

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Relaciones Alométricas en Diez Especies de Clima Templado y Semiárido

Por:

JESÚS EMMANUEL PÉREZ DOMÍNGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Relaciones Alométricas en Diez Especies de Clima Templado y Semiárido

Por:

JESÚS EMMANUEL PÉREZ DOMINGUEZ

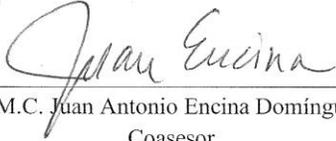
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

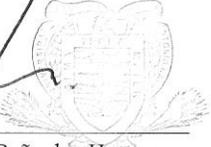
INGENIERO FORESTAL

Aprobada

Dr. Jorge Méndez González
Asesor Principal


M.C. Juan Antonio Encina Domínguez
Coasesor


M.C. Héctor Darío González López
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater

La “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” institución emblemática del campo Mexicano y orgullo popular, por abrirme sus puertas y permitirme pertenecer a su legado histórico como alumno en la carrera de Ingeniero Forestal, y formarme en valores éticos, profesionales y sentido social, a través de su personal.

Al Dr. Jorge Méndez González

Por creer en mí, compartir sus conocimientos, alentarme en la elaboración de mi proyecto de tesis, su disponibilidad y paciencia en mis continuos yerros. Por su amistad, comprensión y ejemplo de responsabilidad y compromiso inquebrantable. Muchas gracias.

Al M. C. Juan Antonio Encina Domínguez y al M. C. Héctor Darío González López

Por la disponibilidad en la revisión de este trabajo, así como sus valiosas aportaciones para el mejoramiento de mi proyecto de tesis. Además de su amistad y ejemplo de compromiso y actitud ante la vida. Muchas gracias.

Al C. José Lourdes López Sandoval

Y a su apreciable familia, por su amistad, hospitalidad y calidez humana expresada a mi persona, durante gran parte de mi estancia en la Cd. De Saltillo, Coahuila. Muchas gracias.

A mis compañeros

Mauricio Zárate, Isael Fernández, Hernán Sánchez, Néstor Hernández, Erick Santiago. Y a todos aquellos que me brindaron su amistad sincera durante mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mis padres

Por darme la vida.

C. María Asunción Domínguez Sánchez

En su ejemplo, en su constancia, en su fortaleza, en su sentido práctico de la vida, en su juicio y también en sus constantes y abrumadores sacrificios, he encontrado el mejor fundamento para seguir en el camino de la vida. En su amor incondicional de madre he tenido el privilegio de ser su hijo Este logro personal, se lo dedico en toda su extensión y con todo mi cariño.

A mis hermanos

Henry Christian Pérez Domínguez, Ericka Alejandra Pérez Domínguez y Andrés Gilberto Pérez Domínguez. Su cariño, fraternidad han sido indispensables en el transcurrir de la vida.

Al pueblo de los Estados Unidos Mexicanos

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Área de estudio.....	7
Generalidades de las especies	9
<i>Acacia constricta</i>	9
<i>Atriplex canescens</i>	9
<i>Pinus cembroides</i>	9
<i>Pinus greggii</i>	10
<i>Pinus halepensis</i>	10
<i>Pinus johannis</i>	11
<i>Pinus devoniana</i>	11
<i>Pinus pinceana</i>	11
<i>Pinus pseudostrobus</i>	12
<i>Yucca filifera</i>	12
Obtención de datos en campo	13
Análisis estadístico.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19

Características dasométricas	19
Relaciones Alométricas.....	21
Análisis Multivariado.....	29
CONCLUSIONES	35
LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características del medio físico de los sitios de muestreo utilizados en este estudio para extraer la información dasométrica por especie.	8
Cuadro 2. Características dendrométricas y variables medidas en diez especies de clima templado y semiárido de México.....	20
Cuadro 3. Ajuste del modelo alométrico linealizado en diez especies de clima templado y semiárido del noreste y centro de México. Se compara el tipo de crecimiento (alometría positiva, negativa o isometría) en cada relación alométrica establecida, de acuerdo al valor del parámetro b de regresión.	23
Cuadro 4. Resultados de la prueba-t sobre el parámetro b de regresión, en 15 relaciones alométricas para diez especies de clima templado y semiárido.....	26
Cuadro 5. Comportamiento del crecimiento relativo en las relaciones alométricas establecidas para diez especies de clima templado y semiárido.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de modelo alométrico ajustado para A) árboles y B) arbustos, se muestran las tendencias de las relaciones con los valores del parámetro b más alejados del valor de isomerismo, así como las relaciones detectadas como isomería (PVT en Pc y PVT en Aca). DB = diámetro basal (cm) (30 cm sobre el suelo); DC = diámetro de copa (m); NR = número de ramas (unidades); PVR = peso verde de ramas (kg); PVT = peso verde total (kg).....28

Figura 2. Diagramas de análisis multivariado por componentes principales para el diámetro basal (DB) (cm), diámetro de copa (DC) (cm), altura total (H) (m), volumen (VOL) (m^3), peso verde del fuste (PVF) (kg), peso verde de ramas (PVR) (kg), y peso verde total (PVT) (kg). CP1 = Componente principal uno; C2 = Componente principal; Aco = *Acacia constricta*; Aca = *Atriplex canescens*; Pc = *Pinus cembroides*; Pg = *Pinus greggii*; Ph = *Pinus halepensis*; Pj = *Pinus johannis*; Pm = *Pinus devoniana*; Pp = *Pinus pinceana*; Pps = *Pinus pseudostrobus*; Yf = *Yucca filifera*.33

RESUMEN

El tamaño de un organismo y sus variaciones es de suma relevancia, permite conocer, distinguir y clasificar la funcionalidad, diseño mecánico, y forma de crecimiento relativo de la totalidad o de alguna de las partes del organismo. El objetivo de este estudio es determinar el comportamiento del crecimiento relativo de distintas variables dendrométricas en 1 especies de clima templado y semiárido. La hipótesis que guía esta investigación señala que se espera alometría positiva en el comportamiento de crecimiento relativo de las variables dendrométricas comúnmente medidas en estudios forestales. Se establecieron relaciones alométricas en diez especies, en el Noreste y Centro de México, utilizando la ecuación alométrica linealizada [$\log(Y) = \log(a) + b \log(X)$]. El valor de la pendiente (b) determina el tipo de crecimiento relativo (si $b \neq 1$ existe crecimiento diferenciado). Para identificar isometría de crecimiento, los valores de la pendiente que oscilaron entre 0.5 y 1.5 fueron sometidos a la prueba T de Student (datos no apareados; una cola). Se identificó alometría negativa en 18 relaciones establecidas (H contra DB en *Aco*; DAP contra DB en *Pc*, *Pg*, y *Pd*; H contra DC en *Aco*, *Aca*, DAP contra DC en *Pc*, *Pg* y *Pj*; DAP contra H en *Pc*, *Pg*, *Ph*, *Pj*, *Pd*, *Pp*, *Pps* y *Yf*; DAP contra NR en *Pj*), alometría positiva en 15 relaciones alométricas (DAP contra PVF y DAP contra PVR en *Pg*, *Pd* y *Pps*; H contra PVT en *Aco*, DAP contra PVT en *Pg*, *Pd*, *Pps* y *Yf*; DAP contra VOL en *Ph*, *Pd*, *Pp* y *Pps*) e isometría en dos (H contra PVT en *Aca* y DAP contra PVT en *Pc*). Procurando identificar las fuentes de influencia del medio físico sobre el tipo de crecimiento relativo, se sometieron las relaciones alométricas a análisis multivariado por componentes principales clasificándolas por especie, y en relación a las variables climáticas (software InfoStat); de este análisis destaca *Pinus greggii* Engelm., en su demanda de agua expresada en correlación con la precipitación.

Palabras clave: Alometría, isometría, crecimiento relativo, análisis multivariado, *Pinus*, arbusto.

ABSTRACT

The size of an organism and its variations is extremely important, can learn to distinguish and sort functionality, mechanical design, shape and relative growth of the whole or any part of the body. The objective of this study is to determine the behavior of the relative growth in ten species of temperate and semi-arid climate. The hypothesis guiding this research shows for dasometric variables commonly measured in forestry studies presented in positive allometry relative growth. Allometric relationships were established in ten species in northeastern and central Mexico, using the linearized allometric equation $[\log (Y) = \log (a) + b \log (X)]$, using the SAS® 9 software. The value of the slope (b) determines the relative growth rate (if $b \neq 1$ there is differential growth). To identify growth allometry, the values of the slope were to ± 0.5 with respect to 1 were subjected to the Student t test. Negative allometry was identified in 18 established relationships, positive allometry in 15 allometric relations and isometry in two. Attempting to identify the sources of influence of the physical environment on the type of relative growth, allometric relationships multivariate principal component analysis, classified by species, were subjected , and in relation to climatic variables (software InfoStat) This analysis highlights *Pinus greggii*, by its strong negative correlation with precipitation sensitivity.

Keywords: Allometry, isometry, relative growth, multivariate analysis, *Pinus*, shrub.

INTRODUCCIÓN

El tamaño de un organismo es una de sus características más importante, y ha llamado la atención de científicos a lo largo de los años, debido a que a partir de su medida o magnitud –total, de alguna parte o del conjunto de partes– se logra conocer la forma del crecimiento y pautas de su funcionamiento, además permite describir y predecir las variaciones del cuerpo total del individuo (Niklas, 2004). A través de comparaciones del tamaño de una parte del cuerpo de un organismo contra su tamaño total se logra encontrar patrones en el crecimiento para esa parte del individuo (crecimiento relativo) y utilizando gráficas logarítmicas se logra explicar su comportamiento (Huxley, 1932). La alometría designa los cambios en las dimensiones relativas de las partes de un organismo correlacionados con los cambios en el tamaño general (Gayón, 2000).

