



EFECTO DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL SOBRE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE *Juglans pyriformis* LIEBM.

EFFECT OF FOREST HARVESTING ON MORPHOLOGICAL VARIATION OF *Juglans pyriformis* LIEBM.

Celia Cecilia Acosta-Hernández¹; Mauricio Luna-Rodríguez²; Pablo Octavio-Aguilar¹; Zoylo Morales-Romero³; Jorge Galindo-González¹; Juan Carlos Noa-Carrazana⁴; Santiago Mario Vázquez-Torres⁴; Lourdes Georgina Iglesias-Andreu^{1¶}

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA), Universidad Veracruzana. Av. de las Culturas Veracruzanas Núm. 101, Col. Emiliano Zapata, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, MÉXICO.

([¶] Autor para correspondencia). Correo-e: xliglesias@gmail.com

² Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa, S. C. (LATEX), Universidad Veracruzana. Calle Médicos Núm. 5, Col. Unidad del Bosque, C.P. 91010, Xalapa, Veracruz, MÉXICO.

³ Facultad de Estadística e Informática. Universidad Veracruzana. Av. Xalapa Esq. Manuel Ávila Camacho s/n. C.P. 91020. Xalapa, Veracruz, MÉXICO.

⁴ Instituto de Investigaciones Biológicas (IIB), Universidad Veracruzana. Av. Luis Castelazo Ayala s/n, Col. Industrial Ánimas C.P. 91190, Apartado Postal 294, Xalapa, Veracruz, MÉXICO.

RESUMEN

Recibido: 23 de abril 2011
Aceptado: 30 de agosto 2011
doi: 105154/r.rchscfa2011.04.033

El aprovechamiento forestal basado en la extracción de individuos fenotípicamente superiores, al igual que otros factores, podría hacer degenerar el bosque al dejar árboles de menor calidad y disminuir la diversidad genética. La población de *Juglans pyriformis* en San José Buenavista, Veracruz (SJB), ha sido reducida por actividades agropecuarias y aprovechamiento forestal con fines maderables bajo el método silvícola de Selección Individual, mientras que la población de Coacoatzintla, Veracruz (COA), se ha reducido por cambios de uso de suelo y explotación clandestina. El objetivo fue determinar los niveles de variación fenotípica de *J. pyriformis* en SJB y contrastarla con la variación encontrada en la población de COA en un estudio previo, utilizando la misma metodología. En SJB el análisis de componentes principales identificó tres indicadores, FUSTE, COPA y ALT-DIAM, con un coeficiente de variación alto 26, 30 y 42 % respectivamente. El análisis de conglomerados mostró dos grupos de árboles, y el estadístico de Levene fue significativo ($P < 0.05$) para el indicador COPA (0.030) y ALT-DIAM (0.161). Los resultados muestran una menor variación morfológica en la población de San José Buenavista en contraste con la población de Coacoatzintla.

PALABRAS CLAVE: *Juglans pyriformis*, manejo forestal, método silvícola de selección, indicadores morfológicos.

ABSTRACT

The forest harvesting based on the extraction of individuals phenotypically better, as well as other factors, could degrade the forest by leaving trees of lesser quality and reducing genetic diversity. The population of *Juglans pyriformis* in San José Buenavista, Veracruz (SJB) has been reduced by farming and logging for timber production purposes under the Silvicultural Individual Selection Method. The population of Coacoatzintla, Veracruz (COA) has been reduced by change of land use and illegal logging. The objective was to determine the levels of phenotypic variation of *J. pyriformis* in SJB population and contrast to COA populations found in a previously study, using the same method. In SJB principal component analysis identified three main indicators, SHAFT, CUP and HIGH-DIAM with a high coefficient of variation (26%, 30% and 42% respectively). Cluster analysis showed two groups of trees and the Levene statistic was significant ($p < 0.05$) for the indicator CUP (0030) and HIGH-DIAM (0161). The results show less morphological variation in the population of San José Buenavista in contrast to the population of Coacoatzintla.

KEY WORDS: *Juglans pyriformis*, forest management, silvicultural selection method, morphological indicators.

INTRODUCCIÓN

Juglans pyriformis Liebm. (Juglandaceae) es una especie endémica de México característica del bosque mesófilo de montaña, apreciada por la calidad de su madera, que es utilizada en la elaboración de muebles finos e instrumentos musicales. Por ello ha sido sobreexplotada y hoy se encuentra en la categoría de amenazada

INTRODUCTION

Juglans pyriformis Liebm. (Juglandaceae) is a species endemic to Mexico. It is characteristic of mountain cloud forests and prized for the quality of its wood, which is used to make fine furniture and musical instruments. As a result, it has been over-logged and is now in the category of threatened (SEMARNAT, 2010, NOM-059-SE-

(SEMARNAT, 2010, NOM-059-SEMARNAT-2010). De acuerdo a Hammer y Khoshbakht (2005), esta especie podría pasar a la categoría de “En Peligro”.

En el centro del estado de Veracruz, las poblaciones de *Juglans pyriformis* Liebm., localizadas en San José Buenavista (SJB) y Coacoatzintla (COA), se encuentran fragmentadas y reducidas por diversos factores. Estas poblaciones están separadas por barreras geográficas (barrancas y cerros), y en ambas se recolectan semillas para su comercialización sin un método de selección (Bandala¹, 2008).

