

CARACTERISTICAS DIMENSIONALES Y MODELOS PARA ESTIMAR PRODUCCION DE VAINA EN *Prosopis glandulosa* var. Torr., EN UNA REGIÓN DE MEXICALI B.C. MEXICO

DIMENSIONAL CHARACTERISTICS AND MODELS TO ESTIMATE *Prosopis glandulosa* var. Torr. POD PRODUCTION IN A MEXICALI, B.C. MEXICO REGION

J. Méndez González¹, A. Santos Méndez², J. A. Nájera Luna³

¹Profesor Investigador del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 173 de Nuevo Ideal, Dgo., Tel. 677 87 30484. Correo electrónico; jmendezg@hotmail.com. ² Prestador de Servicios Técnicos Forestales, Mexicali B.C.N., ³ Profesor Investigador del Instituto Tecnológico del Salto, P.N. Dgo.

RESUMEN. El mezquite, es una especie abundante característica de las zonas áridas y semiáridas, con importancia ecológica indiscutible. Recientemente, en el Noroeste de México, se ha dado gran importancia al aprovechamiento de vaina de *Prosopis* spp., especialmente para la elaboración de harinas; creando la necesidad de conocer y estimar su producción. El objetivo de la investigación fue generar modelos para estimar la producción de frutos en *Prosopis glandulosa* var. Torr., para lo cual se monitorearon un total de 30 árboles por un período de doce meses. En un año normal, un árbol mediano produce mas de 15 kg•año⁻¹, mientras que un árbol de 8 metros de altura, produce cerca de 25 kg•año⁻¹. El diámetro a la base y altura de fuste limpio, fueron las variables que mas explican la producción de vaina en esta especie. Modelos lineales y no lineales para estimar producción de vaina, son reportados en esta investigación.

PALABRAS CLAVE: Regresión, prosopis, vaina, harina, Mexicali.

SUMMARY. Mezquite, is an abundant plant species characteristic of the arid and semi-arid zones, with unquestionable ecological importance. Lately the use of *Prosopis* spp. has increased in Northwest Mexico, in particular to produce seed pods meal, creating the need to know the yield of pods in this genus. The objective of the present investigation was to generate models to estimate the production of fruits in *Prosopis glandulosa* var. Torr., for which a total of 30 trees were evaluated for a period of twelve months. In a normal year, a medium tree produces more than 15 kg•year⁻¹, whereas a tree of 8 meters of height, produces near 25 kg•year⁻¹. The diameter to the base and height of clean stem, were the variables that better explain the production of pods in this species. Linear and nonlinear models to predict pods production are reported in this research.

KEY WORDS: Regression, prosopis, pods, meal, Mexicali.

INTRODUCCION

El árbol de mezquite (*Prosopis* spp.) es nativo de las zonas áridas y semiáridas, su nombre proviene de la palabra azteca "misquitl", en México es conocido por los nombres de "guisache," "chucata", "tziritzequa" y "algarroba". El mezquite en particular es adaptable a condiciones de extrema aridez y de altura sobre el nivel del mar. Debido al mínimo requerimiento de agua, el

mezquite reviste gran importancia en las zonas áridas y semiáridas, las cuales en México están representadas por el 40% del territorio; es decir, 56 y 23 millones de km² respectivamente (López *et al.*, 2006). La importancia ecológica de *Prosopis* spp., es indiscutible; mejora la fertilidad del suelo, fijadora de N, actúa como planta nodriza de aves y roedores (Golubov *et al.*, 2001). La madera es usada como leña y carbón (Rodríguez y Maldonado, 1996) así como para la elaboración de

muebles y artesanías, sus hojas y vainas se usan para el consumo forrajero (Felker, 1981). La goma o chúcata es utilizada para la fabricación de pegamento; en otros países, se usa en la industria alimenticia, farmacéutica, textil, cosmética y vinícola (López *et al.*, 2006). El fruto es una legumbre comestible y muy nutritiva. En Perú, la vaina de mezquite ha sido usada para obtener harinas integrales, jarabe, sustituto de café y proteína (Becker y Grosjean, 1980; Estévez *et al.*, 2004). En algunos lugares de México el fruto y la goma se usan como alimento, ya que producen una harina rica en hidratos de carbono, proteínas y fibras naturales (López *et al.*, 2006).

En Noroeste de México, se ha incrementado el interés por el aprovechamiento de vaina de mezquite. En la región de Mexicali, los poseedores de áreas de mezquite, se han enfocado a la producción de harina para elaboración de pan y galletas, para consumo propio y comercialización. Esto ha dado énfasis a conocer los rendimientos y producción de mezquite, sin embargo, la falta de herramientas que permitan hacer estimaciones de la producción de vaina de este género, restringe su aprovechamiento y por ende, su diversificación. Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de la presente investigación fue generar modelos para estimar la producción de fruto de *Prosopis glandulosa* var. torr., en una región del Municipio de Mexicali, B.C., para contribuir con herramientas que sirvan de base a los programas de manejo y sobre todo a coadyuvar y aportar

conocimientos para generar alternativas de aprovechamiento integral de *Prosopis* spp.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del estudio

El área de estudio se encuentra aproximadamente a 50 km al Sureste de la Ciudad de Mexicali, dentro las coordenadas 32° 00' 51.8" y 32° 03' 37" Latitud Norte y 114° 59' 27" y 115° 01' 19" Longitud Oeste. Según García (1998) el clima de esta región se clasifica como BW(h')(x'), muy árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, precipitación registrada en los rangos de 0 a 125 mm anuales. Los suelos son del tipo Vertisol Crómico y Solonchak Órtico, de textura fina y comúnmente salinos (SEMARNAP, 1998). La flora existente es la llamada Vegetación "Xerófila", correspondiente a la típica vegetación semidesértica, con dominancia de *Larrea tridentata* y *Flourensia cernua* (CONABIO, 1999).