La expresión de la ecuación alométrica ($Y = aX^b$; donde: Y es la magnitud del órgano diferencialmente creciente; X, el tamaño del cuerpo; b , la relación del crecimiento diferencial; a , la constante) se ha ajustado –principalmente en su forma logarítmica ($\log Y = \log a + b \log X$), ya que expresada de esta manera, cuando $b \neq 1$ existe crecimiento diferenciado– para estudiar el crecimiento relativo tanto en animales como en plantas, y sus aplicaciones abarcan un amplio panel de opciones en diferentes ramas y disciplinas de la biología, incluyendo las áreas evolucionistas (alometría como causa de diversidad biológica: fuente no adaptativa de cambio evolutivo, cuando ese cambio es una consecuencia mecánica del aumento de tamaño) (Gayon, 2000).

Dependiendo del valor que tome el parámetro b de la ecuación alométrica, es posible determinar si se presenta crecimiento diferenciado o no de las proporciones entre las distintas

partes del cuerpo del organismo, para ello se han identificado tres posibles casos: a) alometría positiva si $b > 1$, cuando la variable dependiente crece más de prisa; b) alometría negativa si $b < 1$, cuando la variable independiente es la que presenta el mayor ritmo de crecimiento; y c) isometría si $b = 1$, cuando ambas variables presentan la misma velocidad de crecimiento (Pérez *et al.*, 2009).

En el ámbito forestal, aprovechando las relaciones alométricas que existen en el desarrollo ontogénico de los árboles, por ejemplo entre altura y diámetro, entre altura de la copa y diámetro, entre biomasa y diámetro, la alometría se ha utilizado para evaluar cantidad de carbono, plasticidad, estimación y distribución de biomasa total o de alguno de sus componentes, así como para construir modelos de crecimiento (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007; Návar, 2010; Návar, 2011).

Por ende las relaciones alométricas son base fundamental en una multitud de estudios y líneas de investigación forestal, es importante conocer cómo se comportan estas relaciones en diferentes especies de ecosistemas y climas distintos (ver la compilaciones hechas por Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Ziannis y Mencuccini, 2004; Návar, 2008). En esta investigación el objetivo fue explorar las relaciones alométricas de diez especies (*Acacia constricta* Benth., *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus greggii* Englem., *Pinus halepensis* Miller., *Pinus johannis* Rob.-Pass., *Pinus michoacana* Martínez, *Pinus pinceana* Gordon, *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Yucca filifera* Chabaud), pertenecientes a diferentes asociaciones vegetales y regímenes climáticos (zonas templadas y semiáridas), tomando como variable independiente el diámetro a la altura del pecho en las especies arbóreas, y la altura total para el caso de las especies arbustivas. Además se determinó el comportamiento del crecimiento –tipo de alometría: positiva, negativa o isometría– para cada

variable dasométrica medida (altura, diámetro de la base, diámetro de copa, número de ramas, peso verde fuste, peso verde de ramas, peso verde total y volumen) y se correlacionó este comportamiento con variables del medio físico (altura sobre el nivel del mar, temperatura promedio anual, precipitación promedio anual y tipo de clima) procurando fuentes explicativas del comportamiento de cada relación alométrica establecida.

La hipótesis que guía este estudio señala que las relaciones alométricas de las variables dasométricas medidas (altura, diámetro de la base, diámetro de copa, número de ramas, peso verde fuste, peso verde de ramas, peso verde total y volumen), presentan alometría positiva, respecto de la variable independiente (diámetro a la altura del pecho para árboles y altura total para arbustos).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende cuatro localidades, tres en el norte de México (Arteaga, Coahuila; Saltillo, Coahuila; Mazapil, Zacatecas) y una en el centro del país (El Clarín, Jerécuaro, Guanajuato). Los datos de altura sobre el nivel del mar fueron tomados de INEGI (1990); temperatura de Vidal-Zepeda (1990^a) y precipitación de Vidal-Zepeda (1990^b); tipo de suelo de INIFAP-CONABIO (1995) y tipo de clima de García (1998) (Cuadro 1).

De las localidades en donde fueron establecidos los sitios de muestreo, tres corresponden a plantaciones forestales: El Clarín, Guanajuato; El Centro Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA) perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN); y la Reforestación también perteneciente a la UAAAN; mientras que en la localidad de Mazapil, Zacatecas las especies se distribuyen de forma natural.

Cuadro 1. Características del medio físico de los sitios de muestreo utilizados en este estudio para extraer la información dasométrica por especie.

Sitio	Especies	asnm	Tm	TM	Tp	PP	S	C
El Clarín, Gto	<i>Pd; Pps</i>	2850	9.1	26.3	15	700	Feozem háplico	C (w1)
Mazapil, Zac	<i>Aco; Aca; Pc; Pj; Pp; Yf</i>	2200	7.5	24.6	22	500	Litosol	BS1k (x')
UAAAN ¹	<i>Pg</i>	2230	7.1	23.4	14	262.5	Feozem calcárico	BS1k (x')
UAAAN ²	<i>Ph</i>	1820	11.2	25.6	20	262.5	Xerosol cálcico	Bsohw

UAAAN¹ (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro) = Instalaciones del CAESA (Centro Agrícola Experimental Sierra de Arteaga); UAAAN² = Reforestación; asnm = altura sobre el nivel del mar (m); Tm = Temperatura mínima (°C); TM = Temperatura máxima (°C); Tp = Temperatura promedio (°C); PP = Precipitación media anual (mm); S = Tipo de suelo; C = Tipo de clima; *Acacia constricta* Benth. (*Aco*); *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. (*Aca*); *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*); *Pinus greggii* Englem. (*Pg*); *Pinus halepensis* Miller. (*Ph*); *Pinus johannis* Rob.-Pass. (*Pj*); *Pinus devoniana* Lindley (*Pd*); *Pinus pinceana* Gordon (*Pp*); *Pinus pseudostrobus* Lindl. (*Pps*); *Yucca filifera* Chabaud (*Yf*).

Generalidades de las especies

Acacia constricta Benth, tiene una amplia distribución en el país, abarcando los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Estado de México, Guerrero, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas, y ocurre en un amplio rango de asociaciones vegetales apareciendo en los arbustos del desierto, matorral desértico, pastizales del desierto y comunidades ribereñas desérticas, puede llegar a medir hasta 6 m de alto y soporta un rango de altitud de 457 a 15024 msnm (Gucker, 2004).

Atriplex canescens Pursh, evoluciona rápidamente, presenta hibridación, poliploidía e introgresión comúnmente dentro del género; en México se distribuye en Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora y Zacatecas, se ha reportado desde el nivel del mar hasta los 2600 msnm, es altamente palatable y proporciona forraje nutritivo para toda clase de ganado, por ser perenne es especialmente valorada en temporada seca e invierno, es plantada alrededor del mundo para aumentar la producción de forraje en los pastizales áridos, así como para proyectos de restauración, principalmente mineros (Howard, 2003).

Pinus cembroides Zucc ocurre en gran parte de México: Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas, generalmente ocupa una zona de transición entre el semi-desierto y valles y bosques templados de coníferas de montaña, su rango altitudinal va de los 800 los 2800 msnm (Farjon, 2013a). La resina se utiliza para hacer macetas impermeables y cemento, canastas y en joyería; la semilla representa una fuente de

alimento y es cosechada y comercializada; es apto para establecerse con proyectos de reforestación en zonas áridas y semiáridas (Pavek, 1994).

Pinus greggii Engelm., es endémico de México, se distribuye en el suroeste de Coahuila, sur de Nuevo León, sureste de San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y el norte de Puebla, se encuentra en la categoría de Vulnerable de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUNC, por sus siglas en inglés) debido a la sobreexplotación forestal en donde se desarrolla, su población está en declive, ocurre en un rango altitudinal de 1300 a 2700 msnm (Farjon, 2013b). *P. greggii* Engelm. ecológicamente es de los componentes estructurales clave en las comunidades en las que crece, forma parte del dosel dominante y frecuentemente es el único representante del estrato arbóreo, además se aprovecha para la obtención de madera de aserrío, postes para cercas y leña (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

Pinus halepensis Miller, introducida en México y originario de la zona mediterránea de Europa, Asia y África, biológicamente es un árbol de 15 a 20 m de altura, puede llegar a medir más de 70 cm de diámetro normal, considerada de crecimiento rápido y a medida que se desarrolla lo hace de forma irregular (Bravo *et. al.*, 2004). Presenta una distribución altitudinal desde el nivel del mar hasta los 2,200 msnm, es capaz de adaptarse a cualquier clima y suelo; resistente a las sequías (soporta precipitaciones inferiores a los 300 mm anuales), y a altas temperaturas y heladas, por ello es usado para la fijación de dunas, en terrenos erosionados, aunque también presenta uso ornamental, confirmado con gran potencial para ser usado como cortina rompevientos (de corta altura) (Fady *et al.*, 2008)

Pinus johannis Rob.-Pass., en México está catalogada como sujeta a protección especial (NOM-059-SEMARNAT-2010), se distribuye a altitudes superiores a los 2500 msnm, de acuerdo con Perry (1991) lo describe como un arbusto de varios tallos, con alturas inferiores a los 4 m pero comúnmente de 2 o 3m, se desarrolla dentro de la zonas áridas donde presenta un clima seco templado, puede encontrarse en la sierra madre oriental y occidental. Por sus características es considerada una especie rustica, pero que presenta interés ornamental, de utilidad en las reforestaciones para revertir los efectos de la erosión (Robert, 1978).

Pinus devoniana Lindley, se extiende desde Guatemala hasta el centro de México, presentándose en climas semicálidos, desde los 1,500 a 2,500 metros, frecuentemente suele asociarse con encinares de las partes bajas de la Sierra Madre Occidental, los bosques que forman son más bien secos (Martínez, 1948). Alturas promedio de 20 a 30 m y diámetros de 60 a 100 cm, presenta un fuste rectilíneo, puede crecer en suelos fértiles como pobres, pero con mayor desarrollo en suelos profundos, de las especies que tiene resistencia a los incendios, se puede asociar con especies como *Pinus pringlei*, *Pinus montezumae*, *Pinus lawsoni*, *Pinus tenuifolia*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus leiophylla* (Musalem y Sánchez, 2003).

