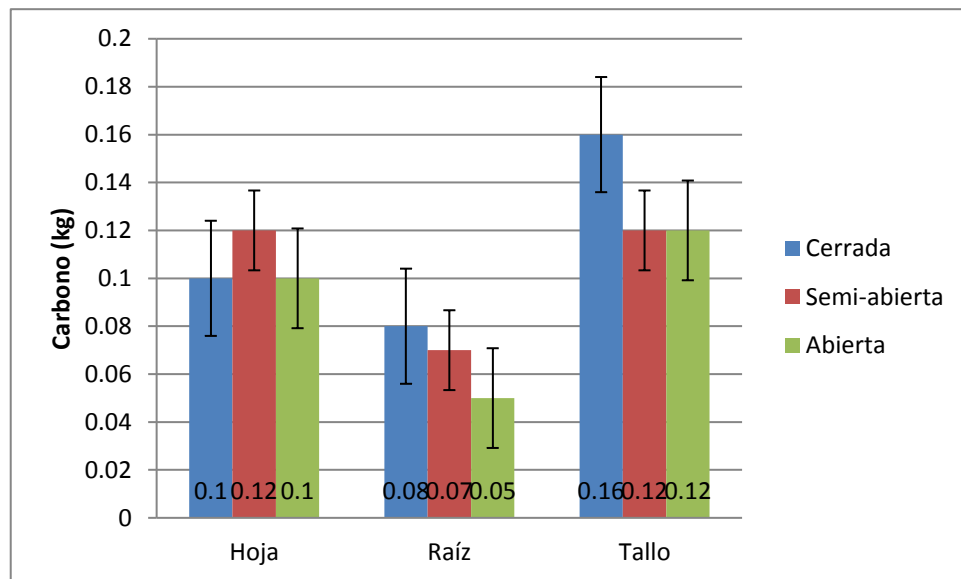


Figura 2. Contenido de carbono en los tejidos de hoja, raíz y tallo de *Larrea tridentata* en diferentes densidades de plantación. Las barras verticales representan el error estándar, cada barra representa la media de 112 observaciones.

El desarrollo horizontal de la copa fue similar en los desarrollados independientemente de la densidad y frecuencia de los mismos por unidad de superficie (Figura 3). Estos resultados nos indican que el área de goteo (periferia de la copa) de esta especie, no es favorecida por la mejor condición de luz, que pudo estar presente en las plantas creciendo en la menor densidad de plantación.

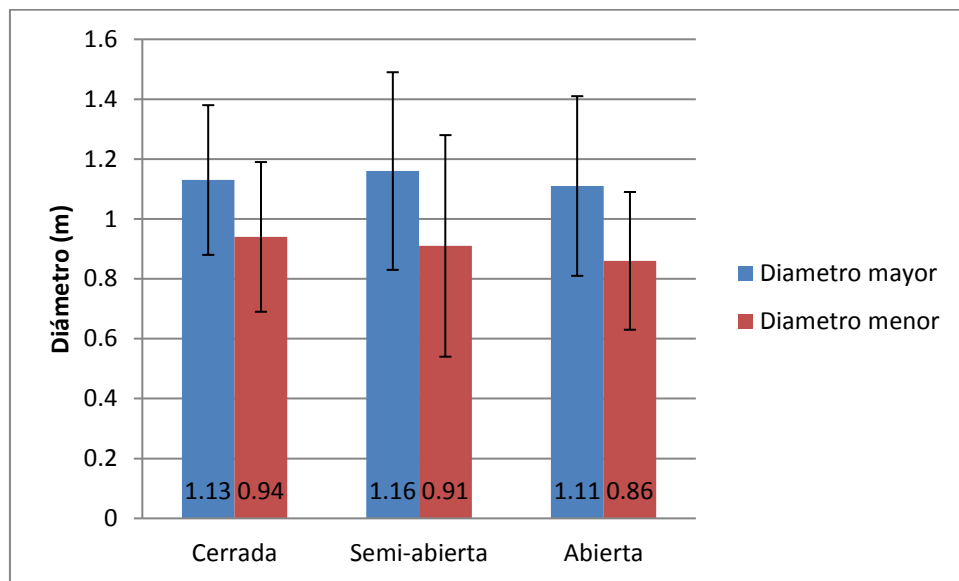


Figura 3. Diámetro mayor y menor de la copa en tres densidades de población de *Larrea tridentata*. Las barras verticales indican el error estándar, cada barra representa la media de 112 observaciones.