Arboles a muestrear

Para la realización de la presente investigación, se seleccionaron 30 árboles de *Prosopis glandulosa* var. Torr., según los siguientes criterios: 1) Estructura dimensional en varias categorías de diámetro y altura; 2) Libres de competencia específica e interespecífica y 3) Libres de defectos, plagas y enfermedades. Se procuró proteger cada árbol seleccionado con cercos artificiales con la finalidad de que la producción de vaina

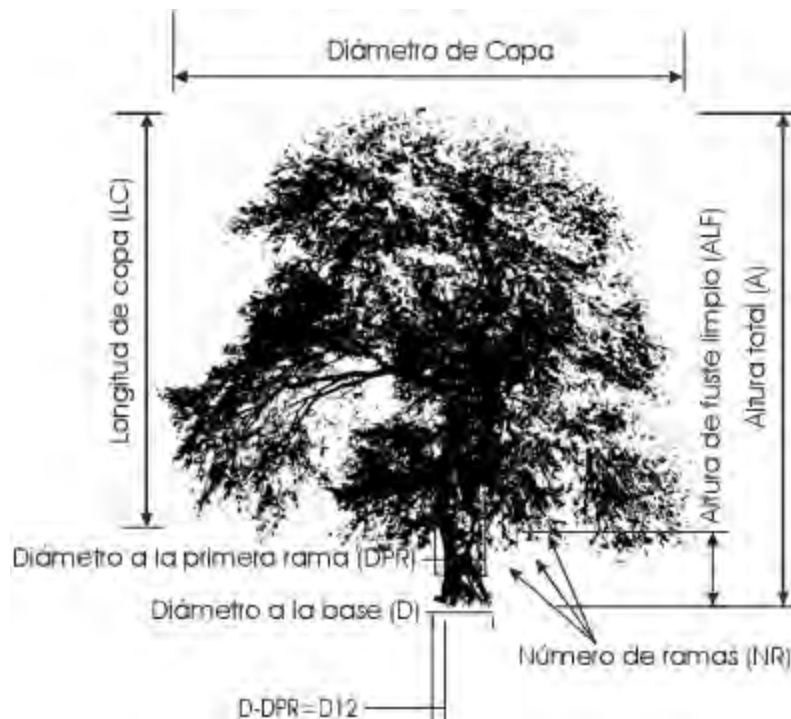


Figura 1. Variables de *Prosopis glandulosa* incluidas en la generación de modelos.

no se viera afectada por el consumo del ganado local. Se llevaron a cabo registros fenológicos de forma periódica, para conocer el tiempo de producción y colecta de la vaina de cada árbol.

Producción de frutos

La producción total de vaina por árbol (vainas caídas) se obtuvo al final del periodo natural de caída de frutos, indicado también según la fenología de la especie. Usando bolsas y sacos de plástico, los frutos caídos se colectaron y se transportaron a instalaciones particulares para secarse naturalmente al sol por un periodo de una semana. Posteriormente con ayuda de básculas de 5 y 10.0 kg de capacidad, se obtuvo la masa total de la producción total de vaina de cada árbol muestreado. Los datos se validaron y se prepararon para realizar los análisis estadísticos correspondientes.

Variables consideradas

Con ayuda de clinómetros, cintas métricas y diámétricas, se obtuvieron las siguientes medidas a nivel árbol seleccionado: 1) Altura total (m); 2) Diámetro a la base (cm); 3) Diámetro a la Primera Rama (cm); 4) Diámetro de Copa mayor y menor (m); 5) Número de Ramas (n) y 6) Altura de Fuste Limpio (m). De éstas se derivaron: 7) Diferencia entre Diámetro a la base y Diámetro a la Primera Rama (cm) y 8) Longitud de Copa (m).

Análisis estadístico.

Mediante el uso del programa estadístico Essential Regresión v. 2.210, de Steppan *et al.* (2006), se llevo a cabo la generación de modelos usando el procedimiento Forward, analizando variables en su forma original y transformada: El análisis se dividió en Subfases, Fases

Cuadro 1. Estadísticas básicas de treinta árboles analizados de *Prosopis glandulosa* var. Torr.

Variable	Simb.	Media	D.E.	C.V	Min	Máx	I.C.	
							Inferior	Superior
Diámetro a la base (cm)	(D)	28.80	15.7 5	0.55	3.18	56.0 0	25.93	31.68
Altura total (m)	(A)	4.54	1.69	0.37	2.00	8.00	4.23	4.85
Altura de fuste limpio (m)	(ALF)	0.44	0.27	0.62	0.05	1.10	0.39	0.49
Diámetro de copa (m)	(DC)	7.47	2.86	0.38	2.58	12.5 0	6.95	7.99
Diámetro a la primera rama (cm)	(DPR)	12.58	6.13	0.49	2.50	28.0 0	11.46	13.69
Número de ramas (n)	(NR)	5.33	2.07	0.39	2.00	10.0 0	4.96	5.71
D base – DPR (cm)	(D12)	16.23	11.7 6	0.73	0.18	39.0 0	14.08	18.37
Longitud de copa (m)	(LC)	4.10	1.61	0.39	1.70	7.10	3.81	4.39
Peso (kg·árbol·año ⁻¹)	(P)	12.74	6.09	0.48	2.20	24.0 0	11.62	13.85

D.E. = Desviación estándar; C.V. = Coeficiente de variación; Min = Valor mínimo; Máx. = Valor máximo; I.C. = Intervalo de confianza (95%).

y Etapas. La Subfase, correspondió al tipo de regresión analizada (lineal, lineal + interacción, cuadrática, cuadrática + interacción, cúbica, de segundo orden sin interacción y de tercer orden sin interacción). La Fase, se estableció de acuerdo a la forma de inclusión de las variables dependientes e independientes (original, logarítmica y racional) en el procedimiento. La Etapa, consistió en la selección de modelos; Etapa I: Selección parcial de dos mejores modelos en cada Fase (Fase I-IV) y Etapa II: Selección Final de los dos mejores modelos de la Etapa I, o de las Fases I-IV.

Adicionalmente, se generaron modelos de regresión para estimar variables dimensionales de interés (altura total, longitud de copa, diámetro de copa, etc.), en la especie *Prosopis glandulosa* var. Torr.

Criterios de selección de modelos.

