

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Estimación de la Biomasa Aérea y Captura de Carbono en *Yucca filifera* (Chaubad) y *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Usando Ecuaciones Alométricas, en Mazapíl, Zacatecas

Por:

YESSICA ELIZABETH CASTAÑUELA RAMOS

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Estimación de la Biomasa Aérea y Captura de Carbono en *Yucca filifera* (Chaubad) y
Atriplex canescens (Pursh) Nutt. Usando Ecuaciones Alométricas, en Mazapíl, Zacatecas

Por:

YESSICA ELIZABETH CASTAÑUELA RAMOS

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada:

Dr. Jorge Méndez González

Asesor Principal

Dr. Juan Abel Nájera Luna

Coasesor

Ing. Juan Carlos Ramírez Martínez

Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento de mi vida tan maravilloso, acompañado de mucha salud, amor y sobre todo por darme la oportunidad de estar a lado de mi familia y de mis seres queridos.

A mis padres Alberto Castañuela Ramos y Agapita Ramos Chavarría, por darme la vida y ser parte de ella, porque a pesar de todo no han dejado de creer en mí, por su apoyo espiritual, moral y económico, por sus consejos, por todo el amor que siempre me dan y porque me han dejado la mejor herencia, la educación.

A mis hermanos Alberto y Erick, por su cariño, comprensión y compañía en todo momento.

A mi ángel abuelo que está en el cielo Eliseo Ramos Macías porque desde donde está me cuida y disfruta de la misma manera este momento como migo. Te quiero.

A mi amiga en especial Lesly Pamela Guerrero Silva, por su apoyo incondicional, porque siempre me animó a seguir adelante, porque nunca me dejo sola y porque estuvo al pie del cañón con este proyecto, gracias por tu amistad y por ser parte de mi vida.

A Reyna Méndez Encina otro ángel y colega que está en el cielo y que ha sido mi inspiración en todo momento, siendo un claro ejemplo de lo mucho que hay que disfrutar la vida a cada momento, como ella lo hubiera hecho.

A mis amigos, Ada Luz Ovando, Eric Santiago Gómez, Ana Cristina Rodríguez Ipiña y Arelis Karina Gómez Díaz, por su amistad, consejos, por todas las cosas que me han enseñado, por todos sus buenos deseos y por el apoyo en esta parte vida.

A mi equipo de futbol rápido UAAAN negro, por su compañerismo y entrega en la cancha, así como su comprensión de mi ausencia, para la elaboración de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por darme la oportunidad y el apoyo en el proceso de mi formación en mis estudios profesionales de Ingeniero Forestal.

A los profesores del Departamento Forestal, por todo su apoyo en el proceso de mi formación universitaria.

A mi profesor y asesor Dr. Jorge Méndez González, por el tiempo dedicado, la orientación, paciencia y enseñanzas que me ha dejado, las cuales han sido de mucha ayuda en mi vida de estudiante y profesional.

A la minera Peñasquito perteneciente al grupo corporativo Goldcorp, por permitirnos trabajar en sus terrenos y llevar a cabo los trabajos necesarios para este proyecto, por aportar el material y equipo de campo y laboratorio, destacándose por ser una empresa responsable con el medio ambiente.

Al Ing. Alberto Moyeda Dávila por su amistad, apoyo y aportaciones para que se realizara este trabajo.

A mis compañeros también tesistas, Lesly Pamela Guerrero Silva y Eleazar Amidaf Jiménez Alcalá porque me acompañaron y apoyaron en este proceso de mi formación.

A la generación CXV de la carrera de Ingeniero Forestal, por acompañarme durante mi estancia en la Universidad.

Y a todas aquellas personas que me ayudaron con su trabajo y orientación.

El presente estudio se realizó con el apoyo de la compañía minera Peñasquito Goldcorp, dentro del proyecto 3613-7160 - Funciones para estimar biomasa aérea e incrementos anuales de la fijación de carbono en plantaciones forestales de importancia ecológica.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	I
INDICE DE CUADROS	II
INDICE DE FIGURAS	II
RESUMEN	III
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Conceptos.....	4
Género <i>Yucca</i>	5
Estudios sobre biomasa en <i>Yucca filifera</i>	5
Género <i>Atriplex</i>	6
Estudios sobre biomasa en <i>Atriplex canescens</i>	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Área de estudio.....	7
Toma de datos en campo.....	7
Obtención de biomasa	9
Generación del modelo para calcular biomasa.....	10
Modelo para estimar el contenido de agua.....	11
Estimación de carbono y dióxido de carbono	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Biomasa, carbono y dióxido de carbono en <i>Yucca filifera</i> y <i>Atriplex canescens</i>	15
Contenido de agua en <i>Yucca filifera</i>	20
CONCLUSIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA	23

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de plantas seleccionadas para estimar biomasa en <i>Yucca filifera</i> y <i>Atriplex canescens</i> en Mazapil, Zacatecas, México.	15
Cuadro 2. Valores del ajuste y estadísticos de los modelos alométricos para estimar biomasa en <i>Y. filifera</i> y <i>A. canescens</i> en Mazapil, Zacatecas, México.....	17
Cuadro 3. Valores del ajuste y estadísticos del modelo para estimar contenido de agua en <i>Yucca filifera</i> en Mazapil, Zacatecas, México.	20

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre biomasa seca total, diámetro a la altura del pecho y altura (A), y residuales en <i>Y. filifera</i> (B); relación entre biomasa aérea total con diámetro de copa promedio (C) y residuales, en <i>A. canescens</i> (D); en Mazapil, Zacatecas, México.....	19
Figura 2. Relación entre contenido de agua con diámetro a la altura del pecho (A) y residuales del modelo (B) en <i>Y. filifera</i> en Mazapil, Zacatecas, México.	21