La población de SJB se ha reducido por actividades agropecuarias y aprovechamiento forestal con fines maderables. Esta población estuvo bajo manejo forestal por tres años (2000-2003) mediante el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), con cortas selectivas individuales como tratamiento principal para el aprovechamiento de *Juglans pyriformis* (Cedro-nogal). Se removieron 80 árboles, en su mayoría sanos de interés forestal con diámetro igual o mayor a 45 cm, así como dañados, huecos, secos y sobremaduros con diámetros entre 10 y 60 cm y alturas entre 10 y 15 m, que en conjunto representaron 69,637 m³ rollo total árbol (Servicio Forestal Oriente, 2000). La reducción de la población de COA se debe principalmente al crecimiento urbano, actividades agropecuarias y explotación clandestina. En esta población la extracción de individuos de *J. pyriformis* ha sido menor y sin un plan de manejo (Acosta-Hernández et al., 2011).

El MMOBI fue diseñado para bosques de pino y se basa en cortas selectivas individuales o por grupos del arbolado más grande y viejo (Torres, 2000). Este método recibió duras críticas, ya que al no aplicarse correctamente, sólo se extrajo el arbolado con las mejores características fenotípicas, ocasionando la degeneración del bosque al dejar árboles de menor calidad y disminuir la diversidad genética (Jardel-Pelaez, 1985; Putz, 1994; Finkeldey y Ziehe, 2004). No obstante, en muchos programas de aprovechamiento forestal de especies comerciales se sigue implementando este sistema silvícola; tal es el caso de *J. pyriformis* en San José Buenavista.

Por lo anterior se propuso determinar los niveles de variación fenotípica en población de *J. pyriformis* bajo manejo en la localidad de SJB, y contrastarla con la variación encontrada en un estudio previo para COA, sin manejo (Acosta-Hernández et al., 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron dos poblaciones de *J. pyriformis*. La primera localizada en San José Buenavista (SJB), municipio de Altotonga, Veracruz (19° 48' N, 97° 03' O;

¹Bandala Santiago. 2008. Proveedor de semilla forestal a viveros oficiales y particulares. San José Buenavista, municipio de Altotonga s/n.

MARNAT-2010). According to Hammer and Khoshbakht (2005), this species may move up to the category of “endangered”.

In the center of the state of Veracruz, populations of *Juglans pyriformis* Liebm. in San José Buenavista (SJB) and Coacoatzintla (COA) are fragmented and reduced by various factors. These populations are separated by geographical barriers (gullies and hills), and seeds in both areas are collected for marketing without a selection method (Bandala¹, 2008).

The SJB population has been reduced by farming and forest harvesting for timber production purposes. This population was under forest management for three years (2000-2003) using the Mexican Method of Managing Irregular Forests (known by the acronym MMOBI in Mexico), with individual selective cutting as the main treatment for the harvesting of *Juglans pyriformis* (Cedar-walnut). Eighty trees were removed, most healthy, merchantable specimens with a diameter equal to or greater than 45 cm, as well as damaged, hollow, dry and over-mature trees with diameters between 10 and 60 cm and heights between 10 and 15m, together accounting for 69,637 m³ bole (Eastern Forest Service, 2000). The reduction in the COA population is mainly due to urban growth, farming and illegal logging. In this population the removal of *J. pyriformis* individuals has been less and without a management plan (Acosta-Hernández et al., 2011).

The MMOBI was designed for pine forests and is based on selective cutting of larger and older individuals or groups of trees (Torres, 2000). This method was widely criticized because it was not applied correctly; only trees with the best phenotypic features were removed, thereby degrading the forest by leaving only lower-quality trees and decreasing the genetic diversity (Jardel-Pelaez, 1985; Putz, 1994; Finkeldey and Ziehe, 2004). Nevertheless, this silvicultural system continues to be used in many commercial logging programs; such is the case with *J. pyriformis* in San José Buenavista.

Therefore, the aim of this study was to determine the levels of phenotypic variation in the *J. pyriformis* population under management in the community of SJB, and contrast it with the variation found in a previous study in COA, without management (Acosta-Hernández et al., 2011).

MATERIALS AND METHODS

We studied two populations of *J. pyriformis*. The first is located in San José Buenavista (SJB), municipality of Altotonga, Veracruz (19° 48' N, 97° 03' W; altitude 1,600 m). The study area covered 32.36 ha, consisting of remnants of mountain cloud forest and pasture areas (Figure 1a). The area's soil is poor in organic matter and

¹Bandala Santiago. 2008. Forest seed supplier to government and private nurseries. San José Buenavista, municipality of Altotonga s/n.

altitud 1600 m). El área de estudio comprendió una superficie de 32.36 ha, compuesta por áreas remanentes de bosque mesófilo de montaña y áreas de potrero (Figura 1a). En esta área el suelo es pobre en materia orgánica y contenido de nitrógeno, de textura franco arcillo arenosa (Cra) y pH de fuertemente a moderadamente ácido (SEMARNAT 2000, NOM-021-RECNAT-2000). El clima de la región es semicálido húmedo con precipitación media anual de 1,438 mm y temperatura media anual de 14.3 °C (Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas, 1971-2000a).

La segunda población se ubica en Coacoatzintla (COA), municipio de Coacoatzintla, Veracruz (19° 39' N, 96° 59' O; altitud 1,487m). El área de estudio comprendió una superficie aproximada de 73 ha, compuesta por áreas remanentes de bosque mesófilo, áreas de potrero y traspatio. El suelo es de rico a muy alto en materia orgánica y nitrógeno, textura es franco limosa (Cl) y pH moderadamente ácido (SEMARNAT 2000, NOM-021-RECNAT-2000). El clima en la región es templado-húmedo regular con precipitación media anual de 1,462 mm y temperatura media anual de 17.4 °C (Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas, 1971-2000b). La distancia geográfica en línea recta entre las poblaciones de COA y SJB es de aproximadamente 20 km. Las barreras geográficas entre ambas localidades son barrancas y cerros (Figura 1b).