Para la selección de los mejores modelos, para estimar producción de vaina, se consideraron los estadísticos de regresión recomendados por Belsley *et al.* (1980): Coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.); Error estándar (Syx); Error de predicción de Suma de Cuadrados (PRESS); R^2 de predicción (R^2 pr); Prueba de autocorrelación de Durbin - Watson (D-W); Colinealidad (C); Coeficiente de variación (C.V.); Valor de F (F). Así mismo, con el fin de comparar la capacidad predictiva de los mejores modelos, en la Etapa II se incluyó el Error Medio Cuadrático y Diferencia Agregada.

La elección de la mejor ecuación (dentro de cada fase y etapa) se efectuó a través de la asignación de puntajes a cada uno de los criterios y/o estadísticos de los modelos generados. El valor 1 fue asignado a la ecuación que presentó el mejor estadístico según el criterio correspondiente, el proceso se continuo sucesivamente hasta completar la asignación de puntajes a todos los modelos y a todos los criterios. Posteriormente, se obtuvo la sumatoria y se ordenaron los puntajes de menor a mayor, donde los menores puntajes finales indicaron ecuaciones más confiables. Cuando existieron ecuaciones con el mismo puntaje se optó por la expresión matemática más sencilla.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características dimensionales

El Cuadro 1, muestra las estadísticas básicas de nueve variables analizadas, en treinta árboles de *P. glandulosa* var. Torr. Dimensionalmente, el diámetro (28.8 ± 15.7 cm) y altura (4.54 ± 1.7 m), así como demás variables adicionales de los 30 árboles muestreados, demuestran que la selección de árboles fue adecuada, ya que incluye variedad de categorías de diámetro, distribuidas de manera uniforme en las categorías de 0 - 20; 20 - 40 y de 40 a 60, con 33% del total de los árboles en cada clase.

La Figura 2 indica: 1) Porcentaje promedio de Fuste Limpio y de Longitud de Copa ($\bar{x} \pm 2 D.E.$); 2) Altura

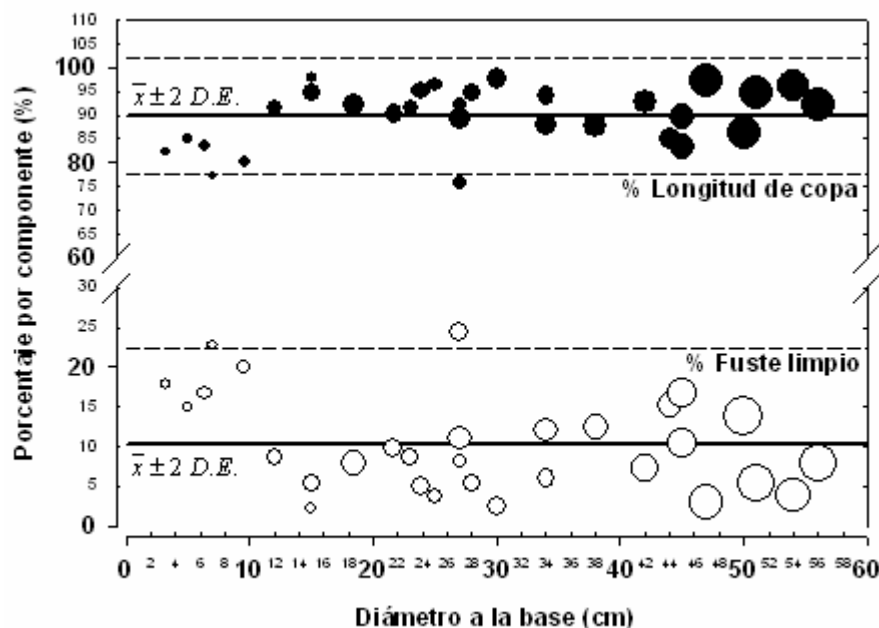


Figura 2. Relación diámetro-porcentaje de fuste limpio y longitud de copa de *Prosopis glandulosa*.

total del árbol (m) según dimensiones del símbolo (o) y 3) Longitud de Copa (m) según dimensiones del símbolo (•). Los resultados indican que el Fuste Limpio comprende aproximadamente el 10% de la altura total del árbol, mientras que la Longitud de Copa abarca el 90% restante. Al parecer, las tendencias permanecen constantes con las dimensiones del árbol; es decir, los porcentajes de estos componentes no tienden a aumentar o disminuir en relación al diámetro basal del árbol.

Relaciones del Diámetro y Altura con características dimensionales

Los resultados muestran, que de manera individual, el diámetro a la base de *P. glandulosa*, puede predecir eficientemente variables como: A, DC, LC, DPR, e inclusive la producción total de vainas a nivel árbol. Relaciones lineales al diámetro son observadas en A, D12 y LC, mientras que relaciones no lineales se muestran en el DC, P y el DPR. El Cuadro 2, muestra los modelos que predicen las variables antes mencionadas, utilizando el Diámetro a la base como variable independiente.

Adicionalmente, se desarrollaron modelos utilizando la Altura total de *P. glandulosa* como variable dependiente. En este sentido, se observa que las variables DC, D12 y LC, predicen eficientemente la Altura de *P. glandulosa*. Según los resultados, parece existir mayor variación en los árboles de tallas mayores, principalmente en el DC y en DPR. El Cuadro 2, muestra los modelos y estadísticos que predicen la Altura total en esta especie. La Figura 3d) indica que la producción de vaina de *P. glandulosa* var Torr., incrementa significativamente a edades tempranas y tiende a hacerse constante con la madurez del árbol. El árbol de menor diámetro (3.18 cm), muestreado en esta investigación, produce en promedio 2.5 kg de vaina-año⁻¹, mientras que el árbol de mayores dimensiones, cercano a los 55 cm de diámetro produce 21 kg vaina-año⁻¹. En este sentido, un árbol promedio (30 cm de diámetro y altura de 4 m) produce aproximadamente 14 kg de vaina-año⁻¹. La producción de frutos en *Prosopis* spp., depende en gran medida de la especie, fenotipo y características ecológicas del sitio (Lima, 1987). Silva (1990) sostiene que la producción de vainas incrementa gradualmente hasta que los árboles llegan a edades de entre 15 – 20 años de edad.

Cuadro 2. Modelos y estadísticos para estimar algunas variables dimensionales de *Prosopis glandulosa* var. Torr.