RESUMEN

La generación de ecuaciones alométricas es importante para determinar la biomasa y el carbono en las especies arbóreas y valorar el impacto en la mitigación de gases efecto invernadero (GEI). El presente estudio se realizó en terrenos de la compañía minera Peñasquito Goldcorp, en poblaciones naturales de *Yucca filifera* (Chabaud) y *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt, en el municipio de Mazapil, Zacatecas, México y tuvo como objetivos: 1) generar ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea total en *Yucca filifera* y *Atriplex canescens*; y 2) generar una ecuación alométrica para estimar almacén de agua en *Y. filifera*. Se utilizó el método destructivo, para obtener la biomasa de cada planta, esta fue calculada usando la relación entre el peso seco total y el peso verde total en 31 plantas de *Y. filifera* y 51 plantas de *A. canescens*. Las plantas seleccionadas de *Y. filifera* tuvieron un diámetro a la altura del pecho que varía de 10 a 93 cm, la altura mínima fue de 1.40 m y la máxima de 11 m; el peso verde total el máximo fue de 780 kg y el mínimo de 8 kg, el valor de biomasa máxima fue de 236 kg y la mínima de 5.33 kg, para *A. canescens* se encontró un diámetro de copa promedio mínimo de 0.54 m y un máximo de 2.60 m, la altura varió de 0.45 a 1.70 m, el peso verde total máximo fue de 10.58 kg y el mínimo de 2.76 kg y la biomasa máxima fue de 7.84 kg y la mínima de 0.26 kg. Los modelos alométricos para estimar biomasa aérea total en *Y. filifera* ($R^2 = 0.96$) y *A. canescens* ($R^2 = 0.57$) así como el modelo para estimar el almacén de agua en *Y. filifera* ($R^2 = 0.83$) se generaron utilizando el software SAS usando el comando stepwise.

Palabras clave: método destructivo, biomasa, agua, ecuaciones alométricas, carbono, peso, estimar.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es uno de los mayores desequilibrios ecológicos que la tierra experimenta actualmente (Acosta *et al.*, 2011). Las emisiones anuales de CO₂ aumentaron un 80 % entre 1970 y 2004, de seguir así estas emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a una tasa igual o superior, el calentamiento mundial, muy probablemente serán mayores a los observados durante el siglo XX (IPCC, 2007), este es el cambio más problemático debido a que tiene efectos directos e indirectos sobre el funcionamiento del sistema de la tierra (Luo y Mooney, 1999).

De acuerdo a Ávila *et al.* (2001) una forma de mitigar los efectos del CO₂ es almacenándolo en la biomasa. Mediante la fotosíntesis, las plantas almacenan los fotoasimilados en componentes de carbono en sus estructuras leñosas, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono (Acosta *et al.*, 2002). No obstante, las concentraciones elevadas de CO₂ atmosférico pueden aumentar la tasa de fotosíntesis instantánea en varias especies C₄, mediante el aumento de la concentración de CO₂ en la ubicación de la Rubísco, mejorando la eficiencia de carboxilación y reducción de la fotorrespiración (Sharkey, 1985).

Las zonas áridas y semiáridas ocupan más de la mitad del territorio mexicano y están cubiertas en su mayor parte por diversos tipos de comunidades arbustivas (Cervantes, 2005) que de acuerdo con Rzedowski (1978), reciben el nombre genérico de matorral xerófilo, que alternan con pastizales y con algunos manchones aislados de vegetación arbórea.

Acosta *et al.* (2011) y Méndez *et al.* (2012) mencionan que la generación de ecuaciones alométricas es importante para determinar la biomasa y el carbono en las especies arbóreas y con ello valorar el impacto en la mitigación de GEI. El uso de las ecuaciones alométricas

de ámbito general, permite sustituir el apeo por la medición sobre una muestra de árboles en pie (Martínez *et al.*, 1993).

Las especies estudiadas en este trabajo son: *Yucca filifera* (Chabaud), planta arborescente perteneciente a la familia Agavaceae y es la especie con más amplia distribución en México (Matuda y Piña, 1980), representada por el 60 % del total de las especies del género, y constituyen uno de los ejemplos clásicos de coevolución con sus polinizadores (Eguiarte y Scheinvar, 2008), el uso de esta especie es para el aprovechamiento de su fruto (dátil), semillas y fibra de las hojas (Aregullin *et al.*, 1980). Otra especie en estudio fue *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., chamizo o costilla de vaca, también con amplia distribución en las zonas áridas y semiáridas del norte de México (Meza, 1997; Romero y Ramírez, 2003), se considera excelente para la conservación de suelo y agua, durante todo el año, pertenece a la familia Chenopodiaceae (Meza, 1997), es una especie productora de forraje con alto contenido proteico (Valencia *et al.*, 1981) de acuerdo a Romero y Ramírez (2003) *A. canescens* contiene de 16 a 20 % de proteína y ha sido descrita como una de las arbustivas forrajeras más valiosas del desierto.

Y. filifera y *A. canescens* tienen la capacidad de absorber CO₂ y liberar el oxígeno y el vapor de agua durante la noche, cuando la temperatura es más baja y la humedad del aire aumenta; esto trae como consecuencia que la pérdida de agua sea mínima (Arias *et al.*, 2000), en especial *Y. filifera*, tiene la capacidad de almacenar agua, le permite tener, retener y utilizarla según sus necesidades (Ayala y Pavón, 2012) este es un factor fundamental para la supervivencia en los ecosistemas áridos (Álvarez *et al.*, 2004). *Y. filifera* y *A. canescens* representan una fuente de ingresos económicos para los pobladores de estas regiones y han sido poco estudiadas en el aspecto de biomasa, lo que ha limitado evaluar la importancia de

éstas como almacén de carbono y su efecto mitigador del cambio climático. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) generar ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea total en *Yucca filifera* y *Atriplex canescens*; 2) generar una ecuación alométrica para estimar almacén de agua en *Y. filifera*.

REVISIÓN DE LITERATURA

Conceptos

Cambio climático: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural de clima observada durante periodos de tiempos comparables (IPCC, 2007).

Gas de efecto invernadero (GEI): componente gaseoso de la atmosfera natural o antropógeno que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero. Los principales GEI de larga duración, son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (IPCC, 2007).

Método alométrico: Permite predecir la producción de biomasa en forma no destructiva en cualquier momento y a partir de este dato determinar las fases de crecimiento del cultivo, los componentes de la biomasa y los nutrientes asociados a cada componente, así como el rendimiento económico esperado de una plantación (Ares *et al.*, 2002).

Coefficiente de determinación: Proporción o porcentaje de variación total en Y respecto a su media, que es explicada por el modelo de regresión. Es usual expresar esta medida en tanto por ciento, multiplicándola por cien (Martínez, 2005).