Se observó una tendencia hacia un incremento en altura de planta a medida que la densidad de población aumentó (Figura 4). Este incremento fue de 5 y 8 cm en promedio para *Larrea tridentata* en alta densidad, comparada con la altura de las plantas desarrolladas en las poblaciones semiabierta y abierta. La tendencia al incremento en altura conforme la densidad de plantación incrementa, puede obedecer a una mayor necesidad por luz conforme el espaciamiento entre plantas disminuye.

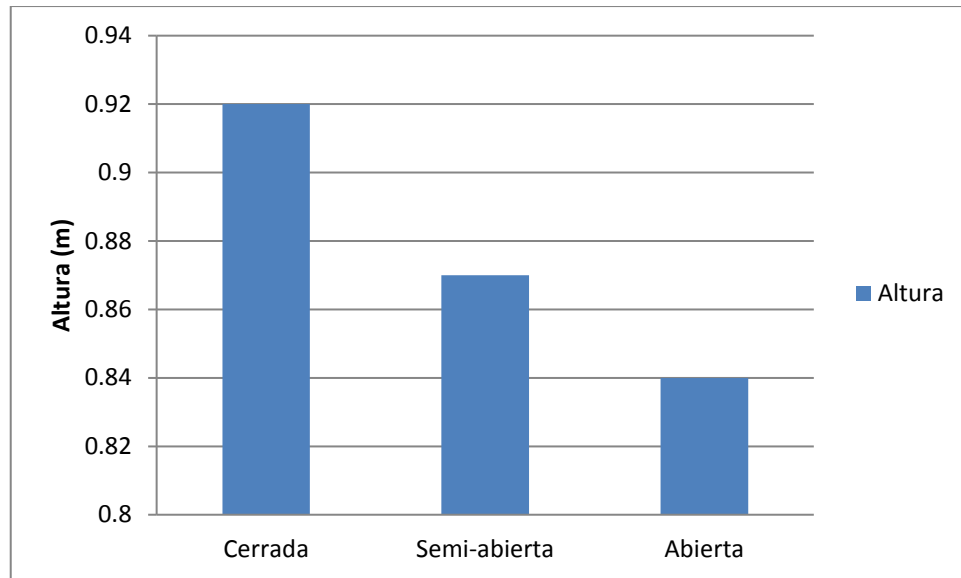


Figura 4. Altura de la planta en tres densidades de población de *Larrea tridentata*.

Se observó una tendencia hacia un incremento en la cobertura vegetal del área con densidad de cobertura abierta, semi-abierta y cerrada este incremento fue de 5 y 6 cm en promedio (Figura 5. Esto puede obedecer a que la cobertura vegetal fue determinada por la siguiente fórmula: Cobertura vegetal= $(\pi \cdot \text{Diámetro mayor} \cdot \text{Diámetro menor}) / 4$, (Ramírez G. A., 2006).