Pinus pinceana Gordon, conífera endémica de México, localizable en las entidades de Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo dentro de las asociaciones vegetales de Bosque de Pino con Matorral Desértico principalmente, con requerimientos ambientales que van desde los 1,500 a 2,600 msnm sin ser estrictamente una limitante. Es una especie arbórea que puede llegar a alcanzar 10 m de altura, en virtud de que existen factores que inciden negativamente en la viabilidad de sus poblaciones, se encuentra dentro de la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2011 bajo protección especial, partiendo de los efectos de perturbaciones

antropogénicas y naturales. A pesar de ser una especie limitada en capacidad productiva aporta varios tipos de materiales y servicios ambientales impactando decisivamente en la sobrevivencia de poblados rurales (Villareal, 2009).

Pinus pseudostrobus Lindl., originario de México, Guatemala y Honduras, con asociaciones vegetales de bosque de coníferas, bosque de pino-quercus, su rango de elevaciones va desde 1900 a 3000 m (Farjon y Styles, 1997). Las alturas promedio suelen ser de 30 a 40 m, ocasionalmente hasta 45 m, con diámetros de 40 a 80 cm, con fuste recto, libre de ramas de 30 a 50% de su altura total. Característico de ser una especie versátil, forma masas puras extensas o se asocia con otras especies, cuando suceden las asociaciones en las partes bajas con frecuencia es dominante y a medida que asciende su distribución tiende a ser más escaso (López-Upton, 2002). La arquitectura del árbol está relacionada con el crecimiento y la asignación relativa de los recursos a diferentes órganos de la planta (Alves y Santos, 2002).

Yucca filifera Chabaud, popularmente conocida como Palma china, nativa de México. Esta especie presenta una amplia distribución dentro de las zonas áridas, ubicadas en la zona norte y centro de México, concentrándose las mayores poblaciones en Nuevo León, sur de Coahuila, norte de San Luis Potosí y oriente de Zacatecas (Nava *et al.*, 1980). Puede presentar alturas desde los 2 hasta más de 10 metros, tiene un desarrollo lento, sus frutos y flores tiene uso comestible, así como alimento para el ganado, de sus usos relevantes actualmente es como materia prima en la industria farmacéutica para la fabricación de hormonas.

Obtención de datos en campo

Siguiendo la metodología descrita por Díaz et al. (2007) y Návar (2011), utilizando muestreo destructivo se seleccionaron los individuos a derribar para obtener las variables que incluyen peso [peso verde de fuste (PVF), peso verde de ramas (PVR) y peso verde total (PVT)]: las especies arbóreas sin deformidades ni enfermedades y las arbustivas bien conformadas, procurando abarcar todas las categorías diamétricas presentes en los predios. Previo al derribo de los árboles y los arbustos se tomaron los datos de las variables diámetro a la altura del pecho (DAP; a 1.30 m sobre el suelo) y diámetro de la base (DB; a 0.20 m sobre el suelo) con ayuda de cinta diamétrica; una vez derribados se midió la altura total (H) con cinta métrica de 30 m en las especies con fuste, y flexómetro de 8 m de longitud para las especies arbustivas; el diámetro de copa (DC) se determinó usando cinta métrica de 30 m de longitud.

Una vez obtenidas las medidas dendrométricas de los individuos de las especies arbóreas, se procedió a separarlos en componentes de biomasa: fuste y ramas. Los fustes de los árboles fueron seccionados en trozas de 2.55 m, siendo las últimas de 1.25 m según las medidas comerciales aceptadas. Utilizando una báscula romana con capacidad de 120 kg, cada troza se pesó en fresco para determinar el PVF (sumatoria de los pesos de cada troza), PVR (todas las ramas juntas) y el PVT (sumatoria de PVF + PVR). La biomasa de las especies arbustivas se pesó sin seccionarse. En el caso de *Aco*, *Aca*, *Pc* y *Yf* sólo se determinó el peso verde total (PVT). Todos los pesos de los componentes de biomasa verde se obtuvieron en el sitio de derribo. El número de ramas (NR) para *Pinus johannis* (*Pj*) se determinó mediante cuenta directa en cada individuo.

La estimación del volumen del fuste (VOL) para *Ph*, *Pd*, *Pp*, y *Pps*, se realizó por troza, utilizando la fórmula de Smalian, la cual viene dada de la siguiente forma:

$$V = (S_1 + S_2 / 2) * L$$

Donde V - volumen (m³); S₁ - diámetro de la sección inicial (m); S₂ - diámetro de la sección final (m); y L la longitud de la troza (m). De esta forma el volumen total es la sumatoria del volumen de cada troza del fuste. Para el caso de *Pp*, se utilizó troceo simulado para estimar el volumen de cada árbol.

Análisis estadístico

Para determinar las relaciones alométricas se seleccionó el modelo alométrico (1) en su forma logarítmica o lineal (2) para determinar el tipo de crecimiento de las variables dasométricas de cada especie. Se optó por esta ecuación debido a que es la más frecuentemente usada, y porque provee un buen balance entre la exactitud de predicciones y el número de datos que requiere, además que utiliza variables comunes y fácilmente medibles en estudios forestales (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Basuki, 2009).

$$Y = aX^b \quad (1)$$

$$\log(Y) = \log(a) + b\log(X) \quad (2)$$

En la ecuación alométrica (1) la variable dependiente (Y) representa la medida de la parte del cuerpo (en longitud o masa) de interés (Para *Aco*: DB en cm, DC en cm, y PVT en kg; para *Aca*: DC en cm y PVT en kg; para *Pc*: DB en cm, DC en cm, H en m y PVT en kg; para *Pg*: DB en cm, DC en cm, H en m, PVF en kg, PVR en kg y PVT en kg; para *Ph*: H en m

y VOL en m³; para *Pj*: DC en cm, H en m y NR en unidades; para *Pd*: DB en cm, H en m, PVF en kg, PVR en kg, PVT en kg y VOL en m³; para *Pp*: H en m y VOL m³; para *Pps*: H en m, PVF en kg, PVR en kg, PVT en kg y VOL en m³ y para *Yf*: H en m y PVT en kg), y la variable independiente (X) es una medida comparable de fácil medición (en longitud o masa) (Para *Aco*: H en m; para *Aca*: H en m; para *Pc*: DAP en cm; para *Pg*: DAP en cm; para *Ph*: DAP en cm; para *Pj*: DAP en cm; para *Pd*: DAP en cm; para *Pp*: DAP en cm; para *Pps*: DAP en cm y para *Yf*: DAP en cm), en tanto *a* y *b* son parámetros estadísticos (Niklas, 2004). En su forma logarítmica (2) los parámetros *a* y *b* representan la ordenada al origen y la pendiente del modelo de regresión, respectivamente, para cada una de las especies (Acosta-Mireles *et al.* 2002). El parámetro *b* establece la relación de la tasa de crecimiento de Y respecto de X, para un determinado intervalo de tiempo (Niklas, 2004).

Utilizando el Sistema SAS para Windows versión 9 (procedimiento “REG”) se ajustó la ecuación alométrica linealizada, comparándose todas las variables dependientes contra la independiente según el caso en cada especie. Así se establecieron relaciones alométricas a un conjunto de 400 árboles (*Pc* 30 individuos, *Pg* 200 individuos, *Ph* 19 individuos, *Pj* 40 individuos, *Pd* 20 individuos, *Pp* 40 individuos, *Pps* 20 individuos, *Yf* 31 individuos) y 101 arbustos (*Aco* 50 individuos, *Aca* 51 individuos).

Ocaña y Fernández (2011) mencionan que el tipo de crecimiento se determina según el valor del parámetro *b*, existe alometría positiva cuando $b > 1$, al tener la variable dependiente una tasa de crecimiento relativa mayor; alometría negativa cuando $b < 1$, si la variable independiente es la que presenta la mayor velocidad de crecimiento; y si $b = 1$, se presenta isomerismo (isometría) e indica que ambas variables crecen a un ritmo proporcional. Estos autores aplican una prueba T de Student (datos no apareados, una cola) sobre el parámetro *b*

para establecer diferencias (nivel de significancia de 95 %) e identificar el tipo de crecimiento; con esta misma finalidad en este estudio se aplicó la prueba T de Student (datos no apareados; una cola) a aquellas relaciones alométricas en donde el valor del parámetro b osciló entre 0.5 a 1.5.

Siguiendo lo propuesto por Ocaña y Fernández (2011) y utilizando el Sistema SAS 9 para Windows (procedimientos “REG” y “SURVEY SELECT” con el método “SRS”) fueron creados ocho grupos aleatorios con repetición para aquellas relaciones alométricas cuyo parámetro b de regresión estuviera dentro del rango de 0.5 a 1.5. Los grupos se construyeron de tal forma que el primero constó de un tamaño de muestra del 30 % de las observaciones, el segundo del 40 % y así progresivamente hasta completar la totalidad de las observaciones, de esta manera se crearon ocho grupos por cada relación alométrica (H contra DC y H contra PVT en *Aca*; H contra DB en *Aco*; DAP contra DC y DAP contra PVT en *Pc*; DAP contra DB en *Pd*, DAP contra DB, DAP contra DC y DAP contra H en *Pg*; DAP contra H en *Ph*, DAP contra DC y DAP contra NR en *Pj*; DAP contra H en *Pp*; DAP contra H en *Yf*). El modelo alométrico linealizado fue probado en cada grupo creado, generándose ocho parámetros b de regresión, estos valores del parámetro b obtenidos fueron sometidos a una Prueba T de Student –utilizando el complemento para Microsoft Excel “EZAnalyze”– a fin de establecer diferencia de la unidad (valor de isomerismo). Si el contraste es significativo al 95 % denota alguna forma de alometría, que se identifica según el valor que adopte el parámetro b (mayor de uno: alometría positiva, menor de uno: alometría negativa); por el contrario si la prueba arroja que la diferencia es no significativa al 95 %, sugiere crecimiento isométrico.