Biomasa: El término biomasa, en su acepción más amplia, incluye todo un conjunto de materias orgánicas que tienen su origen en un proceso biológico; a partir de la luz solar, la formación de biomasa vegetal se lleva a cabo mediante el proceso de fotosíntesis gracias al que se produce materia orgánica que posee un alto valor energético bajo la forma de energía química (Macicior, 2011).

Género *Yucca*

El 74 % del total de las especies de la familia Agavaceae se concentra en dos géneros: *Yucca* con 50 especies es el segundo más diverso después del género *Agave*, con 116 especies. Las especies del género *Yucca* presentan rosetas suculentas de vida larga, las yucas son plantas iteróparas de vida larga con polinización especializada y constituyen uno de los ejemplos clásicos de coevolución con sus polinizadores: diversas especies de polillas del género *Tegeticula*. En esta relación mutualista planta polinizador, la planta obtiene el beneficio de ser fecundada y los polinizadores obtienen alimento en forma de néctar, polen, aceites, fragancias o incluso sitio de anidación y alimento para sus larvas, como en el caso de la relación de las agaváceas del género *Yucca* con la polillas del género *Tegeticula* (Ayala y Pavón, 2012).

Estudios sobre biomasa en *Yucca filifera*

Hace falta información sobre el género *Yucca* (Ruíz, 1982), se han realizado algunos estudios de estimación de biomasa en el género *Yucca* aunque no para *Y. filifera*. Ludwig *et al.* (1975) Nuevo México USA *Yucca elata*, estudiaron la relación tamaño-biomasa de varios arbustos del desierto Chihuahuense y obtuvieron como resultado que el volumen y el

área cubierta son generalmente estimadores adecuados; Ruíz *et al.* (1982) Baja California Sur, México, elaboraron una tabla de rendimiento de peso verde de hojas y peso de fibra seca de datilillo (*Yucca valida*) utilizando como variables independientes el diámetro y la longitud de la roseta.

Género *Atriplex*

El género *Atriplex*, de la familia de las Chenopodiáceas, está formado por un elevado número de especies distribuidas por todo el mundo, pero concentradas en su mayor parte en unos pocos centros de diversificación localizados en las zonas áridas y semiáridas (100-500 mm) de América del N., América del S., Australia y Cuenca Mediterránea (Correal *et al.*, 1968).

Estudios sobre biomasa en *Atriplex canescens*

Meza (1997) realizó un trabajo al Sur de Saltillo Coahuila sobre ecuaciones para estimar el la fitomasa de *Atriplex canescens* y probó un modelo potencial ($B = 0.037 (Dcp)^{2.220}$) para estimar fitomasa con el diámetro de copa promedio como variable independiente; Guillén *et al.* (2010) realizó un estudio en La Paz, Baja California Sur donde estimaron la producción de forraje de *Atriplex barclayana* mediante ecuaciones de predicción; Correal *et al.* (1968) estimó el valor nutritivo de cuatro arbustos forrajeros y encontró que el contenido de materia seca es mayor en la época de otoño *Atriplex nummularia* (45.9 %) y *Atriplex lampa* (39 %) y verano para *Atriplex cyncrea* (35.7 %), *Atriplex undidata* (47.6 %).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en terrenos de la compañía minera Peñasquito Goldcorp, en poblaciones naturales de *Yucca filifera* y *Atriplex canescens*, en el municipio de Mazapil, Zacatecas, México (101° 36' de longitud norte y 24° 18' de latitud oeste), localizándose a una altitud alrededor de los 2230 m.s.n.m. El área presenta matorral desértico xerófilo, matorral desértico rosetófilo y en terreno aluviales se encuentra el matorral desértico micrófilo, sobre suelos someros de cerros de origen sedimentario, con una precipitación de 400 mm (García, 1998).

Toma de datos en campo

A las plantas de *Yucca filifera*, se les midió el diámetro a la altura del pecho (*Dap*) con una cinta diamétrica, para ubicar las categorías diamétricas existentes en el aérea de estudio y así obtener representatividad por categoría diamétrica, en total se eligieron 31 plantas de *Y. filifera*, para estimar biomasa aérea total. En *A. canescens* el criterio de selección de plantas fue el diámetro de copa promedio, para obtenerlo se promedió el diámetro de copa mayor y menor, que fueron medidos con una cinta métrica de 5 m de longitud, seleccionándose 51 plantas.

En las plantas seleccionadas *Y. filifera*, se realizó el método destructivo, por lo que se derribaron las plantas lo más cercano al suelo (0.30 a 0.50 m), con una motosierra marca Trupper con espada de 20", una vez derribadas, se les midió la altura con un longímetro de 50 m; posteriormente se dimensionaron, de manera que se pudieran maniobrar para ser

pesadas en una báscula romana (marca COR), de 10 y 120 kg de capacidad (Méndez *et al.*, 2012) y obtener el peso verde parcial de cada una de las plantas de *Y. filifera* (Ávila *et al.*, 2001; Echavarría *et al.*, 2009; Guillén *et al.*, 2010). Para obtener el peso verde del tocón, se estimó el volumen con la fórmula de Newton o neiloide truncado (Ugalde, 1981) expresada de la siguiente forma:

$$V = L \frac{A_1 + 4A' + A_2}{6}$$

Dónde:

V = Volumen (m^3).

L = Largo de la troza (m).

A_1 = Área en un extremo (m^2).

A' = Área en la mitad del largo de la troza (m^2).

A_2 = Área en el otro extremo (m^2).

Una vez obtenido el volumen del tocón de *Y. filifera*, se comparó con una troza de volumen similar y se sumó el peso registrado por la troza de referencia para obtener el peso verde total de la planta de *Y. filifera*. Finalmente, se tomaron muestras (3 a 5 por planta) en forma de rodajas de 5 cm de grosor cada una a lo largo de la planta, resaltando que no se separaron hojas del fuste ni de ramas.