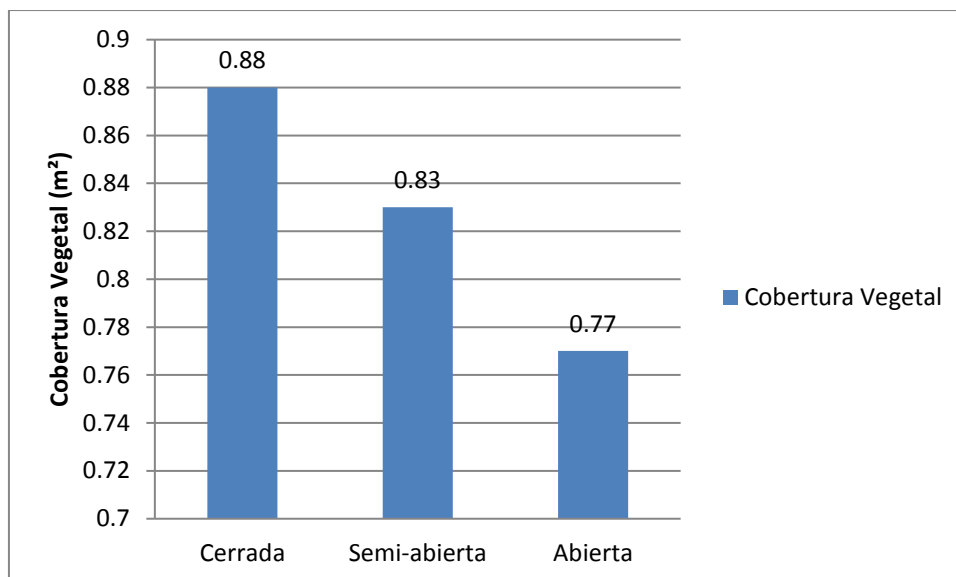


Figura 5. Cobertura vegetal en tres densidades de población de *Larrea tridentata*

4.3. Secuestro de carbono

Determinación de la captura de carbono en planta a diferentes densidades de cobertura vegetal (Cerrada, semi-abierta y abierta). Se encontró una tendencia hacia menor carbono secuestrado a medida que la densidad de cobertura disminuyó siendo la cobertura cerrada la que mostro mayor captura de carbono, seguida por el área semiabierta y por último la cobertura de menor capacidad de captura de carbono fue el área abierta con $\text{gm}^2 \text{tC/h}$.

Cuadro 5. Captura de carbono en las diferentes densidades de cobertura vegetal.

	C/Kg ^z	C/g m ^{-2y}	tC/h ^x
Área Cerrada	16.172	0.0539	0.539066667
Área Semiabierta	12.7755	0.0425	0.42585
Área Abierta	9.857	0.0328	0.328566667

^z Carbono por kg, ^ycarbono por gr, ^x carbono total por ha

4.4. Análisis de Coeficiente de Correlación de Pearson

Se observó una relación estrecha ($P \leq 0.01$) entre las variables altura, diámetro mayor, diámetro menor y cobertura, con el contenido de carbono en raíz, tallo, hoja y total. Sin embargo, no hubo correlación con los datos del IAF con el carbono en hoja (CHoja), raíz (CRaíz) y tallo (CTallo) ($P > 0.55$, $P > 0.2303$, $P > 0.4233$ respectivamente).

Cuadro 6. Coeficiente de Correlación de Pearson de los contenidos de carbono y las características morfológicas de la planta de gobernadora.

	CHoja	CRaíz	CTallo	CTOT
Altura	0.4682	0.5776	0.7169	0.7337
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
D_mayor	0.6816	0.6393	0.6774	0.7817
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
D_menor	0.6659	0.5794	0.5411	0.6756
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Cobertura	0.7334	0.6588	0.6493	0.7832
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
IAF	0.0576	0.1143	-0.0764	0.0011
	0.5461	0.2303	0.4233	0.9910

No se observó relación entre el contenido de carbono, en los tejidos de *Larrea tridentata* con la densidad de población (Cuadro 7). Esto nos indica que existen otros factores de tipo ecológico y ambiental que influyen de manera considerable en el potencial de las plantas, para asimilar carbono y que las densidades de plantación, en este estudio en particular no manifiestan valores críticos que influyan considerablemente en tal comportamiento.

Cuadro 7. Análisis de varianza de contenido de carbono en los tejidos en las tres densidades de cobertura vegetal.

Variables	Prob.
CHoja	0.78
CTallo	0.66
CRaíz	0.39
CTotal	0.74

4.5. Ecuaciones Alométricas

Para generar las ecuaciones o modelos de predicción, se realizaron mediante análisis de regresión múltiple, utilizando las variables, cobertura, diámetro mayor, diámetro menor y altura.