Las variables del medio físico que fueron definidas para cada sitio de muestreo (altura sobre el nivel del mar, temperatura media anual, precipitación media anual, tipo de clima) se

utilizaron en análisis multivariado por componentes principales, buscando fuentes explicativas abióticas que pudieran estar incidiendo sobre el patrón de crecimiento –tipo de alometría: positiva, negativa o isometría– de las variables dasométricas medidas (altura, diámetro de la base, diámetro de copa, número de ramas, peso verde fuste, peso verde de ramas, peso verde total y volumen) en cada una de las especies.

La estadística multivariada sirve para describir y analizar observaciones multidimensionales obtenidas al relevar información sobre varias variables para cada una de las unidades o casos en estudio (Di Rienzo *et al.*, 2008). Los factores que inciden en el tipo de crecimiento (valor del parámetro b) pueden ser evidenciados mediante un análisis multivariado que agrupe por variable dependiente, las especies en función de los posibles factores explicativos del comportamiento del crecimiento.

El análisis de componentes principales permite analizar la interdependencia de variables métricas y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos de una tabla de n observaciones y p columnas o variables, este análisis trata de encontrar, con pérdida mínima de información, un nuevo conjunto de variables (componentes principales) no correlacionadas que expliquen la estructura de variación en las filas de la tabla de datos (Di Rienzo *et al.*, 2008). Recurriendo al software estadístico InfoStat, se ejecutó un análisis multivariado por componentes principales; la clasificación aplicada fue por especie. Las gráficas obtenidas fueron re-procesadas mediante el software SigmaPlot 11.

En las gráficas resultantes del análisis multivariado se exhibe la similitud en el tipo de crecimiento (alometría positiva, negativa o isometría) entre especies cuando se presenta algún grado de agrupamiento entre especies. Este agrupamiento se manifiesta para cada variable

medida (diámetro de la base, diámetro de copa, altura total, peso verde del fuste, peso verde de ramas, peso verde total, volumen) y al mismo tiempo, estando sometidos los parámetros del medio físico al análisis multivariado, es posible identificar las variables abióticas que pudieran estar interviniendo mediante correlación significativa, ya sea positiva o negativa, para que se de ese tipo de crecimiento. La variable dendrométrica número de ramas no fue considerada por aparecer en una sola especie (*Pinus johannis*), por lo que un análisis multivariado carece de sentido.

La interpretación puntual de las gráficas de análisis por componentes principales se da a través de los cuadrantes generados en cada gráfica. De forma general se tiene que en cada cuadrante, los puntos espaciales que se encuentren próximos o muy próximos entre sí se encuentran en correlación estrecha y positiva. La correlación negativa se da entre los cuadrantes que se encuentran opuestos por el vértice u origen (cuadrante A y cuadrante opuesto A'); y el grado de correlación o asociación se expresa cuando se prolonga la recta para cualquier punto (z) del cuadrante A en dirección opuesta (hacia el cuadrante A') y esta prolongación de la recta sitúa el punto espacial (z) próximo o muy próximo a un punto cualquiera del cuadrante A'.

En cada gráfica (una gráfica para cada variable dendrométrica), para cada cuadrante y cuadrantes opuestos se busca identificar asociaciones entre especies (similitud en el tipo de crecimiento para la variable dendrométrica regente de la gráfica: alometría positiva, negativa o isometría); y entre especies y las variables climáticas (influencia en forma de correlación positiva o negativa de una o más variables climáticas sobre el tipo de crecimiento de la variable dendrométrica regente de la gráfica, para una o más especies).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dasométricas

Dado que la base de datos ocupada para realizar este trabajo es un agregado de estudios independientes, las variables a medir difieren entre las especies, conformando una mezcla heterogénea. El diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles va desde los 3 cm (*Pg*) a los 93 cm (*Yf*); y la altura (H) varió de 1.40 m (*Yf*) a 12.67 m (*Pps*). En los arbustos la altura (H) varía de 0.45 m (*Aca*) a 5.6 m (*Aco*) (Cuadro 2). Este rango de las variables (DAP y H) en las muestras representan imparcialmente las comunidades vegetales de las plantaciones forestales bajo estudio; sin embargo es posible que existan árboles y arbustos de mayor o menor tamaño, pero no se detectaron en los sitios de muestreo. Esta circunstancia restringe la validez de las relaciones alométricas al rango de variación incluido en las variables dasométricas medidas.

Las especies cuyas variables dasométricas medidas provienen de plantaciones forestales, guardan parecido en H promedio entre localidades: para *Pg* (CAESA-UAAAN) y *Ph* (Reforestación UAAAN) es similar (6.84 m y 6.76 m, respectivamente), mientras que *Pd* presenta 8.12 m de altura promedio y *Pps* 9.81 m. Con respecto al PVT la de mayor cantidad de biomasa es *Yf* (780.00 kg) y en las especies arbustivas es *Aca* (15.05 kg) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características dendrométricas y variables medidas en diez especies de clima templado y semiárido de México.

Sp	Variables medidas								
	DAP	DB	DC	H	NR	PVF	PVR	PVT	VOL
	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}	M;m \bar{x}
<i>Aco</i> (n = 50)		7.40; 1.00 2.72	2.00; 0.50 0.99	5.60; 1.20 3.56*				15.05; 0.26 1.98	
<i>Aca</i> (n = 51)			2.60; 0.54 1.20	1.50; 0.450 0.89*				10.58; 0.55 2.76	
<i>Pc</i> (n = 30)	29.00; 4.00 10.90*	32.00; 9.40 14.97	5.90; 1.66 3.02	5.36; 2.02 2.97				460.00; 20.00 63.60	
<i>Pg</i> (n = 200)	18.70; 3.00 9.74*	28.00; 5.00 13.89	4.95; 0.90 2.34	10.90; 3.46 6.84		165.00; 4.00 34.12	93.00; 2.00 22.05	258.00; 6.00 56.16	
<i>Ph</i> (n = 19)	22.00; 5.00 11.18*			9.70; 3.74 6.76					0.13; 0.01 0.04
<i>Pj</i> (n = 40)	40.00; 7.00 19.08*		7.60; 2.00 3.96	4.00; 1.50 2.83	38;5 16				
<i>Pd</i> (n = 20)	23.00; 13.00 18.33*	27.00; 15.00 22.7		10.00; 5.62 8.12		130.00; 30.60 74.41	126.70; 16.00 56.75	212.95; 47.00 131.16	0.14; 0.04 0.09
<i>Pp</i> (n = 40)	35.00; 6.50 16.88*			7.80; 2.40 4.79					0.66; 0.01 0.13
<i>Pps</i> (n = 20)	27.00; 14.50 18.73*			12.67; 7.44 9.81		250.80; 49.10 107.43	283.50; 29.68 86.26	534.30; 82.98 193.69	0.24; 0.05 0.11
<i>Yf</i> (n = 31)	93.00; 10.00 24.0*			11.00; 1.40 3.73				780.00; 8.00 112.48	

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); DB = diámetro de la base (cm) (30 cm sobre el suelo); DC = diámetro de copa (m); H = altura total (m); NR = número de ramas (unidad); PVF = peso verde del fuste (kg); PVR = peso verde de ramas (kg); PVT = peso verde total (kg); VOL = volumen (m³); n = tamaño de muestra; M = valor máximo; m = valor mínimo; \bar{x} = valor promedio; *Variable independiente; *Aco* = *Acacia constricta*; *Aca* = *Atriplex canescens*; *Pc* = *Pinus cembroides*; *Pg* = *Pinus greggii*; *Ph* = *Pinus halepensis*; *Pj* = *Pinus johannis*; *Pd* = *Pinus devoniana*; *Pp* = *Pinus pinceana*; *Pps* = *Pinus pseudostrabus*; *Yf* = *Yucca filifera*.

Relaciones Alométricas

La ecuación alométrica linealizada ($\log Y = \log a + b \log X$) fue probada en total 35 ocasiones, para diez especies: *Acacia constricta* Benth. (*Aco*), *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. (*Aca*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pc*), *Pinus greggii* Englem. (*Pg*), *Pinus halepensis* Miller. (*Ph*), *Pinus johannis* Rob.-Pass. (*Pj*), *Pinus devoniana* Lindley (*Pd*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pp*), *Pinus pseudostrobus* Lindl. (*Pps*) y *Yucca filifera* Chabaud (*Yf*) con un total de ocho variables dependientes examinadas [altura (H), diámetro de la base (DB), diámetro de copa (DC), peso verde de fuste (PVF), número de ramas (NR), peso verde de ramas (PVR), peso verde total (PVT) y volumen (VOL)]. Los resultados del ajuste de la ecuación alométrica linealizada a los datos se muestran en el Cuadro 3.

Los valores de R^2 , resultantes del ajuste de la ecuación alométrica en su forma linealizada, varían desde los que tienen baja fuerza de ajuste (aunque sean todavía significativos) inferiores a 0.5 (*Aco* en H contra DC con 0.228 y H contra PVT con 0.417; *Aca* en H contra PVT con 0.130 y H contra DC con 0.480; *Pc* en DAP contra H con 0.380 y DAP contra DC con 0.480; *Pd* en DAP contra H con 0.180 y *Pps* en DAP contra H con 0.400); la falta de ajuste de las especies arbustivas (*Aca* y *Aco*) y las arbóreas (*Pd* y *Pps*) demuestra debilidad en la relación lineal entre la variable independiente (H en arbustivas y DAP en árboles) y las variables respuesta y no necesariamente independencia entre ambas; no obstante Alves y Santos (2002) reportan valores de coeficientes de determinación bajos (0.29 en *Swartzia simplex*; 0.11 en *Chrysophyllum flexuosum*) para la relación alométrica entre DAP y H; así como entre DC y H (0.30 *Sloanea guianensis*; 0.43 en *Swartzia simplex*). Los valores bajos obtenidos en el coeficiente de determinación, están probablemente explicados por la influencia de la calidad del sitio (ya que si se estudian las relaciones alométricas de los

individuos creciendo en una misma calidad de sitio se optimiza la homogeneización de las variables dendrométricas a medir) y la densidad de individuos por rodal (a través del Índice de Densidad del Rodal) (Arias, 2004).