En *A. canescens* la altura (H) se midió en pie, posteriormente se aplicó el método destructivo, por lo que se derribaron las plantas al ras del suelo, usando una motosierra marca Trupper con espada de 20"; se hicieron tercios de *A. canescens*, de manera que se pudieran maniobrar para ser pesados en una báscula romana (marca COR), de 10 y 120 kg

de capacidad (Méndez *et al.*, 2012) y obtener el peso verde total de cada una de las plantas de *A. canescens* (Ávila *et al.*, 2001; Echavarría *et al.*, 2009; Guillén *et al.*, 2010), y de ellas tomar muestras sin separar hojas, ramas ni fuste.

Las muestras se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas para su traslado a laboratorio (Meza, 1997) donde serían secadas en un horno de secado con capacidad de 2.2 m³, para obtener el contenido de humedad de las muestras de cada planta de *Y. filifera* y *A. canescens*.

Obtención de biomasa

Para estimar la biomasa aérea total (*B*) de las plantas en estudio, se secaron en un horno de secado a 80 °C por 8 días (Guillén *et al.*, 2010), se monitorearon y pesaron en una báscula modelo PCE - BSH - 6000 (precisión a un gramo) hasta obtener un peso constante (Echavarría *et al.*, 2009), posteriormente se determinó el contenido de humedad de las muestras, empleando la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{Pvm - Psm}{Psm} * 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%).

Pvm = Peso verde muestra (g).

Psm = Peso seco muestra (g).

La biomasa aérea total de *Y. filifera* y *A. canescens* se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$B = \frac{Pvt}{1 + CH/100}$$

Donde:

B = Biomasa aérea total (kg).

Pvt = Peso verde total de biomasa (kg).

CH = Contenido de humedad (%).

Generación del modelo para calcular biomasa

Los modelos alométricos para estimar biomasa aérea total en *Yucca filifera* y *Atriplex canescens* se generaron utilizando el software SAS, usando el comando stepwise; durante el proceso se probaron las variables independientes medidas en campo, diámetro a la altura del pecho y altura total para *Y. filifera*; diámetro de copa promedio y altura total para *A. canescens* y sus combinaciones. El modelo se eligió de acuerdo al coeficiente de determinación más alto, distribución de residuales, significancia del modelo ($P < 0.05$) y de coeficientes de regresión además, se consideró la sencillez del modelo y facilidad de medición de las variables independientes. Para *Y. filifera* se generó un modelo alométrico de tipo lineal (1) con dos variables independientes (Dap y H). En *A. canescens* el modelo alométrico generado utiliza el diámetro de copa promedio como variable independiente, quedando para ambos casos de la siguiente forma:

$$B = \beta_0 + \beta_1 * Dap + \beta_2 * H \quad (1)$$

Donde:

B = Biomasa aérea total de *Y. filifera* (kg).

Dap = Diámetro a la altura del pecho (cm).

H = Altura (m).

β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo.

$$B = \beta_0 + \beta_1 * Dcp \quad (2)$$

Donde:

B = Biomasa aérea total en *A. canescens* (kg).

Dcp = Diámetro de copa promedio (m).

β_0 y β_1 = Parámetros del modelo.

Modelo para estimar el contenido de agua

Al colocar las muestras colectadas en campo de *Yucca filifera* en el horno de secado se llevaron a su estado anhidro, lo cual significa que perdieron el agua libre y el agua higroscópica (Alcoba, 2009), lo cual indica que la diferencia entre el peso verde y el peso seco es igual al contenido de agua. En promedio el contenido de agua en *Yucca filifera* (Cuadro 1) fue de 63.74 %, es decir, más de la mitad de su peso verde, por lo que se decidió generar un modelo de predicción para almacenamiento de agua en la planta.

En el software de SAS con el comando stepwise se probaron las variables independientes y sus combinaciones, el modelo se eligió de acuerdo al coeficiente de determinación más alto, la distribución de residuales, coeficiente de regresión ($P < 0.05$), sencillez del modelo y facilidad de medición de las variables independientes; el modelo seleccionado utiliza como variable independiente el diámetro a la altura del pecho elevado al cuadrado, y se expresa de la siguiente manera:

$$CA = \beta_0 + \beta_1 * Dap^2 \quad (3)$$

Donde:

CA = Contenido de Agua (L).

$Dap^2 = (\text{Diámetro a la altura del pecho})^2 \text{ (cm}^2\text{)}$.

β_0 , y β_1 = Parámetros del modelo.

Estimación de carbono y dióxido de carbono

En este estudio, se consideró que el contenido de carbono total corresponde al 50 % del peso de la biomasa seca (IPCC, 1996), por lo que el carbono almacenado en la plantas de *Yucca filifera* y *Atriplex canescens*, se obtuvo por el producto de la biomasa aérea total por 0.50, expresado en la fórmula siguiente:

$$C = B * CC$$

Donde:

C = Carbono almacenado en las plantas de ambas especies en estudio (kg).

B = Biomasa (kg).

CC = Contenido de carbono 0.50.

El CO_2 fijado en la biomasa aérea total de *Y. filifera* y *A. canescens* se obtuvo con el producto del carbono almacenado en la biomasa y el coeficiente resultante de la relación entre el peso de la molécula de CO_2 (44) y el peso del átomo de carbono (12) (Raev *et al.*, 1997; Méndez *et al.*, 2011).

$$CO_2 = C * F$$

Donde:

CO_2 = Dióxido de carbono (kg).

C = Carbono almacenado (kg).

$F = 44/12 = 3.67$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los datos medidos en los individuos seleccionados de *Yucca filifera*, en el municipio de Mazapil, Zacatecas, se tiene que el diámetro a la altura del pecho varía de 10 a 93 cm, la altura mínima es de 1.40 m y la máxima de 11 m. En cuanto al peso verde total el máximo es de 780 kg y el mínimo de 8 kg, el valor de biomasa máxima fue de 236 kg y la mínima de 5.33 kg (Cuadro 1). Los valores máximos de peso verde total y biomasa en *Y. filifera* corresponden al individuo con los valores de altura (11 m) y diámetro a la altura del pecho máximos (93 cm), sin embargo el individuo con los valores de peso verde total (8 kg) y biomasa mínimos (5.33 kg), no es el que tiene el diámetro a la altura del pecho mínimo (10 cm) pero si la altura mínima (1.40 m). Al calcular el contenido de humedad en *Y. filifera* se obtuvo un máximo de 341.65 % (Cuadro 1), que representó la pérdida de 263 kg del peso verde total, este contenido de humedad no corresponde al individuo con los máximos valores, sino al individuo con 48 cm de diámetro a la altura de pecho y una altura total de 5.7 m.