La variación morfológica de *J. pyriformis* en SJB se evaluó con la metodología reportada para COA (Acosta-Hernández et al., 2011). Se establecieron 46 sitios de 400 m² de circunferencia. La distancia entre sitios fue igual o mayor a 50 m o hasta localizar el siguiente individuo para evitar el efecto de coancestría. En cada sitio se evaluaron de uno a cinco individuos de *J. pyriformis* (148 en total) mediante seis variables morfológicas utilizadas por Samaniego-Rojas (2002): forma de fuste (FF), forma de copa (FC), diámetro de copa (DC), altura de bifurcación (AB), dominancia del eje principal (DEP) y ángulo de inserción de las ramas (AIR); además de dos variables dasométricas: diámetro a la altura de 1.3 m (DN), medido con cinta métrica y altura total del árbol (ALT), estimado con clinómetro (Sunnto® 15/20).

Análisis estadísticos. Los datos morfológicos y dasométricos fueron sometidos a un Análisis de Componentes Principales (ACP). La pertinencia del ACP se determinó mediante un análisis muestral de Kaiser-Meyer-Olkin y una prueba de esfericidad de Bartlett aplicadas a la matriz de correlación resultante (Álvarez, 1994). Para cada indicador (morfológico y dasométrico) se calcularon los coeficientes de variación con base en sus desviaciones típicas. La variación morfológica intrapoblacional e inter-poblacional se determinó mediante la prueba de Levene (Correa et al., 2006) aplicada a los indicadores obteni-

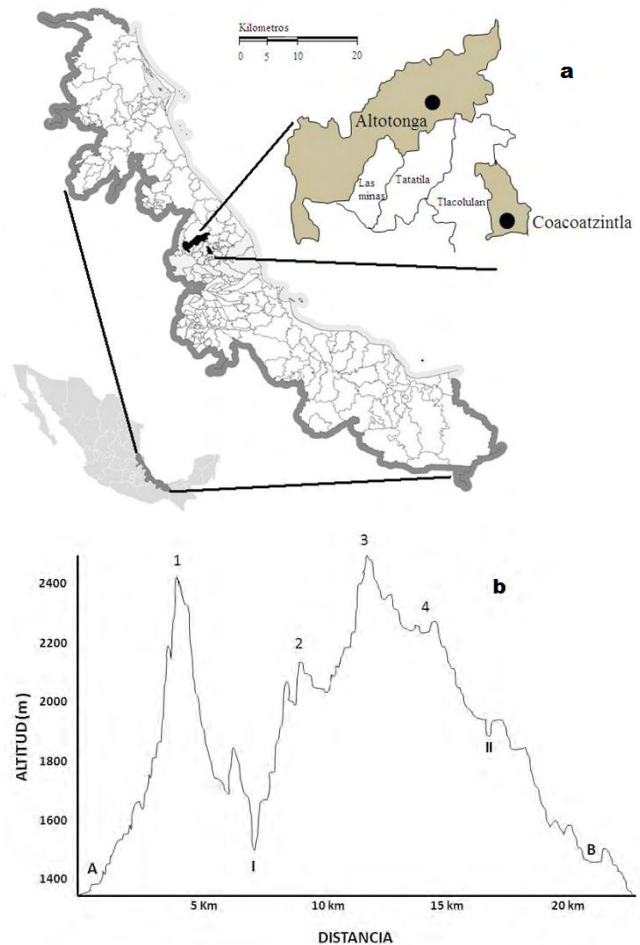


FIGURA 1. a) Ubicación geográfica de las áreas de estudio dentro de los Municipios de Altotonga y Coacoatzintla del estado de Veracruz; b) Barreras geográficas entre los sitios de muestreo: A: San José Buenavista; B: Coacoatzintla; I: Barranca de Bedolla; II: Barranca El Tecolote; Cerros 1: Cerro La Concordia; 2: Cerro El Cuervo; 3: Cerro La Nopalera; 4: Cerro El Zacatal (Programa ARCGIS 9.2).

FIGURE 1. a) Geographic location of study areas within the municipalities of Altotonga and Coacoatzintla in the state of Veracruz; b) Geographical barriers between the sampling sites: A: San José Buenavista; B: Coacoatzintla; I: Barranca de Bedolla (Bedolla Gully); II: Barranca El Tecolote (Tecolote Gully); Hills 1: Cerro La Concordia ; 2: Cerro El Cuervo; 3: Cerro La Nopalera; 4: Cerro El Zacatal (ArcGIS software, 9.2).

nitrogen content, with sandy clay loam texture (Cra) and strongly to moderately acid pH (SEMARNAT 2000, NOM-021-RECNAT-2000). The region's climate is semi-warm humid with mean annual rainfall of 1,438 mm and mean annual temperature of 14.3 °C (Mexico's National Weather Service, Climate Norms, 1971-2000a).