Modelo	Diámetro (cm) como variable independiente						
	R ² aj.	Syx	PRESS	D-W	K-S	L	F
A = 1.6971 + 0.0988 (D)	0.8337	0.692	15.237	2.053	0.3134	0.9195	146.42
DC = 1.2470 (D ^{0.5458})	0.7641	1.390	61.020	1.925	0.4067	0.1179	94.97
D12 = -4.0162 + 0.7028(D)	0.8825	4.028	523.972	1.685	0.026*	0.0988	218.92
P = 1.1636 (D ^{0.7219})	0.7696	2.924	269.953	1.543	0.5455	0.8935	97.90
LC = 1.4147 + 0.0933(D)	0.8301	0.662	13.961	2.069	0.4941	0.2150	142.75
DPR = -7.6516+6.4289 (Ln (D))	0.6169	3.794	457.681	1.888	0.058*	0.4101	47.71
	Altura (m) como variable dependiente						
A = 0.9377 + 58294.6 (1-exp ^(-0.00001*DC))	0.6374	1.023	34.418	2.275	0.305	0.1088	26.49
A = 2.5714 + 0.1216 (D12)	0.6969	0.935	27.337	2.172	0.574	0.7870	67.70
A = 0.2594 + 1.0443 (LC)	0.9754	0.266	2.310	2.380	0.545	0.4883	1153.87
A = 1.2590 (DPR ^{0.5202})	0.5376	1.155	42.204	2.232	0.646	0.042*	34.72

R² aj. = R² ajustada; Syx = Error estándar; PRESS = Estadístico PRESS (Error de Predicción de Suma de Cuadrados); D-W = Estadístico de autocorrelación de Durbin-Watson; K-S = Prueba de Normalidad de Kolmogorov Smirnov; L = Prueba de Homocedasticidad de Levene; F = Valor de F. * = No cumplieron los supuestos de Normalidad y Homocedasticidad (0.05).

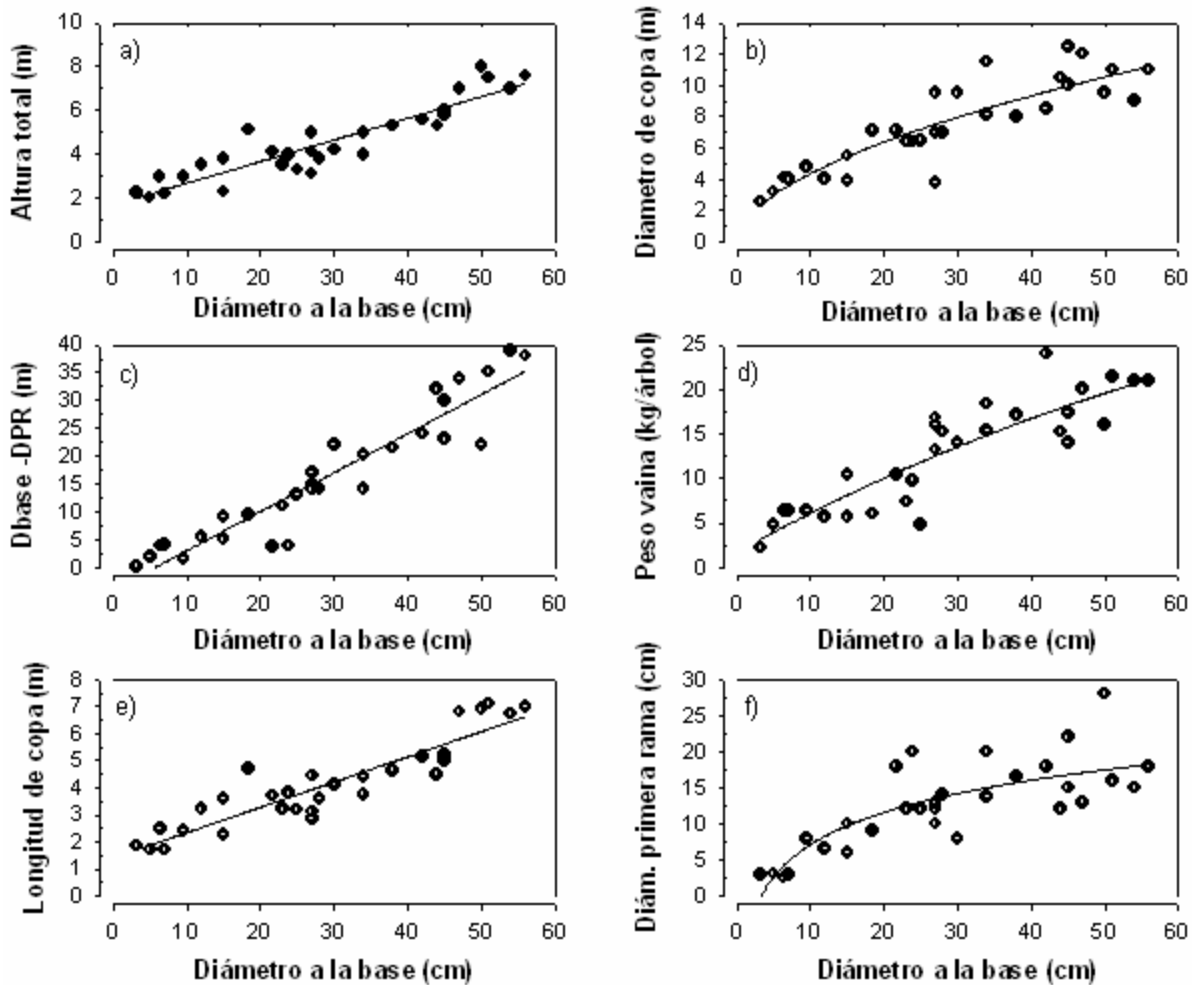


Figura 3. Relación del Diámetro y algunas variables dimensionales de *Prosopis glandulosa*.

Modelos para predecir producción de vaina

De manera general, la Fase III (variables en forma racional) es la que arroja los mejores ajustes, según promedio de R^2 ajustada (0.869), seguida de la Fase IV con R^2 promedio de 0.853, Fase II con R^2 de 0.815 y finalmente la Fase I, la cual promedia una R^2 ajustada de 0.799. Es importante destacar que esta primera aproximación se realizó aun con las variables transformadas, lo anterior fue debido a que los estadísticos de la regresión se reportan en las mismas dimensiones dentro de la misma Fase. No obstante en la Etapa II, (selección final), los modelos y sus estadísticos principales fueron linealizados y regresados a su forma original para la selección final de los mejores modelos.