En *Atriplex canescens* el diámetro de copa promedio mínimo fue de 0.54 m y el máximo de 2.60 m, la altura total varió de 0.45 a 1.70 m; el peso verde total máximo fue de 10.58 kg y el mínimo de 2.76 kg y la biomasa total máxima fue de 7.84 kg y la mínima de 0.26 kg (Cuadro 1). Los valores máximos y mínimos del peso verde total y de la biomasa, no corresponden a los individuos con los valores de diámetro de copa promedio y altura máximos y mínimos. Al calcular el contenido de humedad se obtuvo un promedio de 50.23 %, sin embargo el máximo contenido de humedad de los individuos de *A. canescens* para el presente estudio fue de 230 % y se obtuvo en un individuo con un diámetro de copa

promedio de 1.75 m y una altura de 0.9 m. La altura promedio de *A. canescens* fue de 0.92 ± 0.29 m y el diámetro de copa promedio de 1.20 ± 0.43 m (Cuadro 1), estos valores son mayores a los encontrados por Meza (1997) quien encontró una altura promedio de 0.676 m y un diámetro promedio de copa de 0.788 m en una población de *A. canescens* al sur de Saltillo, Coahuila.

El contenido de humedad promedio de *Y. filifera* fue de 142.63 % (Cuadro 1), lo que representa cerca de tres veces más que el obtenido en *A. canescens* que fue de 50.23 %.

Para cuantificar biomasa en el presente trabajo se analizaron 51 plantas de *A. canescens*, en otros estudios, como el de Meza (1997) quien utilizó ecuaciones para estimar la fitomasa de *A. canescens*, midió variables de 70 plantas. Guillen *et al.* (2010) estimó la producción de forraje de *Atriplex barclayana* en Baja California Sur, mediante ecuaciones de predicción y midió variables de 30 plantas.

Cuadro 1. Características de plantas seleccionadas para estimar biomasa en *Yucca filifera* y *Atriplex canescens* en Mazapil, Zacatecas, México.

Variable	<i>Yucca filifera</i> (n = 31)				<i>Atriplex canescens</i> (n = 51)			
	Max	Min	Media	D. E.	Max	Min	Media	D. E.
<i>Dap</i> (cm)	93.00	10.00	24.00	15.88	—	—	—	—
<i>Dcp</i> (m)	—	—	—	—	2.60	0.54	1.20	0.43
<i>H</i> (m)	11.00	1.40	3.73	2.08	1.70	0.45	0.92	0.29
<i>Pvt</i> (kg)	780.00	8.00	112.48	161.71	10.58	0.55	2.76	2.29
<i>CH</i> %	341.65	26.73	142.63	76.20	230.43	3.41	50.23	42.41
<i>B</i> (kg)	236.05	5.33	40.78	48.61	7.84	0.26	1.92	1.58

Donde: Max = máximo; Min = mínimo; Media = promedio; D. E. = desviación estándar;

Dap = diámetro a la altura del pecho; *Dcp* = diámetro de copa promedio; *H* = altura; *Pvt* = peso verde total; *CH* = contenido de humedad; *B* = biomasa aérea total.

Biomasa, carbono y dióxido de carbono en *Yucca filifera* y *Atriplex canescens*

Para estimar biomasa aérea total en *Y. filifera*, se generó un modelo alométrico lineal, con dos variables independientes (*Dap* y *H*), con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.96$ (Cuadro 2), a partir de ellas es posible estimar la biomasa. Ludwig *et al.* (1975) en su estudio de relaciones entre tamaño y biomasa de varios arbustos del desierto chihuahuense en Nuevo México, E.U.A., estimaron biomasa de *Yucca elata*, a partir de la superficie y volumen del dosel en los componentes de hojas verdes, hojas secas, fuste y raíz, en los que encontraron en promedio una R^2 de 0.94 con el área del dosel como variable independiente y una $R^2 > 0.97$ con el volumen del dosel como variable independiente. Ruíz *et al.* (1982)

estudiaron el peso verde y seco de hojas de *Yucca valida* en Baja California Sur, México, obteniendo una R^2 de 0.74 utilizando como variables independientes el diámetro y la longitud de la roseta; el valor de los parámetros del modelo de peso seco de hojas de *Y. valida* B_1 fue de 3.124 y el B_2 de 1.170, en el presente estudio el B_1 tuvo un valor de 1.787 y el B_2 de 10.182 en *Y. filifera* (Cuadro 2), siendo B_1 superior y el B_2 inferior a los parámetros B_1 y B_2 del modelo seleccionado en el presente estudio usando también dos variables independientes (Dap y H).

La biomasa aérea total en *Y. filifera* estimada con el diámetro promedio a la altura del pecho (24 cm) y altura promedio (3.73 m), es de 40.59 kg (Figura 1A), lo que representa 20.30 kg de carbono y 74.48 kg de CO₂ almacenados en la planta.

En *A. canescens* se generó un modelo lineal con el diámetro de copa promedio como variable independiente ($B = \beta_0 + \beta_1 * Dcp$); Meza (1997) probó modelos en *Atriplex canescens* de tipo lineal, logarítmico, exponencial y potencial de los cuales eligió el modelo potencial con el diámetro de copa promedio como variable independiente para la predicción de biomasa aérea.

Cuadro 2. Valores del ajuste y estadísticos de los modelos alométricos para estimar biomasa en *Y. filifera* y *A. canescens* en Mazapil, Zacatecas, México.

Especie	Y	X	CME	P > F	S _{xy}	CV	R ²	B ₀	B ₁	B ₂
<i>Yucca filifera</i>	B	Dap	102.71	0.0001	10.13	24.90	0.96	-40.102	1.787	10.182
		H								
<i>Atriplex canescens</i>	B	Dcp	1.08	0.0001	1.041	54.17	0.57	-1.424	2.781	—

Donde: Y = Variable dependiente (kg); X = variable independiente (kg); CME = cuadrado medio del error; P > F= significancia del modelo; S_{xy} = error estándar (kg); CV = coeficiente de variación (%); R² = coeficiente de determinación; B₀, B₁ y B₂= parámetros del modelo; B = biomasa aérea total (kg); Dap = diámetro a la altura del pecho (cm); H = altura total (m); Dcp = diámetro de copa promedio (m).