The second population is located in Coacoatzintla (COA), municipality of Coacoatzintla, Veracruz (19° 39' N, 96° 59' W; altitude 1,487 m). The study area encompassed approximately 73 ha, composed of remnants of cloud forest, pasture areas and backyards. The soil is

dos. La clasificación de los árboles se realizó con un Análisis de Conglomerado Jerárquico, utilizando como medida de disimilitud la distancia cuadrática euclidiana y como algoritmo de ligamiento el método de Ward con una distancia de 4 como umbral (Hidalgo, 2003). Para determinar la confiabilidad de la clasificación se utilizó un Análisis Factorial Discriminante. Los análisis fueron realizados con el programa SPSS v. 15 (SPSS, 2006). La media y desviación estándar de los indicadores por conglomerado se calculó con el programa STATISTICA v. 7.0 (Statsoft, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la población de SJB, la matriz de correlaciones pareadas reveló varias correlaciones significativas (Kaiser-Meyer-Olkin = 0.59, $P < 0.05$; Bartlett $p < 0.001$), lo que indica la pertinencia del análisis de componentes principales para las variables evaluadas. Se encontraron varias correlaciones positivas: FF vs FC ($r = 0.201$), FF vs DC ($r = 0.209$), AB vs DEP ($r = 0.499$), AIR vs FC ($r = 0.366$), AIR vs DC ($r = 0.488$); y FC vs DC ($r = 0.362$). Además de tres correlaciones negativas AB vs AIR ($r = -0.164$), AB vs DC ($r = -0.289$) y DEP vs AIR ($r = -0.173$).

Las correlaciones positivas sugieren que los árboles con fuste recto no bifurcado, presentan dominancia del eje principal con ramas insertas en un ángulo de 30° a 60° con copas circulares y vigorosas con diámetros mayores a 10 m. Las correlaciones negativas sugieren que los árboles bifurcados en el tercio inferior, tienen dominancia completa del eje principal sobre las ramas laterales, ramas insertas en un ángulo de 0° a 30° y copas pequeñas menores a 5 m de diámetro. Por otro lado, las variables dasométricas mostraron una correlación positiva alta ($r = 0.836$), lo cual confirma que a mayor altura mayor diámetro, situación que también sucede en Coacoatzintla (Acosta-Hernández et al., 2011).

Los resultados del ACP mostraron que los dos primeros componentes explicaron el 58 % de la varianza total. Las variables con mayor contribución en la formación del primer componente (34.6 %), y que presentaron correlaciones positivas, fueron AIR, FC y DC; estas variables califican a la copa, por lo que se les denominó como el indicador "COPA" (Cuadros 1 y 2). El segundo componente explicó el 23.1 % de la varianza total; las variables con mayor peso fueron AB y DEP. La variable FF (0.37) tuvo un valor de contribución menor a FC (0.50) y no presentó una correlación significativa con ninguna de las dos variables anteriores; no obstante, dado que permitió calificar al fuste, se agrupó con las variables AB y DEP en el indicador que se denominó "FUSTE" (Cuadros 1 y 2). Las variables dasométricas, altura (H) y diámetro a la altura de 1.3m (DN), se agruparon en el componente 1 con una varianza total

rich to very high in organic matter and nitrogen, with silt loam texture (CI) and moderately acid pH (SEMARNAT 2000, NOM-021-RECNAT-2000). The region's climate is regular temperate-humid with mean annual rainfall of 1,462 mm and mean annual temperature of 17.4°C (National Weather Service, Climate Norms, 1971-2000b). The geographic distance in a straight line between the COA and SJB populations is approximately 20 km. The geographical barriers between the two locations are gullies and hills (Figure 1b).

Morphological variation of *J. pyriformis* in SJB was evaluated using the methodology reported for COA (Acosta-Hernández et al., 2011). In total, 46 sites measuring 400 m² in circumference were established. The distance between sites was equal to or greater than 50 m, or until locating the next individual to avoid the effects of coancestry. At each site, from one to five *J. pyriformis* individuals (148 in total) were evaluated through six morphological variables used by Samaniego-Rojas (2002): stem shape (SS), crown shape (CS), crown diameter (CD), bifurcation height (BH), apical dominance (AD), and branch insertion angle (BIA). In addition, two forest mensuration variables were assessed: diameter at a height of 1.3 m (ND), measured with a tape measure, and total tree height (TTH), estimated with a clinometer (SUNNTO® 15/20).

Statistical analysis. Morphological and forest mensuration data were subjected to Principal Component Analysis (PCA). The relevance of PCA was determined by the Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy and Bartlett's test of sphericity applied to the resulting correlation matrix (Álvarez, 1994). For each indicator (morphological and forest mensuration), the coefficients of correlation were calculated based on their deviation standards. Intrapopulation and interpopulation morphological variation was determined by Levene's test (Correa et al., 2006) applied to the indicators obtained. Tree classification was performed with a Hierarchical Cluster Analysis, using as a dissimilarity measure the squared Euclidean distance and as linkage algorithm Ward's method with a distance of 4 as a threshold (Hidalgo, 2003). To determine the reliability of the classification, Discriminant Factor Analysis was used. Analyses were performed using SPSS software, v. 15 (SPSS, 2006). The mean and standard deviation of the indicators per cluster was calculated with STATISTICA software, v. 7.0 (Statsoft, 2004).

RESULTS AND DISCUSSION

In the SJB population, the matrix of pairwise correlations revealed several significant correlations (Kaiser-Meyer-Olkin = 0.59, $P < 0.05$; Bartlett $P < 0.001$), indicating the relevance of principal component analysis for the variables evaluated. Several positive correlations were found: SS vs CS ($r = 0.201$), SS vs CD ($r = 0.209$), BH vs AD ($r = 0.499$), BIA vs CS ($r = 0.366$), BIA vs CD ($r = 0.488$), and

CUADRO 1. Valores propios y proporción de la varianza total explicada por las variables evaluadas en la población de *J. pyriformis* de San José Buenavista.