También se presentaron relaciones alométricas con fuerza de ajuste moderado entre 0.5 y 0.7 de R^2 (P_c en DAP contra DB con 0.54 y DAP contra PVT con 0.57; P_d en DAP contra PVR con 0.54; P_j en DAP contra H con 0.56 y DAP contra NR con 0.57; P_p en DAP contra H con 0.61 y Y_f en DAP contra H con 0.67), y alta fuerza de ajuste para las relaciones alométricas restantes ($R^2 > 0.70$). Los resultados de R^2 son similares a los obtenidos por Arias (2004) y Osunkoya *et al.*, (2007) en árboles tropicales.

Alometría e isometría

De acuerdo al valor que adquirió el parámetro b de regresión, se determinó que en 18 relaciones alométricas existe alometría negativa, al adoptar el parámetro b valores inferiores a uno (H contra DB en Aco ; DAP contra DB en P_c , P_g , y P_d ; H contra DC en Aco , Aca , DAP contra DC en P_c , P_g y P_j ; DAP contra H en P_c , P_g , Ph , P_j , P_d , P_p , Pps y Y_f ; DAP contra NR en P_j) y en 15 pruebas alometría positiva dado que su valor es superior a la unidad (DAP contra PVF y DAP contra PVR en P_g , P_d y Pps ; H contra PVT en Aco , DAP contra PVT en P_g , P_d , Pps y Y_f ; DAP contra VOL en Ph , P_d , P_p y Pps). Los valores que toma el parámetro b en las relaciones establecidas son interesantes, cuenta de ello dan, por un lado Cheng y Nikklas (2007) que reportan para 98 especies de once tipos de vegetación heterogeneidad parcial en las pendientes de regresión de biomasa aérea contra biomasa subterránea a nivel de bosque (valor promedio del parámetro b de 1.02 ± 0.02) como de biomasa de tallo contra biomasa subterránea a nivel individual (valor promedio del parámetro b de 1.08 ± 0.03);

mientras que en un mismo tipo de vegetación Coomes y Grubb (1998) señalan no encontrar diferencias significativas en las pendientes de regresión de grosor de tallo contra altura total, de árboles jóvenes de doce especies, creciendo bajo condiciones de claros y sotobosque.

La prueba T de Student indicó que en dos relaciones alométricas existe crecimiento isométrico, para H contra PVT en *Aca* y DAP contra PVT en *Pc*, con valores de la pendiente de regresión de 0.822 y 1.152 respectivamente, ya que no se encontró diferencia estadísticamente significativa al 95% entre el valor del parámetro b y la unidad (valor de isomerismo) (Cuadro 5). Las implicaciones de esta relación en el crecimiento relativo de la biomasa total habrían de analizarse más a profundidad, para conocer el alcance de esta isometría. Estudiando el isomerismo, Cheng y Nikklas (2007) demostraron la presencia de tasas de crecimiento relativo isométrico (valor promedio del parámetro b de 1.08 ± 0.03 para árboles individuales) entre biomasa aérea y biomasa de raíces, para 98 especies en 11 tipos de vegetación; sin embargo no contemplan especies de zonas semiáridas, por lo tanto sería recomendable establecer relaciones alométricas exhaustivas a nivel intraespecífico y determinar si el isomerismo encontrado para el PVT (contra H en *Aco* y contra DAP en *Pc*) en este estudio es consistente con la teoría alométrica. No obstante, en ecosistemas semiáridos, diversos autores (Návar, 2010; Suganuma *et al.*, 2012; Conti *et al.*, 2013) reportan valores de la pendiente de la ecuación alométrica cercanas a la unidad, pero sin elementos que demuestren diferencias estadísticas significativas del valor de isometría.

Cuadro 3. Ajuste del modelo alométrico linealizado en diez especies de clima templado y semiárido del noreste y centro de México. Se compara el tipo de crecimiento (alometría positiva, negativa o isometría) en cada relación alométrica establecida, de acuerdo al valor del parámetro b de regresión.

Especie	Y	a	b	R ²	P	C
<i>Acacia constricta</i> (n = 50); VI = H	DB	-0.241	0.921	0.39	**	-
	DC	-0.527	0.392	0.23	**	-
	PVT	-1.957	1.788	0.42	**	+
<i>Atriplex canescens</i> (n = 51); VI = H	DC	0.247	0.751	0.48	**	-
	PVT	0.876	0.822	0.13	**	i
<i>P. cembroides</i> (n = 30); VI = DAP	DB	1.659	0.440	0.54	**	-
	DC	0.143	0.404	0.48	**	-
	H	0.336	0.316	0.38	**	-
	PVT	1.201	1.152	0.57	**	i
<i>P. greggii</i> (n = 200); VI = DAP	DB	0.623	0.882	0.89	**	-
	DC	-0.953	0.789	0.74	**	-
	H	0.695	0.543	0.71	**	-
	PVF	-1.507	2.136	0.88	**	+
	PVR	-1.512	1.954	0.78	**	+
	PVT	-0.823	2.062	0.87	**	+
<i>P. halepensis</i> (n = 19); VI = DAP	H	0.542	0.572	0.74	**	-
	VOL	-7.099	1.606	0.88	**	+
<i>P. johannis</i> (n = 40); VI = DAP	DC	0.453	0.623	0.73	**	-
	H	0.270	0.447	0.56	**	-
	NR	0.181	0.872	0.57	**	-
<i>P. devoniana</i> (n = 20); VI = DAP	DB	0.756	0.813	0.75	**	-
	H	1.232	0.295	0.18	*	-

Especie	Y	a	b	R ²	P	C
	PVF	-1.860	2.106	0.89	**	+
	PVR	-2.071	2.071	0.54	**	+
	PVT	-1.173	2.063	0.80	**	+
	VOL	-8.449	2.046	0.85	**	+
<i>P. pinceana</i>	H	0.086	0.524	0.61	**	-
(n = 40) ; VI = DAP	VOL	-7.980	2.037	0.82	**	+
	H	1.177	0.378	0.40	**	-
<i>P. pseudoastrobus</i>	PVF	-2.576	2.449	0.86	**	+
(n = 20) ; VI = DAP	PVR	-4.024	2.842	0.73	**	+
	PVT	-2.525	2.625	0.84	**	+
	VOL	-9.249	2.372	0.93	**	+
<i>Yucca filifera</i>	H	-1.241	0.802	0.67	**	-
(n = 31) ; VI = DAP	PVT	-2.465	2.141	0.81	**	+

Dónde: n = tamaño de muestra; VI = variable independiente; Y = variable dependiente; DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); DB = diámetro de la base (cm) (30 cm sobre el suelo); DC = diámetro de copa (m); H = altura total (m); NR = número de ramas (unidades); PVF = peso verde del fuste (kg); PVR = peso verde de ramas (kg); PVT = peso verde total (kg); VOL = volumen (m³); P = nivel de significancia; ** = altamente significativo (< 0.001); * = significativo (≥ 0.001); C = Tipo de crecimiento: alometría positiva (+), negativa (-) o isometría (i).

En el Cuadro 3, se evidencia que en las especies de clima semiárido (*Aca*, *Aco*, *Pc* y *Yf*) los mayores valores del parámetro *b* corresponden al PVT (1.788, 0.822, 1.152 y 2.141,

respectivamente) estos resultados indican mayor velocidad de crecimiento relativo en el PVT que en el DAP en árboles y H en arbustos; mientras que los valores menores del parámetro b aparecen para el DC en *Aco* (0.342) y *Aca* (0.751) y para la H en *Pc* (0.316) y *Yf* (0.802). Por su parte, en las especies de clima templado destaca que todas presentaron el menor valor del parámetro b para la altura total (0.543 en *Pg*, 0.572 en *Ph*, 0.447 en *Pj*, 0.295 en *Pd*, 0.524 en *Pp* y 0.378 en *Pps*), lo que indica que el crecimiento en altura presenta una tasa más baja en relación con el crecimiento en diámetro; en tanto que los valores más altos del parámetro b fueron en DAP contra PVF para *Pg* (2.136), DAP contra PVF en *Pd* (2.106), DAP contra VOL para *Ph* (1.606), DAP contra VOL en *Pp* (2.037), DAP contra PVR para *Pps* (2.372) y DAP contra NR para *Pj* (0.872). Estudios de estimación de biomasa aérea han determinado valores del parámetro b entre 2.15 a 2.45 para en especies de bosque mesófilo de montaña y bosque de encino (Acosta-Mireles *et al.*, 2002); y entre 2.142 a 2.339 para especies en un bosque de dipterocarpaceas (Basuki, 2009).

Cuadro 4. Resultados de la prueba-t sobre el parámetro b de regresión, en 15 relaciones alométricas para diez especies de clima templado y semiárido.

Especie	X	Y	\bar{b}	t-score	$\bar{b} \neq 1$
<i>Aca</i>	H	DC	0.705	4.308	S
		PVT	0.854	2.201	n
<i>Aco</i>	H	DB	0.925	2.436	s
<i>Pc</i>	DAP	DC	0.393	16.489	s
		PVT	1.035	0.285	n
<i>Pd</i>	DAP	DB	0.814	9.696	s
		H	0.549	86.539	s
<i>Pg</i>	DAP	DC	0.786	9.924	s
		DB	0.879	21.877	s

Especie	X	Y	\bar{b}	t-score	$\bar{b} \neq 1$
<i>Ph</i>	DAP	H	0.554	14.305	s
<i>Pj</i>	DAP	DC	0.634	58.901	s
		NR	0.866	5.684	s
<i>Pp</i>	DAP	H	0.549	12.879	s
<i>Yf</i>	DAP	H	0.801	8.622	s

Dónde: X = variable independiente; Y = variable dependiente; \bar{b} = promedio de los valores de la pendiente de regresión, obtenido de ocho grupos aleatorios (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 % de las observaciones) en cada relación alométrica establecida; t-score = puntuación t; “ $\bar{b} \neq 1$ ” = resultado de la prueba-t, indica igualdad (n) o desigualdad (s) entre \bar{b} y uno al 95 %; DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); H = altura total (m); DB = diámetro de la base (cm) (30 cm sobre el suelo); DC = diámetro de copa (cm); NR = número de ramas (unidad); PVT = peso verde total (kg); *Aco* = *Acacia constricta*; *Aca* = *Atriplex canescens*; *Pc* = *Pinus cembroides*; *Pg* = *Pinus greggii*; *Ph* = *Pinus halepensis*; *Pj* = *Pinus johannis*; *Pd* = *Pinus devoniana*; *Pp* = *Pinus pinceana*; *Pps* = *Pinus pseudostrabus*; *Yf* = *Yucca filifera*.