Al analizar por separado cada variable independiente de *A. canescens* (Dcp y H) y sus combinaciones, el diámetro de copa promedio es el que mejor estima la biomasa aérea total de *A. canescens*, obteniendo un R² de 0.57 (Cuadro 2), valor que está por arriba del obtenido por Guillén *et al.* (2010) de un R² = 0.508 utilizando como variable independiente el diámetro de copa mayor, en un estudio sobre estimación de la producción de forraje de *Atriplex barclayana* mediante ecuaciones de predicción. Meza (1997) utilizando un modelo potencial ($B = 0.037 (Dcp)^{2.220}$) para estimar fitomasa y el diámetro de copa promedio como variable independiente obtuvo una R² de 0.95 en *Atriplex canescens*. El promedio de biomasa aérea total encontrado en el presente estudio fue de 1.92 kg / planta de *A. canescens*. En *A. canescens*, con el diámetro de copa promedio (1.20 m) de los individuos

seleccionados, el modelo estima una biomasa aérea total de 1.91 kg (Figura 1C), lo que significa que contiene 0.96 kg de carbono y 3.52 kg de CO₂ almacenados en la planta.

El coeficiente de variación del modelo seleccionado en el presente estudio fue de 54.17 %; Meza (1997) obtuvo 76.4 % de coeficiente de variación en el modelo lineal para estimar peso seco total de *Atriplex canescens* y 5.7 % en el modelo potencial.

En el presente estudio en *Y. filifera* el residual con muy poco error es el encontrado a 93 cm de diámetro (Figura 1B); a un diámetro de 40 cm y una altura de 6 m se estima una biomasa de 92.47 kg (Figura 1A). También se encontró una buena distribución de residuales en *A. canescens* siguiendo una distribución normal (Figura 1D).

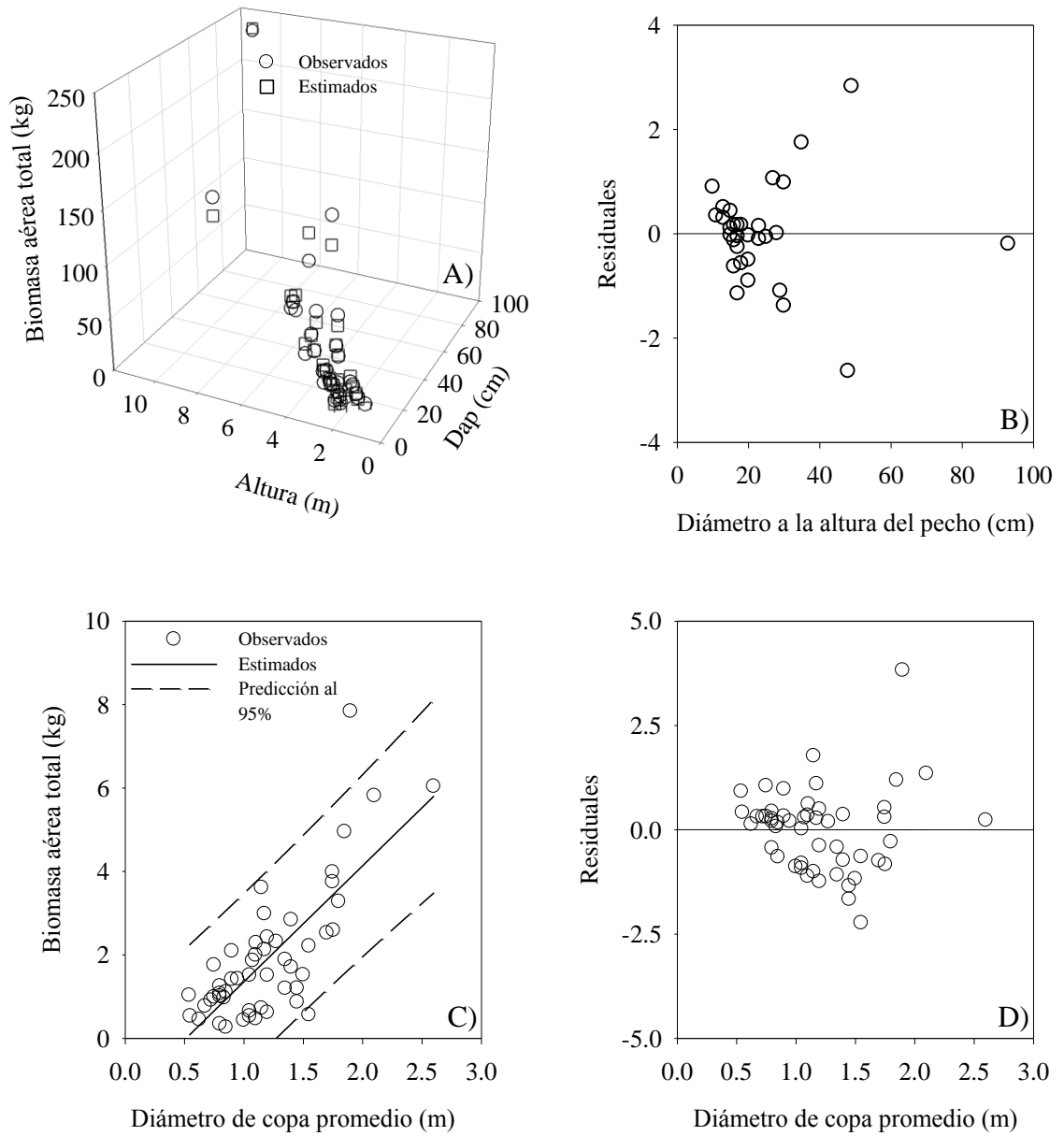


Figura 1. Relación entre biomasa seca total, diámetro a la altura del pecho y altura (A), y residuales en *Y. filifera* (B); relación entre biomasa aérea total con diámetro de copa promedio (C) y residuales, en *A. canescens* (D); en Mazapil, Zacatecas, México.