TABLE 1. Eigenvalues and proportion of total variance explained by the variables assessed in the *J. pyriformis* population of San José Buenavista.

Proporción de la varianza total explicada	Componentes principales*					
	Variables morfológicas			Variables dasométricas		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Valores propios	2.077	1.383	0.912	1.836	0.164	
Absoluta (%)	34.613	23.048	15.203	91.791	8.209	
Acumulada (%)	34.613	57.661	72.864	91.791	100.000	

C1...C3: Componentes principales

C1...C3: Principal components

CUADRO 2. Contribuciones absolutas (Componentes principales 1 y 2) de las variables evaluadas en la población de San José Buenavista. C1...C2 = Componentes principales. FF: Forma de Fuste; AB: Altura de Bifurcación; DEP: Dominancia del Eje Principal; AIR: Ángulo de Inserción de Ramas; FC: Forma de Copa; DC: Diámetro de Copa; DAP: Diámetro a la altura del pecho y H: altura.

TABLE 2. Absolute contributions (Principal components 1 and 2) of the variables assessed in the San José Buenavista population. C1...C2 = Principal components. FF: Spanish acronym for Stem Shape; AB: bifurcation height; DEP: apical dominance; AIR: branch insertion angle; FC: Crown shape; DC: Crown diameter; DAP: Diameter at breast height and H: height.

Componentes Principales	Contribuciones absolutas							
	Variables Morfológicas				Variables Dasométricas			
	FF	AB	DEP	AIR	FC	DC	DAP	H
C1	0.352	-0.546	-0.467	0.717	0.582	0.764	0.972	0.972
C2	0.369	0.668	0.696	0.198	0.499	0.166	0.972	0.972

de 91.8 %, por lo que se les denominó como indicador "ALT-DIAM" (Cuadros 1 y 2).

El coeficiente de variación para los tres indicadores obtenidos en SJB fue mayor al 25 % (ALT-DIAM = 42 %, COPA = 30 %, FUSTE = 26 %). En cambio en COA, sólo dos indicadores (ALT-DIAM = 50 % y COPA = 26 %) fueron los que contribuyeron a la variación dentro de la población (Acosta-Hernández et al., 2011). De acuerdo a Iglesias-Andreu y Tivo (2006), un coeficiente de variación mayor de veinte por ciento para el diámetro a la altura del pecho evidencia una alta heterogeneidad morfológica en la población.

El análisis de conglomerado efectuado en la población de SJB, clasificó a los individuos evaluados en dos grupos (Figura 2a). La población de COA reveló una mayor variación al formarse tres grupos con características consistentemente distintas (Figura 2b); en esta población el grupo III concentró a los árboles con las mejores características silvícolas, alturas >26 m, diámetros de 38-69 cm, y fustes rectos en la mayoría de los árboles, que correspondieron a 21 % de la población (Acosta-Hernández et al., 2011).

CS vs CD ($r = 0.362$). There were also three negative correlations: BH vs BIA ($r = -0.164$), BH vs CD ($r = -0.289$) and AD vs BIA ($r = -0.173$).

The positive correlations suggest that trees with a non-bifurcated straight stem have apical dominance with branches inserted at an angle of 30° to 60° and vigorous, circular crowns with diameters greater than 10 m. The negative correlations suggest that trees bifurcated in the lower-third section have complete apical dominance over the side branches, branches inserted at an angle of 0° to 30° and small crowns less than 5 m in diameter. On the other hand, forest mensuration variables show a high positive correlation ($r = 0.836$), confirming that the greater the height, the greater the diameter, a situation that also occurs in Coacoatzintla (Acosta-Hernández et al., 2011).

The PCA results showed that the first two components accounted for 58 % of total variance. The variables that contributed more to the formation of the first component (34.6 %), and which presented positive correlations, were BIA, CS and CD; these variables describe the crown, so they are referred to as the "CROWN" indicator (Tables 1

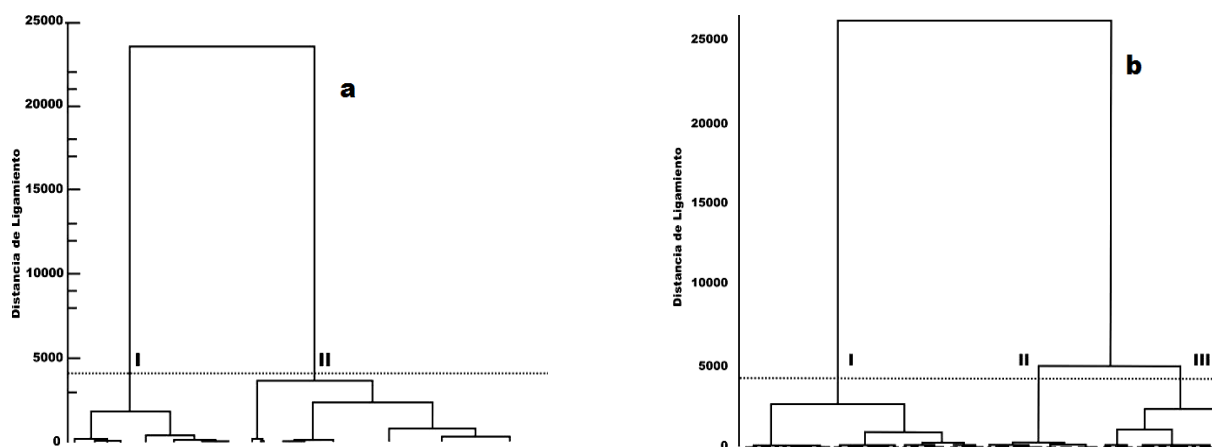


FIGURA 2. Dendrogramas obtenidos por el agrupamiento jerárquico de Ward y la distancia cuadrática euclidiana para la clasificación de los individuos con base en los indicadores ACP: a) San José Buenavista; b) Coacoatzintla; I, II y III = Grupos.