Durante la **Fase I** (Variables X_i , Y_i en forma original), el Stepwise genero básicamente tres tipos de modelos diferentes, utilizando 5 variables (D, NR, AFL, DC y

DPR), cuyos estadísticos se indican en el Cuadro 3 y las ecuaciones correspondientes en el Cuadro 4. En este contexto, el Diámetro a la base (D) y Altura de Fuste Limpio (AFL) son las variables que más explican la producción de la vaina en árboles de *P. glandulosa*. El mejor modelo esta representado en la última columna de la derecha del cuadro, indicado según la numeración. En la **Fase II** (Variables X_i , Y_i en forma logarítmica), se generaron 5 modelos diferentes (Cuadro 3 y 4). Nuevamente el Diámetro a la base resulta ser la variable más importante para predecir la producción de vaina de *P. glandulosa*, seguida de AFL. Los modelos en esta Fase incluyeron las variables D, AFL, DPR y NR. No obstante, los modelos generados resultaron con menor número de parámetros de regresión que en la Fase I y al parecer más sencillos en estructura. **Fase III** (Variables X_i , Y_i en forma racional). En esta fase, y aun con las variables transformadas, se registran estadísticos muy aceptables para la estimación de

Producción de vaina en *P. glandulosa*. Sin embargo, los estadísticos disminuyeron significativamente al linealizar los modelos. Se obtuvieron cinco modelos diferentes, destacándose nuevamente el D y AFL ser constituyentes en todas las ecuaciones generadas. Así mismo, se resalta, que en la regresión de 3er. orden sin interacción, aparece por primera vez la variable Altura total (A).

Fase IV (Variables independientes en forma original, logarítmica y racional). Esta fase arrojó buenos ajustes según la R² ajustada (Cuadro 3), debido parcialmente a la inclusión de variables en todas sus formas y combinaciones, pero también a la gran cantidad de variables independientes, aunado a que los modelos obtenidos, indican efectos de Colinealidad. Sin embargo, los modelos generados son demasiado largos y por ende complicados (Cuadro 4), para ser utilizados por propietarios del bosque.

La variación entre la R² ajustada entre fases, es menor en la Fase III, mientras que la mayor variación es registrada en la Fase IV. Similarmente, la variación en relación al error de predicción (Syx), indica ser menor en la Fase III y mayor en la Fase IV, revelando que en términos generales, los modelos de la Fase III, arrojan estadísticos de ajuste y predicción muy similares entre sí, contrario a lo observado en los modelos de la Fase IV.

El Cuadro 5, muestra el resumen de parámetros y estadísticos de los dos mejores modelos de cada Fase y el Cuadro 6, muestra las ecuaciones

correspondientes. En esta Etapa (II), los modelos transformados fueron regresados a su forma lineal para poder compararlos con los modelos lineales. En primer término, se observó que los modelos racionales disminuyeron significativamente su ajuste hasta 0.5 unidades de la R² ajustada. En esta Fase de selección, los mejores modelos fueron los generados en la Fase IV y I, ya que obtuvieron los mejores puntajes según los criterios de selección.

Durante el proceso de generación de modelos, una gran cantidad de variables fueron obtenidas, la Figura 4a) muestra el comportamiento de las variables independientes incluidas en los modelos generados. El Diámetro a la base (D) fue la variable más importante para predecir la producción de vaina de *P. glandulosa*, ya que formó parte en el 100% de los modelos generados en cada una de las fases. Así mismo, la Altura de Fuste Limpio (AFL), el Número de Ramas (NR) y Diámetro a la Primera Rama (DPR) son variables que explican gran parte de la producción de vaina de mezquite, presentándose en el 69.2 y 61.5 y 42.3% de los ecuaciones generadas respectivamente. Las variables menos importantes fueron la Altura (A) y la Longitud de Copa (LC) ya que la primera, apareció únicamente en la Fase III en forma racional, mientras que la segunda, surgió en la Fase IV en forma logarítmica.

La Figura 4b) indica la gran cantidad de variables analizadas durante el procesos de selección Forward de Stepwise para la generación de modelos en cada

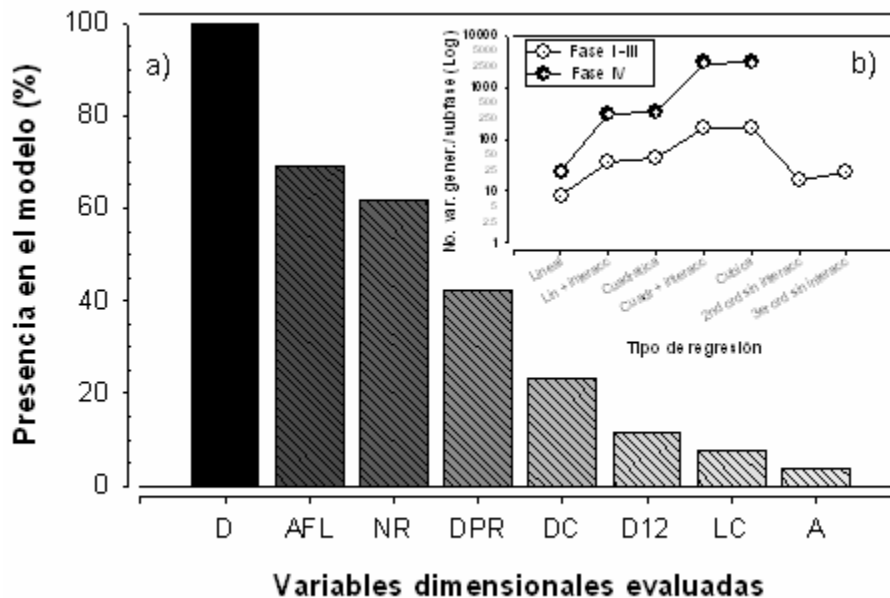


Figura 4. a) Porcentaje de la presencia de variables de *Prosopis glandulosa* en modelos generados y b) Número de variables generadas en cada Fase y Subfase.