Se determinaron los modelos con mejor ajuste para predecir la captura de carbono de *Larrea tridentata* considerando la asociación significativa entre las características morfológicas de la planta y el contenido de carbono en los tejidos de la planta (Cuadro 8). Los modelos con mayor ajuste fueron el de carbono en hoja con un $R^2=0.90$ y carbono total con $R^2=0.91$. Por consiguiente en futuras investigaciones relacionadas con este tema, la consideración de estas ecuaciones es importante.

Cuadro 8. Modelos de predicción en captura de carbono.

Modelo	R²	CME
Contenido de Carbono en Hoja CHoja= 0.05082 Dmayor + 0.064007 Cobertura	0.9023	0.00153
Contenido de Carbono en Tallo CTallo= 0.24179 Altura – 0.37611 D. menor + 0.32190 Cobertura	0.8095	0.00750
Contenido de Carbono en Raíz CRaíz= 0.08725 Cobertura	0.7369	0.00251
Contenido de Carbono en Total CTotal= 0.33134 Altura – 0.44665 D. menor+0.51955 Cobertura	0.9169	0.001299

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se obtuvo un modelo alométrico el cual ayuda a predecir el contenido de carbono en la especie *Larrea tridentata* bajo diferentes tipos de densidad de cobertura, en este modelo se obtuvo un valor alto del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.91$) las variables que se emplearon fueron: Altura, Diámetro Menor y Cobertura.

El modelo propuesto para la estimación de carbono en *Larrea tridentata*. Podría ser una herramienta práctica por requerir información de variables de fácil medición. No obstante se recomienda que en futuros estudios se incremente el número de muestreos para dar mayor fortaleza al modelo determinado.

El contenido de carbono de la especie *Larrea tridentata* fue similar en las diferentes densidades de cobertura vegetal evaluadas en el presente estudio, por lo que se acepta la hipótesis propuesta.

VI. LITERATURA CITADA

- Arteaga S., Andrade A., Cárdenas R. 2005. *Larrea tridentata* (Creosote bush), an abundant plant of Mexican and US-American deserts and its metabolite nordihydroguaiaretic acid, *Journal of Ethnopharmacology* 9, 231–239.
- Becerril-Piña, R., González-Sosa, E., Mastachi-Loza, C. A., Díaz-Delgado, C., y Ramos-Salinas, N. M. 2014. Contenido de carbono en un ecosistema semiárido del centro de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(1), 9-18.
- Becerril-Piña R, E González y L. Hernández. 2006. El semiárido mexicano como sumidero de carbono. Estudio de caso Microcuenca “El Carmen”.
- Brinker, F. 1994. *Larrea tridentata* (D.C.) Coville (Chaparral or Creosote Bush) *British Journal of Phytotherapy*, 3(1):10-31.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO Roma. Forestry Paper 135.
- CONABIO. 2008. *Larrea tridentata*, http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/70-zygop2m.pdf, Fecha de consulta 16 de Mayo de 2015.
- CONABIO. 2008. Climas (Clasi_cación Köppen, modi_cado por García). Escala 1:1 000 000. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de consulta 16 de Octubre de 2015.
- Díaz-Franco R, Acosta-Mireles M, Carrillo-Anzures F, Buendía-Rodríguez E, Flores-Ayala E, Etchevers-Barra J. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para

estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13: 25-34.

Downum, K. R. and Rodríguez, E. 1988. Nordihydroguaiaretic acid: Inter.-and intrapopulational variation in the Sonoran Desert creosote bush *Larrea tridentate* (Zygophyllaceae). *Biochem Syst. Ecol.* 16 (6): 551-555.

Eamus D., K McGuinness, W Burrows, 2000. Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and western Australia. National Carbon accounting system. 56 p. (Technical report N° 5).

Espinoza - Bretado, R. y Návar, J. 2005. Producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del Nordeste de México. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11: 25-31.

García Oliva F, G. Hernández y J. F. Gallado Lancho. 2006. Comparison of Ecosystem C pools in three forest in Spain and Latin America. *Ann. For. Sci.* 63: 519-523.

Gayoso, J., & GUERRA, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 33-38.

Giraldo, A., Zapata, M., & Montoya, E. 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 16(4), 215-220.