FIGURE 2. Dendrograms obtained by Ward's hierarchical clustering and squared Euclidean distance for classification of individuals based on PCA indicators: a) San José Buenavista; b) Coacoatzintla; I, II and III = Groups.

El agrupamiento en SJB fue determinado por la altura total, diámetro del tronco, forma de la copa y diámetro de la copa. El grupo I estuvo conformado por 54 árboles que correspondieron a 37.2 % de la población; los individuos de este grupo se caracterizaron por tener un fuste recto, no bifurcado con dominancia completa del eje principal, ángulo de inserción de ramas de 30° a 60°, copa de forma circular a circular irregular vigorosa, con un diámetro mayor a 10 m presentando las mejores características en cuanto a altura (18-37 m) y diámetro (21-74 cm). El grupo II estuvo conformado por 94 árboles, que correspondieron al 64.2 % de la población; de éstos, trece presentaron diámetros entre 2 y 10 cm y alturas entre 3.5 y 10 m, mientras que el resto (81 árboles) presentaron diámetros entre 10 y 24 cm, alturas entre 10 y 18.9 m, fuste ligeramente torcido con dominancia completa del eje inicial, pocos individuos bifurcados, ángulo de inserción de las ramas de 30° a 60°, diámetro de copa entre 5 y 10 m, de forma circular a menos de un círculo.

El análisis discriminante indica un 99 % de confiabilidad para la clasificación obtenida por el Análisis de Conglomerado Jerárquico para SJB. El valor de la Lambda de Wilks (0.308) fue significativo ($P < 0.05$), lo cual demuestra que hubo una buena clasificación de los individuos dentro de los dos grupos formados. Asimismo, los estadísticos descriptivos para los indicadores ALT-DIAM y COPA mostraron diferencias entre conglomerados. Los valores detectados para el FUSTE resultaron similares para los dos conglomerados (Cuadro 3).

De acuerdo a la prueba de Levene, la variación intrapoblacional en SJB fue significativa ($P < 0.05$) para los indicadores COPA (0.030) y ALT-DIAM (0.161) (Cuadro 4). En COA la prueba de Levene fue significativa ($P < 0.05$) para estos mismos indicadores (COPA = 0.036; ALT-DIAM = 0.024), no así para FUSTE (0.534). El indicador FUSTE no mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en

and 2). The second component explained 23.1 % of total variance; the variables with greater weight were BH and AD. The variable SS (0.37) had a lower contribution value than CS (0.50) and did not significantly correlate with either of the two previous variables; however, given that it allowed qualifying the stem, it was grouped with the variables BH and AD in the "STEM" indicator (Tables 1 and 2). The forest mensuration variables, height (H) and diameter at a height of 1.3 m (ND), were grouped in component 1 with a total variance of 91.8 %, so they were labeled as the "HEIGHT-DIAM" indicator (Tables 1 and 2).

The coefficient of variation for the three indicators obtained in SJB was 25 % higher (HEIGHT-DIAM = 42 %, CROWN = 30 %, STEM = 26 %). By contrast, in COA only two indicators (HEIGHT-DIAM = 50 % and CROWN = 26 %) contributed to variation within the population (Acosta-Hernández *et al.*, 2011). According to Iglesias-Andreu and Tivo (2006), a coefficient of variation greater than twenty percent for diameter at breast height shows high morphological heterogeneity in the population.

The cluster analysis performed on the SJB population classified the individuals evaluated into two groups (Figure 2a). COA's population revealed higher variation by forming three groups with consistently different characteristics (Figure 2b); in this population, group III concentrated trees with the best silvicultural characteristics, heights >26m, diameters of 38-69 cm, and straight stems in most of the trees, accounting for 21 % of the population (Acosta-Hernández *et al.*, 2011).

The SJB clustering was determined by total height, trunk diameter, crown shape and crown diameter. Group I consisted of 54 trees, accounting for 37.2 % of the population; individuals in this group are characterized by having a non-bifurcated straight stem with complete apical dominance, branch insertion angle of 30° to 60°, vigorous, circular to irregular circular crown, with a diameter

ninguna de las dos poblaciones, lo que muestra que los indicadores COPA y ALT-DIAM son los más importantes en la clasificación de los individuos para ambas poblaciones (Acosta-Hernández et al., 2011).

Respecto a la variación interpoblacional (SJB vs COA), la prueba de Levene fue significativa ($p < 0.05$) para los tres indicadores, COPA, FUSTE y ALT-DIAM (Cuadro 4), lo cual revela que las poblaciones son morfológicamente diferentes. El promedio de estos indicadores es mayor en COA con respecto a SJB (Cuadro 3).

En el presente estudio la altura, el diámetro y la copa fueron los caracteres que aportaron mayor variación y determinaron el agrupamiento de los árboles dentro y entre poblaciones. En ambas, las características edáficas y climáticas son diferentes, por lo que es posible que la variación intra e interpoblacional observada se

greater than 10 m, presenting the best characteristics in terms of height (18-37 m) and diameter (21-74 cm). Group II consisted of 94 trees, making up 64.2 % of the population; of these, thirteen had diameters between 2 and 10 cm and heights between 3.5 and 10 m, while the rest (81 trees) had diameters between 10 and 24 cm, heights between 10 and 18.9 cm, a slightly twisted stem with complete apical dominance, few bifurcated individuals, branch insertion angle of 30° to 60° , crown diameter between 5 and 10 cm, and circular to less-than-circular crown shape.