Cuadro 3. Parámetros y estadísticos de modelos generados en las Fases y Etapas analizadas.

Tipo ^{a)}	b0	b1	b2	b3	b4	b5 ^{b)}	R ² aj.	Syx	PRESS	R ² pr.	D-W	C	C.V.	F	P<F	MM
Fase I (variables dependientes e independientes en forma original)																
1	2.9257	0.3406					0.767	2.943	270.269	0.749	1.478	1.000	23.108	96.355	0.001	3
2	2.0578	0.4800	-0.0179				0.783	2.841	254.944	0.763	1.685	0.149	22.308	53.218	0.001	2
3	2.0578	0.4800	-0.0179				0.783	2.841	254.944	0.763	1.685	0.149	22.308	53.218	0.001	2
4	-1.9437	0.3568	-0.0939	5.1866	0.0007	-1.7632	0.864	2.244	163.442	0.848	1.552	0.000	17.625	37.954	0.001	1
5	-1.9437	0.3568	-0.0939	5.1866	0.0007	-1.7632	0.864	2.244	163.442	0.848	1.552	0.000	17.625	37.954	0.001	1
6	2.9257	0.3406					0.767	2.943	270.269	0.749	1.478	1.000	23.108	96.355	0.001	3
7	2.9257	0.3406					0.767	2.943	270.269	0.749	1.478	1.000	23.108	96.355	0.001	3
							0.799	2.714	235.368	0.781	1.558	0.471	21.313	67.344		
Fase II (variables dependientes e independientes en forma logarítmica)																
1	0.2352	0.6881					0.767	0.285	2.584	0.745	1.989	1.000	11.883	96.72	0.001	3
2	0.2352	0.6881					0.767	0.285	2.584	0.745	1.989	1.000	11.883	96.72	0.001	3
3	0.4326	0.6165	-0.2643	-0.5032	0.1663		0.857	0.224	2.416	0.762	1.541	0.016	9.333	44.30	0.001	4
4	0.4266	0.6208	-0.1252	-0.1640			0.869	0.214	1.700	0.832	1.636	0.145	8.917	65.16	0.001	1
5	0.4266	0.6208	-0.1252	-0.1640			0.869	0.214	1.700	0.832	1.636	0.145	8.917	65.16	0.001	1
6	0.3445	0.6782	-0.0509				0.788	0.272	2.464	0.757	1.841	0.994	11.346	54.91	0.001	5
7	0.3150	0.6794	0.0187				0.790	0.271	2.456	0.758	1.823	0.996	11.305	55.40	0.001	2
							0.815	0.252	2.272	0.776	1.779	0.614	10.512	68.34		
Fase III (variables dependientes e independientes en forma racional)																
1	0.0072	0.4593	0.0345	0.0055	0.1960		0.867	0.031	0.272	-0.332	1.581	0.116	27.822	48.21	0.001	3
2	0.0341	2.7831	0.0738	-0.0436			0.867	0.031	0.044	0.786	1.783	0.176	27.761	64.26	0.001	2
3	0.0341	2.7831	0.0738	-0.0436			0.867	0.031	0.044	0.786	1.783	0.176	27.761	64.26	0.001	2

4	0.0249	4.1290	0.0710	-0.6749	0.883	0.029	0.039	0.810	1.615	0.096	26.067	74.05	0.001	1
5	0.0249	4.1290	0.0710	-0.6749	0.883	0.029	0.039	0.810	1.615	0.096	26.067	74.05	0.001	1
6	0.0176	1.6022	-0.8715	0.0042	0.855	0.032	0.039	0.810	1.818	0.280	28.990	58.21	0.001	4
7	0.0121	1.7440	-1.8469	0.0056	-0.6567	0.861	0.031	0.838	1.797	0.083	28.379	46.09	0.001	5
					0.869	0.031	0.073	0.644	1.713	0.146	27.550	61.30		

Fase IV (variables independientes en forma original, logarítmica y racional)

1	2.9257	0.3406			0.767	2.943	270.269	0.749	1.478	1.000	23.108	96.355	0.001	3
2	7.8437	0.3162	-6.2384	17.1194	-0.8497	0.849	2.367	195.814	0.818	1.337	18.586	41.805	0.001	2
3	7.8437	0.3162	-6.2384	17.1194	-0.8497	0.849	2.367	195.814	0.818	1.337	18.586	41.805	0.001	2
4	4.8393	0.8540	-2.4268	16.4092	-0.0128	0.899	1.937	127.547	0.882	1.586	15.211	52.600	0.001	1
5	4.8393	0.8540	-2.4268	16.4092	-0.0128	0.899	1.937	127.547	0.882	1.586	15.211	52.600	0.001	1
					0.853	2.310	183.398	0.83	1.465	0.242	18.140	57.033		

a) Tipo de regresión evaluada y modelo generado en el análisis Forward de Stepwise, 1) Lineal; 2) Lineal + Interacción; 3) Cuadrática; 4) Cuadrática + Interacción; 5) Cúbica; 6) 2do. Orden sin Interacción; 7) 3er. Orden sin Interacción. b) B0, ..., Bn = Parámetros de regresión del modelo generado.

R² aj. = R² ajustada; Syx = Error estándar; PRESS = Estadístico PRESS (Error de Predicción de Suma de Cuadrados); R² pr. = R² de predicción; D-W = Estadístico de autocorrelación de Durbin-Watson d; C = Colinealidad; C.V. = Coeficiente de Variación; F = Valor de F; P < F = Probabilidad del modelo; M.M. = Mejor modelo.

Cuadro 4. Modelos generados para estimar producción de vaina de *Prosopis glandulosa* Var. torr.