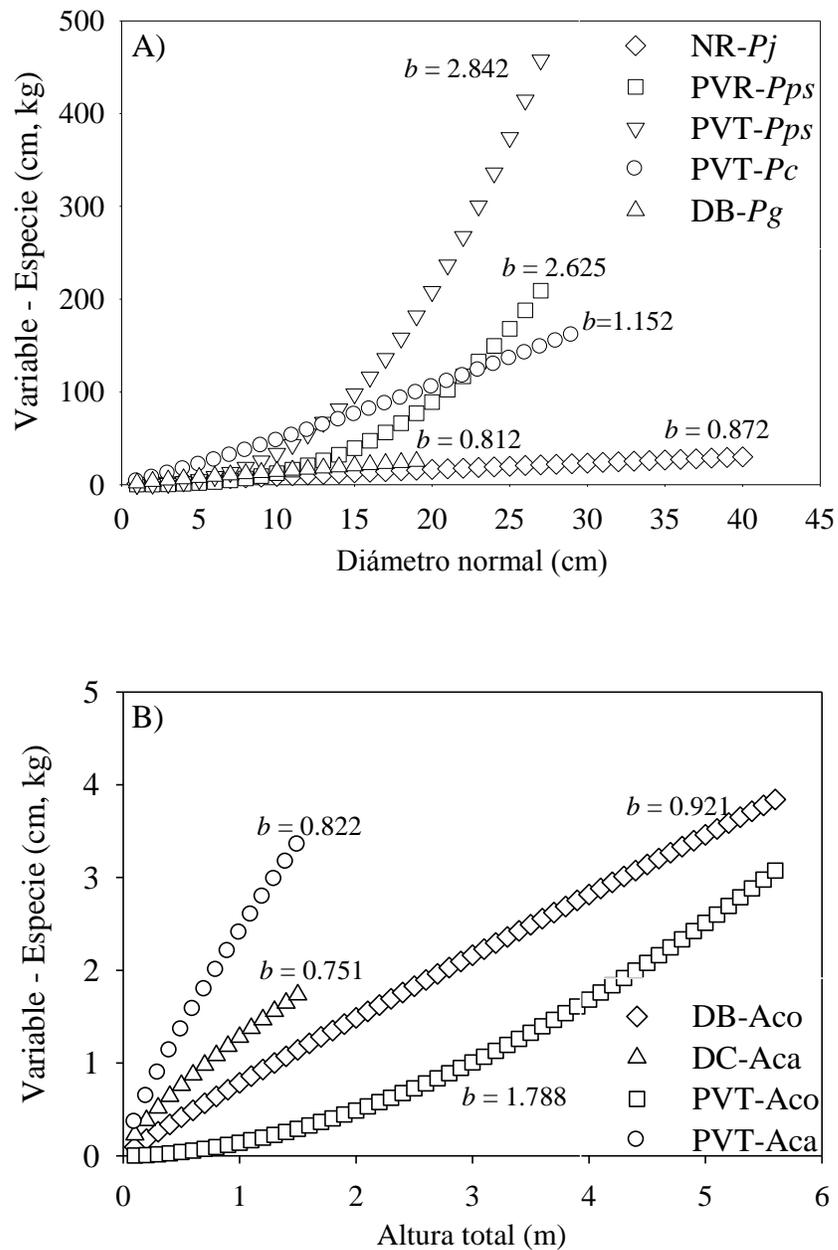


Figura 1. Curvas de modelo alométrico ajustado para A) árboles y B) arbustos, se muestran las tendencias de las relaciones con los valores del parámetro b más alejados del valor de isomerismo, así como las relaciones detectadas como isomería (PVT en *Pc* y PVT en *Aca*).

DB = diámetro basal (cm) (30 cm sobre el suelo); DC = diámetro de copa (m); NR = número de ramas (unidades); PVR = peso verde de ramas (kg); PVT = peso verde total (kg).

Análisis Multivariado

El Análisis por Componentes Principales (ACP) explica completamente las fuentes de variación en el caso del peso verde de fuste (PVF) apareciendo Componente Principal 1 (CP1) 76.4 % + Componente Principal 2 (CP2) 23.6 % = 100 %; en peso verde de ramas (PVR) es 81.4 % (CP1) + 18.6 % (CP2) = 100 %. Mientras que el ACP explica adecuadamente la variación en el volumen (VOL) siendo (CP1 = 69.4 %) + (CP2 = 23.3 %) = 92.7 %; para la altura total (H) es (CP1 = 65.0 %) + (CP2 = 17.8 %) = 82.8%; para el peso verde total (PVT) es (CP1 = 61.9 %) + (CP2 = 20.6 %) = 82.5 %. Los porcentajes de explicación más bajos son para el diámetro de copa (DC) con (CP1 = 59.5 %) + (CP2 = 18.6 %) = 78.1 y para el diámetro basal (DB) con (CP1 = 44.4 %) + (CP2 = 30.5 %) = 74.9 % (Figura 2).

Del análisis gráfico multivariado (Figura 2) se reconocen las agrupaciones de *Pinus greggii* (Pg) con *Pinus halepensis* (Ph) exponiendo semejanza en el crecimiento en altura (H), influenciado este crecimiento, en una correlación estrecha y negativa, por la precipitación (P); también se agrupan *Pinus pinceana* (Pp) con *Pinus johannis* (Pj) con *Yucca filifera* (Yf) demostrando similitud respecto al crecimiento en H, para esta agrupación aparece el clima (C), en correlación negativa, como variable climática de influencia. Para los incrementos en peso verde total (PVT) se agrupa *Pinus pseudostrobus* (Pps) con *Pinus devoniana* (Pd), correlacionándose positivamente con la altura sobre el nivel del mar (asnm); mientras que *Pinus cembroides* (Pc) se asocia con *Acacia constricta* (Aco) y con *Atriplex canescens* (Aca)

demostrando parecido en el comportamiento del incremento en PVT, y asociación positiva con la temperatura (T) y negativa con el parámetro b de regresión.

En la Figura 2 se plasman asociaciones individuales (sin agrupamiento) entre especies y variables climáticas y/o el parámetro b de regresión. Destacan: en crecimiento de diámetro basal (DB) *Pinus devoniana* (Pd) en correlación estrecha y positiva con la altura sobre el nivel del mar (asnm), implica que aumentando la asnm el crecimiento en DB también aumentará, esto puede significar una pauta de manejo en plantaciones forestales, al momento de elegir la mejor ubicación para la plantación; en el diámetro de copa (DC) *Pinus greggii* (Pg) muestra correlación estrecha y positiva con la asmn y simultáneamente negativa con la precipitación (P), estas relaciones indican que *Pinus greggii* (Pg) desarrolla una mejor copa en ambientes de altitud elevada y poca precipitación. Por su parte *Acacia constricta* (Aco) en diámetro de copa (DC) se correlaciona fuerte y negativamente con el parámetro b de regresión, esta relación implica que el tamaño de la copa está influenciado por la alometría del crecimiento. Para la altura (H) aparece *Pinus greggii* (Pg) en fuerte correlación negativa con la precipitación, esto supone que el exceso de lluvia inhibe el crecimiento de *Pinus greggii* (Pg) en H. En volumen (VOL) sobresale *Pinus halepensis* (Ph) que presenta estrecha correlación negativa con el parámetro b de regresión, esto implica que en tanto los valores de b se mantengan bajos (alometría negativa) el volumen se tenderá a incrementarse; igualmente para el volumen aparece *Pinus pinceana* (Pp) en correlación positiva con la temperatura (T) y negativa con el clima (C), esta relación muestra que *Pinus pinceana* (Pp) tiene mejor crecimiento en ambientes cálidos. Respecto al peso verde del fuste (PVF), en asociación positiva con el parámetro b aparece *Pinus pseudostrobus* (Pps), manifestando alometría positiva en el crecimiento relativo del peso verde del fuste. En lo que concierne al peso verde total (PVT)

aparece *Pinus greggii* (*Pg*) en correlación negativa con la precipitación (P), esta asociación exhibe que *Pg* cuando joven, depende en gran medida de la disponibilidad de agua para su desarrollo, disminuyendo este requerimiento a medida que avanza en su desarrollo ontogenético (Figura 2).

De las asociaciones con las variables climáticas destaca notablemente *Pinus greggii*, por número de apariciones, debido a las correlaciones negativas que manifiesta con la altura, diámetro de copa y peso verde total. Esta correlación negativa demuestra que *Pinus greggii* es una especie que a edades tempranas presenta alto requerimiento de humedad para alcanzar óptimo desarrollo, disminuyendo este requerimiento con la edad de los individuos.