Discriminant analysis indicates 99 % reliability for the classification obtained by Hierarchical Cluster Analysis for SJB. The Wilks' lambda value (0.308) was significant ($P < 0.05$), demonstrating that there was a good classification of individuals within the two groups formed. Also, the descriptive

CUADRO 3. Estadísticas descriptivas (media y desviación estándar) de los indicadores por conglomerado obtenidos para las poblaciones de *J. pyriformis* en San José Buenavista (SJB) y Coacoatzintla (COA).

TABLE 3. Descriptive statistics (mean and standard deviation) of the indicators obtained by clustering for the *J. pyriformis* populations in San José Buenavista (SJB) and Coacoatzintla (COA).

Indicadores	Conglomerados		
	C1	C2	C3
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
SJB	COPA	4.24 ± 1.02	3.15 ± 1.01
	FUSTE	4.24 ± 1.08	4.15 ± 1.12
	ALT-DIAM	32.51 ± 6.54	14.09 ± 4.91
COA	COPA	5.93 ± 0.72	4.43 ± 1.36
	FUSTE	4.96 ± 1.06	5.27 ± 0.99
	ALT-DIAM	43.87 ± 8.18	30.56 ± 2.43

CUADRO 4. Variación intrapoblacional (SJB) e interpoblacional (SJB vs COA) evaluada con base en los indicadores COPA, FUSTE y ALT-DIAM, para *J. pyriformis*.

TABLE 4. Intrapopulation variation (SJB) and interpopulational variation (SJB vs COA) evaluated based on the indicators CROWN, STEM and HEIGHT-DIAM for *J. pyriformis*.

Variación	Indicadores	Estadístico de Levene	gl ₁	gl ₂	P
Intrapoblacional (SJB)	COPA	4.812	1	146	0.030*
	FUSTE	0.192	1	146	0.662
	ALT-DIAM	1.983	1	146	0.161*
Interpoblacional (SJB vs COA)	COPA	6.554	1	258	0.011*
	FUSTE	13.527	1	258	<0.001*
	ALT-DIAM	5.157	1	258	0.024*

gl_{1, 2}: grados de libertad; *Significativo ($p < 0.05$).

gl_{1, 2}: Spanish acronym for degrees of freedom; *Significant ($p < 0.05$).

deba a la respuesta de cada individuo a las condiciones del sitio. Esta variación ambiental afecta en mayor medida a la altura y el diámetro (Zobel y Talbert, 1988). En dos regiones de Cataluña, España, se encontró que la variación en altura y diámetro de *J. regia* está significativamente ligada a las características edáficas y climáticas de las localidades de origen (Aletá et al., 2003).

La variación morfológica detectada en SJB (148 árboles clasificados en dos grupos) en relación con la observada en COA (112 árboles clasificados en tres grupos), puede explicarse si se tiene en cuenta la extracción selectiva que se llevó a cabo en la población de SJB, durante el periodo 2000-2003. Conforme a la evaluación dasométrica, en SJB se encontraron las siguientes categorías diamétricas: 1) 25 % entre 1.5 y 17cm; 2) 31.8 % entre 18 y 32 cm; 3) 35.8 % entre 33 y 47cm; 4) 7.4 % mayores a 48 cm. En la categoría diamétrica 3 no se encontraron árboles de 45 cm de DAP y solo dos presentaron DAP mayores a 45 cm y en la categoría 4 sólo se agruparon 11 árboles. Estos datos demuestran que la extracción selectiva; fue dirigida a árboles sanos de interés forestal con diámetro normal igual o mayor a 45 cm. En la población de COA, los árboles se distribuyeron en las categorías diamétricas de la siguiente manera: 1) 24 %; 2) 27 %; 3) 29 % y 4) 20 %. En esta población la eliminación del arbolado no ha sido selectiva, más bien ha estado determinada por el crecimiento urbano y explotación clandestina (Acosta-Hernández et al., 2011). Lo que explica la proporción más homogénea de los individuos en cada categoría diamétrica.

Considerando que no se evaluó a la población de SJB previamente al proceso de extracción selectiva, no podemos asegurar que antes del aprovechamiento la población tuviese igual o mayor variación que la de COA. Sin embargo, teniendo en cuenta que la única diferencia evidente en la historia de las poblaciones es la extracción selectiva, asumimos que tanto la variación intrapoblacional en SJB como la variación interpoblacional (SJB vs COA) podrían estar dadas por el aprovechamiento forestal llevado a cabo en SJB.

Asimismo, es posible que debido a la eliminación selectiva de ejemplares en SJB, algunas características de importancia silvícola se estén perdiendo, y con ello algunos alelos relacionados con estos fenotipos (Climent et al., 2008), lo que se presume también puede estar sucediendo en COA por la reducción de la población, aunque por causas diferentes.

Diversos autores (Putz, 1994; Lee et al., 2002; Wickneswari et al., 2004) indican que las prácticas de aprovechamiento forestal basadas únicamente en el diámetro, pueden provocar la erosión genética y la declinación del bosque. Según estos autores, el aprovechamiento afecta la composición y diversidad vegetal, la edad, la distribución de la densidad y genera un alto

statistics for the indicators HEIGHT-DIAM and CROWN showed differences between clusters. The values detected for STEM were similar for the two clusters (Table 3).