Tipo	Modelo generado (Fase I)
1	PESO = b0 + b1*D
2	PESO = b0 + b1*D + b2*D*NR
3	PESO = b0 + b1*D + b2*D*NR
4	PESO = b0 + b1*D + b2*D*AFL*NR + b3*AFL*NR + b4*D*DC*DPR + b5*AFL*AFL*NR
5	PESO = b0 + b1*D + b2*D*AFL*NR + b3*AFL*NR + b4*D*DC*DPR + b5*AFL*AFL*NR
6	PESO = b0 + b1*D
7	PESO = b0 + b1*D
Tipo	Modelo generado (Fase II)
1	LnPESO = b0 + b1*LnD

2	$L_nPESO = b_0 + b_1 * L_nD$
3	$L_nPESO = b_0 + b_1 * L_nD + b_2 * L_nAFL * L_nAFL + b_3 * L_nAFL * L_nNR + b_4 * L_nAFL * L_nDPR$
4	$L_nPESO = b_0 + b_1 * L_nD + b_2 * L_nAFL * L_nAFL * L_nDPR + b_3 * L_nAFL * L_nNR * L_nNR$
5	$L_nPESO = b_0 + b_1 * L_nD + b_2 * L_nAFL * L_nAFL * L_nDPR + b_3 * L_nAFL * L_nNR * L_nNR$
6	$L_nPESO = b_0 + b_1 * L_nD + b_2 * L_nAFL * L_nAFL$
7	$L_nPESO = b_0 + b_1 * L_nD + b_2 * L_nAFL * L_nAFL$
Modelo generado (Fase III)	
1	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D + b_2 * 1/D12 + b_3 * 1/AFL + b_4 * 1/NR$
2	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D * 1/DC + b_2 * 1/AFL * 1/NR + b_3 * 1/AFL * 1/DPR$
3	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D * 1/DC + b_2 * 1/AFL * 1/NR + b_3 * 1/AFL * 1/DPR$
4	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D * 1/DC + b_2 * 1/AFL * 1/NR + b_3 * 1/D * 1/AFL * 1/DPR$
5	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D * 1/DC + b_2 * 1/AFL * 1/NR + b_3 * 1/D * 1/AFL * 1/DPR$
6	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D + b_2 * 1/DPR * 1/DPR + b_3 * 1/AFL$
7	$1/PESO = b_0 + b_1 * 1/D + b_2 * 1/DPR * 1/DPR + b_3 * 1/AFL + b_4 * 1/A * 1/A$
Modelo generado (Fase IV)	
1	$PESO = b_0 + b_1 * D$
2	$PESO = b_0 + b_1 * D + b_2 * AFL * L_nAFL + b_3 * L_nAFL * 1/NR + b_4 * AFL * NR$
3	$PESO = b_0 + b_1 * D + b_2 * AFL * L_nAFL + b_3 * L_nAFL * 1/NR + b_4 * AFL * NR$
4	$PESO = b_0 + b_1 * D * L_nNR * 1/NR + b_2 * AFL * NR * L_nAFL + b_3 * L_nAFL * L_nLC * 1/NR + b_4 * AFL * D12 * D12 + b_5 * D * L_nD * L_nD12$
5	$PESO = b_0 + b_1 * D * L_nNR * 1/NR + b_2 * AFL * NR * L_nAFL + b_3 * L_nAFL * L_nLC * 1/NR + b_4 * AFL * D12 * D12 + b_5 * D * L_nD * L_nD12$

PESO = Peso seco de vainas (kg-árbol-año⁻¹); D = Diámetro a la base (cm); A = Altura total (m); AFL = Altura de fuste limpio (m); DC = Diámetro de copa (m); DPR = Diámetro a la primera rama (cm); NR = Número de ramas; D12= D-DPR; LC = Longitud de copa (m).

Cuadro 5. Resumen de estadísticos de selección de mejores modelos de Fase I, II, III y IV (Etapa II).

FASE ^a	b0	b1	b2	b3	b4	b5 ^b	R ² aj.	Syx	EMC	DA	D-W	C	C.V.	F	P<F	MM
I (4)	-1.9437	0.3568	-0.0939	5.1866	0.0007	-1.7632	0.864	2.244	2.007	0.000	1.552	0.000	17.625	37.954	0.001	3
I (3)	2.0578	0.4800	-0.0179				0.783	2.841	2.695	0.000	1.685	0.149	22.308	53.218	0.001	4
II (5)	0.4266	0.6208	-0.1252	-0.1640			0.827	2.535	2.360	0.162	1.636	0.145	19.904	52.307	0.001	5
II (7)	0.3150	0.6794	0.0187				0.762	2.976	2.823	0.169	1.823	0.996	23.366	45.446	0.001	6
III (5)	0.0249	4.1290	0.0710	-0.6749			0.332	4.979	4.545	0.380	1.615	0.096	39.098	11.298	0.001	7
III (3)	0.0341	2.7831	0.0738	-0.0436			0.474	4.419	4.034	0.723	1.783	0.176	34.703	10.993	0.001	8

IV (5)	4.8393	0.8540	-2.4268	16.4092	-0.0128	0.0132	0.899	1.937	1.733	0.000	1.586	0.010	15.211	52.600	0.001	1
IV (3)	7.8437	0.3162	-6.2384	17.1194	-0.8497		0.849	2.367	2.161	0.000	1.337	0.096	18.586	41.805	0.001	2

a) I (4) = Fase I y Tipo de regresión analizada, 1) Lineal; 2) Lineal + Interacción; 3) Cuadrática; 4) Cuadrática + Interacción; 5) Cúbica; 6) 2do. Orden sin Interacción; 7) 3er. Orden sin Interacción.

b) B0, ..., Bn = Parámetros de regresión del modelo generado.

R² aj. = R² ajustada; Syx = Error estándar; EMC = Error Medio Cuadrático; DA = Diferencia Agregada; D-W = Estadístico de autocorrelación de Durbin-Watson d; C = Colinealidad; C.V. = Coeficiente de Variación; F = Valor de F; P < F = Probabilidad del modelo; M.M. = Orden de modelos seleccionados que mejor se ajustaron.