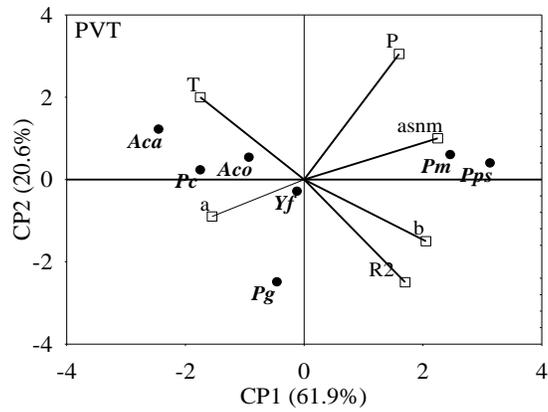
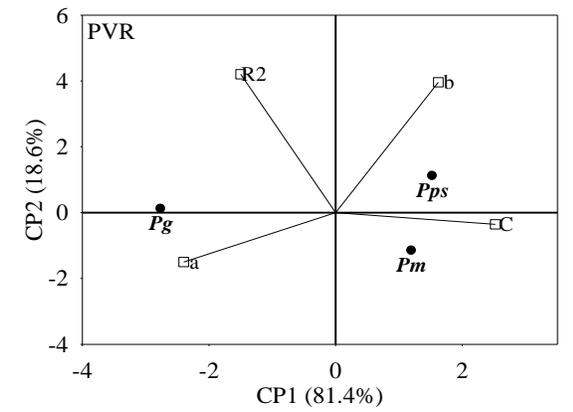
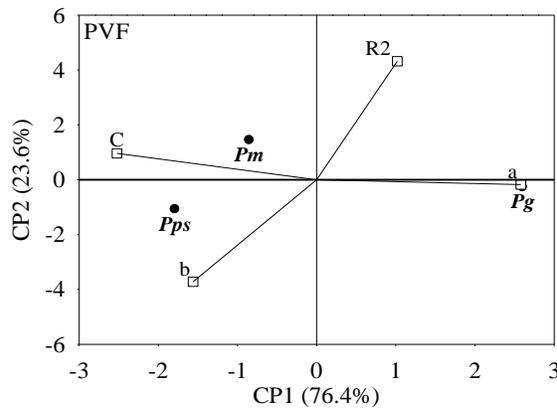
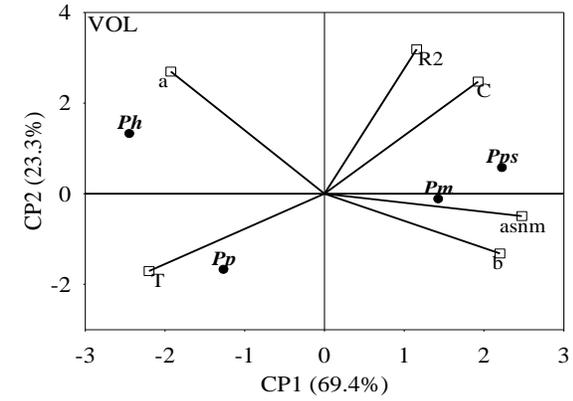
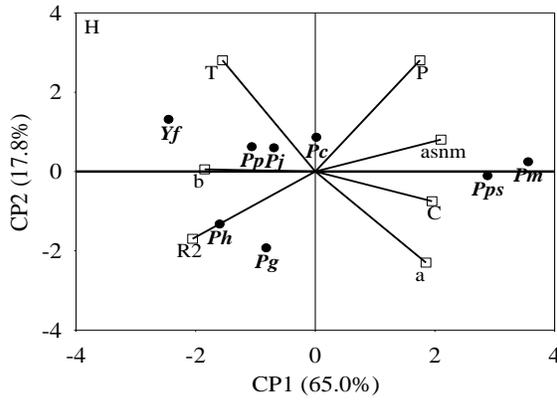
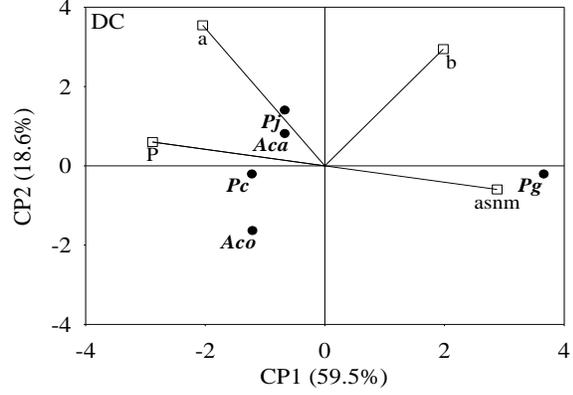
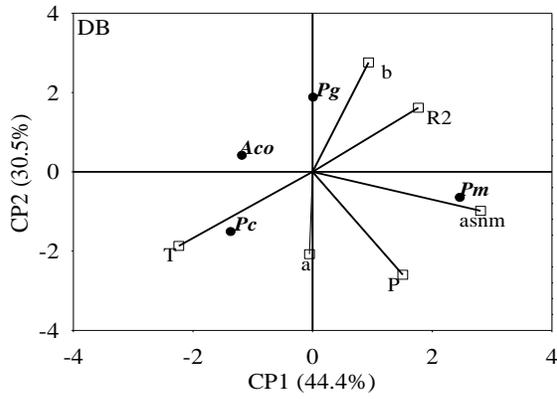


Figura 2. Diagramas de análisis multivariado por componentes principales para el diámetro basal (DB) (cm), diámetro de copa (DC) (cm), altura total (H) (m), volumen (VOL) (m³), peso verde del fuste (PVF) (kg), peso verde de ramas (PVR) (kg), y peso verde total (PVT) (kg). CPI = Componente principal uno; C2 = Componente principal; Aco = *Acacia constricta*; Aca = *Atriplex canescens*; Pc = *Pinus cembroides*; Pg = *Pinus greggii*; Ph = *Pinus halepensis*; Pj = *Pinus johannis*; Pm = *Pinus devoniana*; Pp = *Pinus pinceana*; Pps = *Pinus pseudostrobus*; Yf = *Yucca filifera*.

De acuerdo al valor del parámetro *b*, sobresale que las variables DB, DC, H, NR presentaron alometría negativa, mientras que las variables PVF, PVR, PVT, VOL presentaron alometría positiva (Cuadro 5). Esta tendencia se repite en árboles (diámetro a la altura del pecho como variable independiente) y arbustos (altura total como variable independiente). Esta particularidad indica que las variables con alometría negativa (DB, DC, H, NR) presentan tasas de crecimiento relativo más bajas que la variable independiente (DAP en árboles; H en arbustos); en tanto que las variables con alometría positiva están sujetas a tasas de crecimiento más elevadas que la variable independiente (DAP para árboles; H para arbustos). Estos resultados sugieren que no existe una diferencia suficientemente marcada en cuando al comportamiento del crecimiento de las variables dasométricas medidas entre las especies de clima templado y las de clima semiárido.

Cuadro 5. Comportamiento del crecimiento relativo en las relaciones alométricas establecidas para diez especies de clima templado y semiárido.

Especie	Variables de estudio							
	DB	DC	H	NR	PVF	PVR	PVT	VOL
<i>Aco</i>	(-)	(-) (- <i>b</i>)	SD	SD	SD	SD	(+) (+T) (- <i>b</i>)	SD
<i>Aca</i>	SD	(-)	SD	SD	SD	SD	(i) (+T) (- <i>b</i>)	SD
<i>Pc</i>	(-)	(-)	(-)	SD	SD	SD	(i) (+T) (- <i>b</i>)	SD
<i>Pg</i>	(-)	(-) (+asnm) (-P)	(-) (-P)	SD	(+) (+ <i>a</i>)	(+) (-C)	(+) (-P)	SD
<i>Ph</i>	SD	SD	(-) (-P) (+R ²)	SD	SD	SD	SD	(+) (+ <i>a</i>) (- <i>b</i>)
<i>Pj</i>	SD	(-)	(-) (-C)	(-)	SD	SD	SD	SD
<i>Pd</i>	(-) (+asnm)	SD	(-)	SD	(+)	(+) (-R ²)	(+) (+asnm)	(+)
<i>Pp</i>	SD	SD	(-) (-C)	SD	SD	SD	SD	(+) (+T) (-C)
<i>Pps</i>	SD	SD	(-)	SD	(+) (+ <i>b</i>)	(+)	(+) (+asnm)	(+) (-T)
<i>Yf</i>	SD	SD	(-) (-C)	SD	SD	SD	(+)	SD

Las líneas indican asociación en el patrón de crecimiento, entre especies y para esa variable; (-) = Alometría negativa; (+) = Alometría positiva; (i) = isometría; (+ “Variable”), Correlación positiva con la variable indicada; (- “Variable”), Correlación negativa con la variable indicada; SD, Sin Datos. Dónde: DB = diámetro de la base (cm) (30 cm sobre el suelo); DC = diámetro de copa (m); H = altura total (m); NR = número de ramas (unidad); PVF = peso verde del fuste (kg); PVR = peso verde de ramas (kg); PVT = peso verde total (kg); VOL = volumen (m³); *Aco* = *Acacia constricta*; *Aca* = *Atriplex canescens*; *Pc* = *Pinus cembroides*; *Pg* = *P. greggii*; *Ph* = *P. halepensis*; *Pj* = *P. johannis*; *Pd* = *P. devoniana*; *Pp* = *P. pinceana*; *Pps* = *P. pseudostrobus*; *Yf* = *Yucca filifera*; asnm = altura sobre el nivel del mar (m); P = precipitación media anual (mm); R² = coeficiente de determinación; C = clima; *a* = parámetro de regresión; *b* = pendiente de la regresión;

CONCLUSIONES

Para las variables altura, diámetro de la base, diámetro de la copa y número de ramas en todas las especies presentaron alometría negativa, sin importar la variable independiente utilizada ni si es árbol o arbusto; mientras que para las variables de peso verde del fuste, peso verde de ramas, peso verde total y volumen muestran alometría positiva. La naturaleza de estas expresiones en el crecimiento diferenciado, muestra que el comportamiento del crecimiento de las variables dendrométricas es similar entre las especies de clima templado y las de clima semiárido.