Contenido de agua en *Yucca filifera*

Al aplicar el modelo para estimar contenido de agua ($CA = \beta_0 + \beta_1 * Dap^2$) con el diámetro a la altura del pecho promedio (24 cm) de las plantas de *Yucca filifera*, se estima que la cantidad de agua almacenada en *Y. filifera* es de 0.05 m³ ó 55 L (Figura 2A), el agua promedio almacenada en *Y. filifera* representa un 63.74 % del peso verde total promedio (Cuadro 1), esto debido a las estrategias adaptativas de las plantas de zonas áridas para sobrevivir con bajas precipitaciones anuales. Así mismo, el modelo estima un total de 0.596 m³ (595.89 L) en una *Yucca filifera* de 93 cm de diámetro a la altura del pecho (Figura 2^a)

Cuadro 3. Valores del ajuste y estadísticos del modelo para estimar contenido de agua en *Yucca filifera* en Mazapil, Zacatecas, México.

Y	X	CME	P > F	Sxy	CV	R ²	B ₀	B ₁
CA	Dap ²	2162.2	0.0001	46.50	64.85	0.83	16.410	0.067

Donde: Y = variable dependiente; X = variable independiente; CME= cuadrado medio del error; P > F = significancia del modelo; Sxy = error estándar (L); CV = coeficiente de variación %; R² = coeficiente de determinación; B₀ y B₁ = parámetros del modelo; CA = contenido de agua (L); Dap² = diámetro a la altura del pecho elevado al cuadrado (cm²).

Los residuales más alejados para contenido de agua en *Y. filifera* en el presente estudio son los que tienen un diámetro de 30 y 48 cm (Figura 2B), el individuo de 35 cm de diámetro es el único que sale fuera de la banda de predicción del 95 % de confiabilidad (Figura 2A).

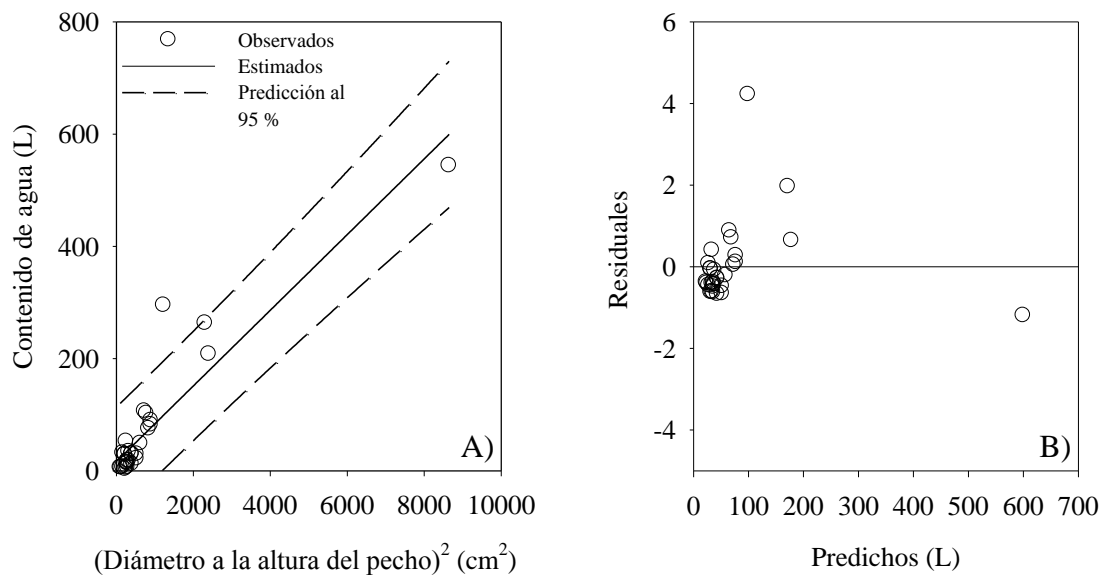


Figura 2. Relación entre contenido de agua con diámetro a la altura del pecho (A) y residuales del modelo (B) en *Y. filifera* en Mazapil, Zacatecas, México.

CONCLUSIONES

Se generaron dos ecuaciones alométricas para estimar biomasa en *Yucca filifera* y *Atriplex canescens*; en *Yucca filifera* la ecuación para estimar biomasa aérea total utilizó el diámetro a la altura del pecho y la altura como variables independientes y para *Atriplex canescens* solo utiliza el diámetro de copa promedio. Ambas ecuaciones se deben utilizar dentro de los rangos de las variables independientes con los que se realizó el presente estudio, así como en mismas condiciones ambientales del área del presente estudio.

La ecuación alométrica para estimar el contenido de agua en *Yucca filifera* utilizó el diámetro a la altura del pecho elevado al cuadrado como variable independiente; esta ecuación tuvo menor ajuste que la ecuación generada para estimar biomasa aérea total en *Yucca filifera*.

Las variables independientes que utilizan las ecuaciones generadas para estimar biomasa aérea total de *Yucca filifera* y *Atriplex canescens* son fácil medición en campo por lo que el modelo es de uso práctico.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta M M, J Vargas H, A Velázquez M y J D Etchevers B (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36: 725-736.

<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2002/nov-dic/art-10.pdf>

Acosta M M, F Carrillo A y R G Gómez V (2011). Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2: 529-543.

<http://scielo.unam.mx/pdf/remexca/v2n4/v2n4a5.pdf>

Alcoba C R (2009). Desarrollo de un programa de secado convencional para la madera de Teca (*Tectona grandis* Lin. f.), a escala de laboratorio, 1-88.

<http://www.posgradosfor.umss.edu.bo/boletin/umss/05%20PASANTIAS/2%20pasantia.pdf>

Álvarez R, H Godínez A, U Guzmán y P Dávila (2004). Aspectos ecológicos de dos cactáceas para su conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75: 7-16.

<http://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Alvarez-et-al-2004.pdf>

Aregullin M, G Dávila, D Jasso y L Jiménez (1980). Variaciones en el contenido de sarsapogenina y aceite durante la maduración del dátil de *Yucca filifera*. Departamento de

química analítica. Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, 199-213.