Cuadro 6. Modelos para estimar producción de vaina de *Prosopis glandulosa* Var. torr. (Etapa II)

Fase	Modelo	Modelo generado
I	4	$PESO = b_0 + b_1 * D + b_2 * D * AFL * NR + b_3 * AFL * NR + b_4 * D * DC * DPR + b_5 * AFL * AFL * NR$
I	3	$PESO = b_0 + b_1 * D + b_2 * D * NR$
II	5	$(b_0 + b_1 * LnD + b_2 * LnAFL * LnAFL * LnDPR + b_3 * LnAFL * LnNR * LnNR)$
II	7	$PESO = Exp^{(b_0 + b_1 * LnD + b_2 * LnAFL * LnAFL * LnAFL)}$
III	5	$PESO = 1 / (b_0 + b_1 * D * 1 / DC + b_2 * 1 / AFL * 1 / NR + b_3 * 1 / D * 1 / AFL * 1 / DPR)$
III	3	$PESO = 1 / (b_0 + b_1 * D * 1 / DC + b_2 * 1 / AFL * 1 / NR + b_3 * 1 / AFL * 1 / DPR)$
IV	5	$PESO = b_0 + b_1 * D * LnNR * 1 / NR + b_2 * AFL * NR * LnAFL + b_3 * LnAFL * LnLC * 1 / NR + b_4 * AFL * D * 12 * D * 12 + b_5 * D * LnD * LnD * 12$
IV	3	$PESO = b_0 + b_1 * D + b_2 * AFL * LnAFL + b_3 * LnAFL * 1 / NR + b_4 * AFL * NR$

PESO = Peso seco de vainas (kg/árbol/año³); D = Diámetro a la base (cm); A = Altura total (m); AFL = Altura de fuste limpio (m); DC = Diámetro de copa (m); DPR = Diámetro a la primera rama (cm); NR = Número de ramas; D12 = D-DPR; LC = Longitud de copa (m).

fase y subfase. De un total de 8 variables dimensionales de *P. glandulosa*, se generaron hasta 156 variables en la Fase I, II y III, Subfase 5, o tipo de regresión cúbica dando un total de 164 variables. Como era de esperarse, la inclusión de las 24 variables (ocho en forma original, logarítmica y racional), produciría un número mayor de variables, de este modo, durante la Fase IV en la Subfase 5 (regresión tipo cúbica) se produjeron hasta 2924 variables, mismas que fueron analizadas mediante Stepwise (procedimiento Forward) para la generación de un solo modelo, dando evidencias de la efectividad del proceso estadístico para la selección de variables y generación de modelos.

CONCLUSIONES

El 10% de la parte baja de la altura total de *P. glandulosa*, corresponde al Fuste Limpio, el cual es una de las variables más importantes para la estimación de la producción de vaina en esta especie, misma que muy raras veces es considerada en modelos de esta índole. El 90% de la parte alta del árbol de mezquite, representa la Longitud de Copa (LC) pero no resultó significativa para la predicción del peso de la vaina a nivel árbol.

Los modelos que arrojaron los mejores estadísticos de ajuste, para predecir producción de vaina, fueron aquellos que incluyeron conjuntamente variables independientes en su forma original, racional y logarítmica e interacciones; sin embargo, la desventaja radica en que los modelos muestran Autocorrelación y Colinealidad, además de ser demasiado largos y complicados.

El Diámetro a la base (D) es la variable que mejor predice la producción de vaina ya que forma parte en el 100% de los modelos generados, incluso predice eficientemente la Altura, Diámetro de Copa, Longitud de copa, entre otras. Las variables que menos predicen la producción de vaina de esta especie, fueron la Altura (A) y la Longitud de Copa (LC).

Es importante considerar la Longitud de Fuste Limpio y el Número de ramas ya que podría representar parte primordial en modelos de volumen, biomasa u otros estudios.

La producción de vaina se, incrementa significativamente a edades tempranas y tiende a hacerse constante con la madurez del árbol, variando aproximadamente desde 2.2 kg-árbol-año⁻¹ hasta más de 20 kg-árbol-año⁻¹, en árboles de 2 y 8 metros de altura respectivamente.

Cualquiera de los modelos generados en cada fase, de esta investigación, es aplicable para estimar producción de vaina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en Baja California Norte México, por el financiamiento brindado para la realización de esta investigación, a través de la Convocatoria 2005.

LITERATURA CITADA

- Becker, R. and Grosjean O.K. 1980. A compositional study of pods of two varieties of mesquite (*Prosopis glandulosa*, *P. velutina*). J. Agric.
- Belsley, D.; Kuh E. and Welsch, R. 1980. Regression Diagnostics, New York: Wiley.
- CONABIO, 1999. Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO. Escala 1: 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Estevez, A.M.; Saenz, C.; Hurtado M., L.; Escobar, B.; Espinoza, S. and Suárez C. 2004. Extraction methods and some physical properties of mesquite (*Prosopis chilensis* (mol) stuntz) seed gum. J. Sci. Food Agric. 84: 1487-1492.
- Felker, P. 1981. Uses of tree legumes in semiarid regions. Economic Botany 35(2): 174-186.
- García, E. – (CONABIO), 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México.
- Golubov, J.; Mandujano, M.; Eguiarte, L.E. 2001. The paradox of mesquites (*Prosopis spp*): Invading species of biodiversity enhancers? Bol. Soc. Bot. Mex. 69: 21-28.
- Lima P., C. F. 1987. Produção de vagens de algaroba. Revista da Associação Brasileira de Algaroba (Mossoró) 1:151-170.
- López F., Y. L.; Goycoolea, M.F.; Valdéz, M.A. y Calderón De La Barca, A.M. 2006. Goma de Mezquite: Una Alternativa de uso industrial. Interciencia. Vol. 31 (3):183-189.
- Rodríguez, F.C. and Maldonado., L.J. 1996. Overview of past, current and potential uses of mesquite in Mexico. In Felker R, Moss J (Eds.) *Prosopis: Semiarid Fuel wood and Forage Tree Building Consensus for the Disenfranchised*. Center for Semiarid Forest Resources. Texas A&M University. Washington, DC, USA. pp. 6.41-6.52.
- SEMARNAP (Subsecretaría de Recursos Naturales). 1998. Mapa de suelos dominantes de la República Mexicana. (Primera aproximación 1996). Escala 1:4 000 000. México.
- Silva, S. 1990. *Prosopis juliflora* (Sw) DC in Brazil. pp. 29-55. In: The Current State of Knowledge on *Prosopis juliflora*. (Eds.) M. A. Habit and J. C. Saavedra. FAO, Rome, Italy.
- Steppan, D.D.; Werner, J.; and Yeater, R.P. 2006. Essential Regression. V 2.210. Add in soft for MicroSoft Excel.