Grünzweig JM, Lin T, Rotenberg E, Schwartz A, Yakir D. 2003. Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology* 9(5): 791-799.

- Guerra P., Saucedo R., Morales R., Martínez M. 2013. Almacén y Captura de Carbono en Pastizales y Matorrales de Chihuahua, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ISBN 978-607-37-0232-4.
- IPCC. 1996. Chapter 5: Land Use Change y Forestry. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual . IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London. 3:57 p.
- Ketterings Q, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau Y, Palm C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.
- Lal R. 2003. Carbon sequestration in drylands ecosystems. *Environmental management* 33(4): 528-544.
- Locatelli B. y S. Leonard. 2001. Un método para medir el Carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). *Bois et forêts des tropiques*, 267: 69-81.
- Lu D. 2005. Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing* 26: 2509-2525.
- Maldonado A., Lorenzo J. 2012. Caracterización y usos de los recursos naturales en zonas áridas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 20(4): 56-62, <http://revistaforestal.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/960/958>. Fecha de acceso: 22 de Noviembre de 2015.

Malhi, Y., & Grace, J. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(8), 332-337.

Margaris, N. S., & Mooney, H. A. (Eds.). 2012. Components of productivity of Mediterranean-climate regions Basic and applied aspects: Proceedings of the International symposium on photosynthesis, primary production and biomass utilization in Mediterranean-type ecosystems, held in Kassandra, Greece, September 13–15, 1980 (Vol. 4). Springer Science & Business Media <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=LJfqCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA128&dq=margaris,+Components+of+productivity+of+Mediterranean-climate+regions.+Basic+and+applied+aspects.+&ots=eKIO5667GU&sig=IY8Syyk2ANE9R1av0i0DI9PSN48#v=onepage&q=margaris%2C%20Components%20of%20productivity%20of%20Mediterranean-climate%20regions.%20Basic%20and%20applied%20aspects.&f=false> , Fecha de consulta 12 de Julio de 2015.

Mostacedo, B.; Fredericksen, T. S. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOR; Santa Cruz, Bolivia. 87 pp.

Nájera, L.J.A. 1999. Ecuaciones para estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento en Biomasa y Captura de Carbono en diez especies típicas del matorral Tamaulipeco del nordeste de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Pp. 14-20.

Návar, J. and Bryan, R. 1990. Interception loss and rainfall redistribution by three semi – arid growing shrubs in northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 115: 51-63.

- Nosetto MD, Jobbágy EG, Paruelo JM. 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environments* 67(1): 142-156.
- Ordóñez, J.A.B. y O. Masera. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3 – 12
- Ramirez G. A. 2006. *Ecología: métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*, Bogotá, editorial Potificia Universidad Javeriana, p139, ISBN: 958-683-850-1 https://books.google.com.mx/books?id=-guS_4nYra0C&pg=PA17&dq=cobertura+vegetal%2C+ecologia+vegetal&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=cobertura%20vegetal%2C%20ecologia%20vegetal&f=false Fecha de consulta 13 de Agosto de 2015.
- Rundel, P. W, Rasoul, S. M. and Gonzalez, C. A. 1994. Resource availability and herbivory in *Larrea tridentata*. pp 115-114 in: M. Arianoutsou and R. H. Groves, (Eds). *Plant- Animal Interactions in Mediterranean Type Ecosystems*, Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Snowdon P., J. Raison, H. Keith, K. Montagu, K. Bi, P. Ritson, P. Grierson, M. Adams, W. Burrows y D. Eamus. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31. Australian Greenhouse Office, Canberra. 114 pp.

Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. 2000. Manual de procedimientos para muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile.

Slijepcevic, A. 2001. Loss of carbon during controlled regeneration burns in *Eucalyptus obliqua* forest. *TASFORESTS-HOBART-*, 13(2), 281-290.

Yerena-Yamallel, J.I., Jiménez-Pérez J., Aguirre-Calderón, O.A. y Treviño-Garza, E.J. 2011. Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso Tamaulipeco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2) Pág. 283-291.