El ajuste de la ecuación alométrica a los datos observados varió, desde bajo con valores del coeficiente de determinación (R^2) de 0.13 para *Atriplex canescens* en altura total contra el peso verde total, hasta bueno con $R^2 = 0.93$ para la relación alométrica de diámetro a la altura del pecho contra el volumen en *Pinus pseudostrobus*. Las especies cuyos valores de R^2 son menores están dentro de las de clima semiárido (*Acacia constricta* con valores de R^2 entre 0.23 a 0.42; *Atriplex canescens* con valores R^2 de 0.13 y 0.48 y *Pinus cembroides* con valores de R^2 entre 0.38 y 0.57). Por el lado de las especies de clima templado *Pinus greggii* (R^2 entre 0.71 y 0.89), *Pinus halepensis* (R^2 de 0.74 y 0.88) y *Pinus pseudostrobus* (R^2 entre 0.73 y 0.93) son las que mejor ajuste presentan frente a la ecuación alométrica. Las variables dendrométricas que mejor se correlacionan son el volumen (R^2 de 0.82 a 0.93) y el peso verde del fuste (R^2 de 0.86 a 0.89); mientras que la altura total (R^2 de 0.18 a 0.74) y el diámetro de copa (R^2 de 0.23 a 0.74) son las variables que menos se correlacionan.

De las relaciones alométricas establecidas, la menor alometría positiva se encontró en *Pinus halepensis* para la relación alométrica del diámetro a la altura del pecho contra el

volumen ($b = 1.606$; $R^2 = 0.88$; $P < 0.0001$), y la mayor en *Pinus pseudostrobus* en la relación alométrica del diámetro a la altura del pecho contra el peso verde de ramas ($b = 2.842$; $R^2 = 0.73$; $P < 0.0001$). En cuanto a alometría negativa, la menor corresponde a *Pinus devoniana* en la relación del diámetro a la altura del pecho contra la altura total ($b = 0.295$; $R^2 = 0.18$; $P > 0.0001$), y la mayor a *Acacia constricta* para la relación alométrica entre la altura y el diámetro basal ($b = 0.921$; $R^2 = 0.39$; $P < 0.0001$).

Las especies de clima semiárido (*Acacia constricta*, *Atriplex canescens* y *Pinus cembroides*) presentaron los valores más altos del parámetro b de regresión en la misma variable dependiente (peso verde total); en tanto que las especies de clima templado coinciden en la altura para los valores más bajos de la pendiente de regresión.

Del análisis por componentes principales, de acuerdo a la forma de crecimiento en altura total relacionada con el diámetro a la altura del pecho, presentan semejanza *Pinus greggii* ($b = 0.543$) y *Pinus halepensis* ($b = 0.572$) y también para la altura total en relación a la altura del pecho se asocian *Pinus pinceana* ($b = 0.524$) con *Pinus johannis* ($b = 0.447$) con *Yucca filifera* ($b = 0.802$). En cuanto al crecimiento relativo en peso verde total aparecen agrupaciones entre *Pinus pseudostrobus* ($b = 2.625$) y *Pinus devoniana* ($b = 2.063$) de las especies de clima templado, y *Pinus cembroides* ($b = 1.152$) con *Acacia constricta* ($b = 1.788$) con *Atriplex canescens* ($b = 0.822$) de las especies de clima semiárido.

El parámetro b de regresión influencia (correlación negativa) a la asociación de *Pinus cembroides*, *Acacia constricta* y *Atriplex canescens* respecto al peso verde total; a *Pinus halepensis* (correlación negativa) respecto al volumen y a *Pinus pseudostrobus* (correlación positiva) respecto al peso verde del fuste.

La precipitación es la variable climática que afecta el crecimiento diferenciado, al correlacionarse en cuatro relaciones alométricas (correlación negativa para la asociación de *Pinus greggii* y *Pinus halepensis* con la altura total; correlación negativa para la relación entre *Pinus greggii* y el diámetro de copa; correlación negativa para la relación entre *Pinus greggii* y el peso verde total). *Pinus greggii* demostró alto requerimiento de agua a edades tempranas, que disminuye con el desarrollo ontogénico (plasmado en las correlaciones negativas de las variables diámetro de copa, altura total y peso verde total con la precipitación para *Pinus greggii*).

LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles M., J. Vargas. H., A. Velázquez M. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 36 (6): 725 - 736.
- Alves F. L., and F. A. M. Santos. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology*. 18: 245 - 260.
- Arias A. D. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la zona sur de Costa Rica. *Kurú Revista Forestal (Costa Rica)*. 1(2): 1 - 11.
- Basuki T.M., P.E. van Lake., A.K. Skidmore., Y.A. Hussin. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in lowland *Dipterocarp* forests. *Forest Ecology and Management*. 257: 1684 - 1694.
- Bravo-Oviedo A, del Río M, Montero G 2004. Site index curves and growth model for Mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Spain. *For. Ecol. Manage.* 201: 187 -197.
- Cheng D., and K. J. Nikklas. 2007. Above- and below-ground biomass relationship across 1534 forested communities. *Annals of Botany*. 99: 95 -102.
- Conti G., L. Enrico., y F. Casanoves. 2013. Shrub biomass estimation in the semiarid Chaco forest: a contribution to the quantification of an underrated carbon stock. *Annals of Forest Science*. 70(5): 515 - 524.

- Coomes D.A., and P.J. Grubb. 1998. A comparison of 12 tree species of amazonian caatinga using growth rates in gaps and understory, and allometric relationships. *Functional Ecology*. 12: 426 - 435.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Diaz-Franco R., M. Acosta-Mireles., F. Carrillo- Anzures., E. Buendía- Rodríguez., E. Flores- Ayala., y J.D. Etchevers- Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Echl. et Cham. *Madera y Bosques*. 13 (1): 25 - 34.
- Farjon A. 2013a. *Pinus cembroides*. En: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Disponible en <www.iucnredlist.org>. Fecha de consulta: 04 Noviembre 2013.
- Farjon A. 2013b. *Pinus greggii*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. <www.iucnredlist.org>. Fecha de consulta: 04 Noviembre 2013.
- Farjon A., and B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotrópica*. Monograph 75. New York Botanical Garden, N. Y. 291 p.
- Gayon J. 2000. History of the concept of allometry. *American Zoologist*. 40: 748-758.
- Gucker C. L. 2004. *Acacia constricta*. In: *Fire Effects Information System*, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire

Sciences Laboratory (Producer). Disponible en: <http://www.fs.fed.us/database/feis/>

Fecha de consulta: 03 Noviembre 2013.

Howard Janet L. 2003. *Atriplex canescens*. In: Fire Effects Information System, [Online]. U.S.

Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire

Sciences Laboratory (Producer). Disponible en: <http://www.fs.fed.us/database/feis/>

Fecha de consulta: 03 Noviembre 2013.

Huxley S. J. 1932. Problems of relative growth. Methuen & CO. LTD. London, Great Britain.

276: 4-11.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Lugo-Hupb J., Vidal

Zepeda, R., Fernández-Equiarte, A., Gallegos-García, A., Zavala-H, J. y otros,

(1990). 'Hipsometría'. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de

México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión

Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995).

'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México.

López-Upton J. 2002. *Pinus pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo, J. A.(ed). Tropical Tree. Seed

Manual. United States Department of Agriculture. Forest Service. USA. pp: 636-637.

Martínez M. 1948. Los Pinos Mexicanos. Ediciones Botas. 2ª Edición. México. 367 p.

Nava R., R. de Luna, R. Reynaga y R. García (1980). Ecocultivo de *Yucca filifera* en las zonas

áridas de México. Serie El Desierto. Vol 3.

- Návar J. 2008. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals Forest Science*. 66(2): 1 - 21.
- Návar J. 2011. Plasticity of biomass component allocation patterns in semiarid Tamaulipan thornscrub and dry temperate pine species of northeastern México. *Polibotánica*. 31: 121 - 141.
- Návar-Chaidez J., F. de J. Rodríguez-Flores., P.A. Domínguez-Calleros. 2013. Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana*. 24(2): 347 - 356.
- Návar-Cháidez J.J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 507 - 519.
- Niklas K.J. 2004. Plant allometry: is there a grand unifying theory? *Biological Reviews*. 79: 871 - 889.
- Ocaña F. A., y A. Fernández. 2011. Morfometría de la concha de *Donax denticulatus* y *Donax striatus* de dos playas de Cuba Oriental. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*. 3: 65 - 75.
- Osunkoya O. O., K. Omar-Ali., N. Amit., J. Dayan., D.S. Daud., T. K. Sheng. 2007. Comparative height-crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *American Journal of Botany*. 94(12): 1951 - 1962.
- Pavek Diane S. 1994. *Pinus cembroides*. In: Fire Effects Information System, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire

Sciences Laboratory (Producer). Disponible en: <http://www.fs.fed.us/database/feis/>

Fecha de consulta: 03 Noviembre 2013.

Pérez Z., J., J. A. Díaz, y A. García M. 2009. Modelos adaptativos en zoología (Manual de prácticas) 2. Tamaño, forma y alometría. *Reduca (Biología)*, Serie Zoología 2 (2): 20 - 30.

Perry Jesse P. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Portland, OR: Timber Press.

Robert M. F. 1978. Un nouveau pin pignon mexicain: *Pinus johannis* M. Robert. *Adasonia*, ser. 2, 18(3): 365. Paris.

Suganuma H., K. Kawada., A. Smaout., K. Suzuki., H. Isoda., T. Kojima., and Y. Abe. 2012. Allometric equations and biomass amount of representative tunisian arid land shrubs for estimating baseline. *Journal of Arid Land Studies*. 22: 219 - 222.

Ter-Mikaelian M.T., and M.D. Korzukhin. 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*. 97: 1 - 24.

Vidal-Zepeda R. (1990a), 'Precipitación media anual' en Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Vidal-Zepeda R. (1990b). 'Temperatura media anual'. Extraído de Temperatura media, IV.4.4. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Villarreal, Q.J.A., O. Mares A., E. Cornejo O. y M.A. Capó A. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta botánica Mexicana* 89:87-124.

Zianis D., and M. Mencuccini. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass.
Forest Ecology and Resource Management. 187: 311 - 332.