Ares A, J Boniche, J P Quesada, R Yost, E Mulina y T J Smyth (2002). Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrientes y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 26 (2): 19-30.

http://www.mag.go.cr/rev_agr/v26n02_019.pdf

Arias T A A, M T Valverde V y J Reyes S (2000). Las plantas de la región de Zapotitlán, Salinas, Puebla. INE, 1-78.

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/335.pdf>

Ávila G, F Jiménez, J Beer, M Gómez y M Ibrahim (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería, en las Américas*, 8: 32-35.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6349s/x6349s00.pdf>

Ayala L C O y Pavón N P (2012). Capacidad de almacenamiento de agua en *Isolatocereus dumortieri* (Scheid.) Backeb. (Cactáceae) en el matorral crasicale de la Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. V Congreso Mexicano de Cactáceas y Suculentas. Juriquilla Querétaro, Noviembre 2012, 1-128.

http://www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cacsucmex/resumen_master_document.pdf

Cervantes R M C (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Anais do X encontro de geógrafos da América latina. Universidad de Sao Paulo, 3388-3407.

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Usoderecursos/08.pdf>

Correal C E, J Silva C, J Boza L y C Passera (1968). Valor nutritivo de cuatro arbustos forrajeros del genero *Atriplex*. Pastos, 16 (1): 25-40.

<http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1147/1167>

Echavarría C F G, A Serna P, F A Rubio A, A F Rumayor R y H Salinas G (2009). Productividad del chamizo *Atriplex canescens* con fines de reconversión: dos casos de estudio. Técnica Pecuaria en México, 47 (1):93-106.

<http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/200812225878.pdf>

Eguiarte L y E Scheinvar (2008). Agaves y cactáceas de Metztitlán: ecología, evolución y conservación. SEMARNAT-CONACYT C01-0246, 1-128.

Martínez R E (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. Anuario Jurídico y Economico Escuarialense, XXXVIII, 315-332.

García E (1998). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García) Cartografía: escala 1:1 000 000. México.

Guillén T A, M G Leyva R, J L Espinoza V y A Palacios E (2010). Estimación de la producción de forraje de *Atriplex barclayana* mediante ecuaciones de predicción. VII Simposio internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas, 637-638.

http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Ecologia%20Manejo%20Conservacion/Guillen_Trujillo.pdf

IPCC (1996). Chapter 5: Land Use Change & Forestry. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London, 3: 57.

IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

Ledesma M, C A Carranza y M Balzarini (2010). Estimación de la biomasa foliar de *Prosopis flexuosa* mediante relaciones alométricas. Agrocencia, 27 (2): 87- 96.

<http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v27n2/v27n2a04.pdf>

Ludwig J A, J F Reynolds y P D Witson (1975). Size- biomass relationship of several Chihuahuan Desert shrubs. Department of biology. New Mexico State University. The American Midland Naturalist, 94 (2): 451-461.

<http://www.jstor.org/discover/10.2307/2424437?uid=3739960&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&uid=3739256&sid=21101976439003>

Luo Y y H Mooney (1999). Carbon dioxide and enviromental stress. Academic press. California, USA, 418 p.

Macicior T I (2011). La biomasa forestal: retos y oportunidades. X Congreso Nacional del Medio Ambiente, 1-24.

<http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/40873.pdf>

Martínez M J, A Lázaro P, González D I (1993). Ecuaciones alométricas de tres variables: Estimación del volumen, crecimiento y porcentaje de corteza de las principales especies maderables españolas. Investigación agraria. Repositorio Español de Ciencia y Tecnología,2 (2): 211-228.

http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/ecuaciones-alometricas-tres-variables-estimacion-volumen-crecimiento-porcentaje-corteza-principales/id/51998925.html

Matuda E y I Piña L (1980). Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Libros de México. Distrito federal, México, 143 p.

Méndez G J, S L Luckie N, M A Capó A, J A Nájera L (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* lindl. y *P. pseudostrobus* lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 45: 479-491.

<http://scielo.unam.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a7.pdf>

Méndez G J, O A Turlan M, J C Ríos S y J A Nájera L (2012). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea de *Prosopis laevigata* (HUMB. & Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnst. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3 (13): 58-72.

<http://www.revistasinifap.org.mx/index.php/Forestales/article/view/2363/1968>

Meza S R (1997). Ecuaciones para estimar fitomasa de *Atriplex canescens*. *Ciencia Forestal en México*, 22 (81):27-40.

<https://intranet.inifap.gob.mx/infoteca/inifap/Forestal/Articulo1001.pdf>

Raev I ü A, y O Grozev (1997). Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria, en las últimas décadas. *In: XI Congreso Forestal Mundial*. Antalya, Turquía, 1-4.

<http://www.chacaltaya.edu.bo/downloads/bosques.pdf>

Romero-Paredes R J I y R G Ramírez L (2003). *Artipllex canescens* (Purch, Nutt), como fuente de alimento para las zonas áridas *Ciencia. UANL*, 6 (1): 85-92.

<http://eprints.uanl.mx/506/1/artipllexcanescens.pdf>

Ruíz A M, R Oliva G y J Ham T (1982). Ensayo de una metodología para elaborar una tabla de rendimiento de peso de hojas y peso de fibra seca de datilillo (*Yucca valida*). *Ciencia forestal*, 7:45-64.

<http://www.revistasinifap.org.mx/index.php/Forestales/article/view/1024>

Rzedowski J (1978). *Vegetación de México*. LIMUSA. México, D. F. México. 432 p.

Sharkey T D (1985). Photosynthesis in intact leaves of C₃ plants: physics, physiology and rate limitations. *Botanical Review*, 51: 53-105.

<http://link.springer.com/article/10.1007%2F02861058>

Ugalde A L A (1981). *Conceptos Básicos de Dasometría*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Programa de Recursos Naturales Renovables, Turrialba, Costa Rica, 1-23.

<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5909E/A5909E.PDF>

Valencia C M, J Gasto C, I R Nava C (1981). Época y frecuencia de utilización de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *Monografía Técnico-Científica*, 7 (1): 1-67.

Watson R T, H Rodhe, H Oeschegery U Siegenthaler U (1990). Greenhouse gases and aerosols. In *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment* (eds J.T. Houghton, G.I. Jenkins & J.J. Ephraums). Cambridge University Press, Cambridge, 1-40.