According to Levene's test, intrapopulation variation in SJB was significant ($P < 0.05$) for the indicators CROWN (0.030) and HEIGHT-DIAM (0.161) (Table 4). In COA, Levene's test was significant ($P < 0.05$) for the same indicators (CROWN = 0.036; HEIGHT-DIAM = 0.024), but not for STEM (0.534). The STEM indicator showed no significant differences ($P < 0.05$) in either of the two populations, showing that the indicators CROWN and HEIGHT-DIAM are the most important in the classification of individuals for both populations (Acosta-Hernández et al., 2011).

With respect to interpopulation variation (SJB vs COA), Levene's test was significant ($P < 0.05$) for all three indicators, CROWN, STEM and HEIGHT-DIAM (Table 4), which reveals that the populations are morphologically different. The average of these indicators is higher in COA than in SJB (Table 3).

In this study height, diameter and crown were the characteristics that contributed the most variation and determined the grouping of trees within and between populations. In both, soil and climatic characteristics are different, so it is possible that the intra- and interpopulation variation observed is due to the response of each individual to site conditions. This environmental variation affects height and diameter more than other characteristics (Zobel and Talbert, 1988). In two regions of Catalonia, Spain, it was found that variation in height and diameter of *J. regia* is significantly linked to the soil and climatic characteristics of the places of origin (Aletá et al., 2003).

The morphological variation detected in SJB (148 trees classified into two groups) compared to that observed in COA (112 trees classified into three groups) can be explained if one takes into account the selective cutting that was carried out in the SJB population during the 2000-2003 period. Based on the forest mensuration evaluation, the following diameter categories were found in SJB: 1) 25 % between 1.5 and 17 cm; 2) 31.8 % between 18 and 32 cm; 3) 35.8 % between 33 and 47 cm; 4) 7.4 % greater than 48 cm. In diameter category 3, no trees of 45 cm in DBH were found and only two had DBH greater than 45 cm and in category 4 only 11 trees were grouped. These data demonstrate that the selective extraction was directed at healthy, merchantable trees with normal diameter equal to or greater than 45 cm. In the COA population, the trees were distributed in diameter categories as follows: 1) 24 %; 2) 27 %; 3) 29 % and 4) 20 %. In this population the removal of trees has not been selective, rather it has been determined by urban growth and illegal logging (Acosta-Hernández et al., 2011), which explains the more homogeneous proportion of individuals in each diameter category.

Considering that the SJB population was not assessed prior to the selective extraction process, we can not be sure that before harvesting the population had equal or greater varia-

riesgo de deriva genética en las poblaciones raras o reducidas.

Por otro lado, la variación observada entre las poblaciones no necesariamente está ligada a la disminución del potencial evolutivo (variabilidad genética) de *J. pyriformis* en SJB (Lande, 1999), sino que podría tener un componente ambiental fenotípico (Sultan, 2003; Gianoli, 2004; Chambel *et al.*, 2005). Para corroborar esta información, actualmente se realiza un estudio genético para ambas poblaciones.

CONCLUSIONES

Los indicadores de COPA y ALT-DIAM, fueron los que determinaron la variación intrapoblacional y la clasificación de los individuos en las dos poblaciones estudiadas. La población de *J. pyriformis* de SJB presenta menor variación morfológica que la de COA. Debido a que el programa de aprovechamiento forestal sólo fue aplicado en SJB y que no existe otra diferencia en la historia de las poblaciones, podemos asumir que estas diferencias en la variación morfológica se deben a este factor.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo del CONACYT, por la beca otorgada para la realización de los estudios de doctorado en Ecología y Biotecnología del INBIO-TECA-UV. Especialmente agradecemos el invaluable apoyo en campo de J. Javier Juárez De La Fuente, Jesús Baillet E., Santiago Ángeles T. y al Sr. Carmelo Rivera Hernández.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carrazana, J. C., Galindo-González, J., Vázquez-Torres, S. M., Morales-Romero, Z., & Iglesias-Andreu, L. G. (2011). Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17, 59-67.
- Aletà, N., Ninot, A., & Voltas, J. (2003). Caracterización del comportamiento agroforestal de doce genotipos del nogal (*Juglans* sp) en dos localidades de Cataluña. *Investigación Agraria. Sistema de Recursos Forestales*, 12, 39-50.
- Álvarez, C. R. (1994). Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud. Madrid, España. Ediciones Díaz Santos, S.A.
- Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29, 57-76.
- Climent, J., Chambel, R., Brabas, D., Voltas, J., & Alía, R. (2008). Evaluación genética de la población forestal: Concepto y resultados disponibles para rodales de pinos españoles. *Boletín del CIDEU*, 6-7, 69:82.
- Chambel, M. R., Climent, J., Alía, R., & Valladares, F. (2005). Phenotypic

tion than that of COA. However, taking into account that the only apparent difference in the history of the populations is the selective removal, we assume that both the intrapopulation variation in SJB and the interpopulation variation (SJB vs COA) may be due to the forest harvesting carried out in SJB.

It is also possible that due to the selective removal of specimens in SJB, some important silvicultural characteristics are being lost, and with them some alleles associated with these phenotypes (Climent *et al.*, 2008), which may also be presumed to be happening in COA due to the reduction in the population, albeit for different reasons.

Several authors (Putz, 1994; Lee *et al.*, 2002; Wickneswari *et al.*, 2004) suggest that forest harvesting practices based solely on diameter may cause genetic erosion and the decline of the forest. According to these authors, harvesting affects plant composition and diversity, age and density distribution, and also generates a high risk of genetic drift in small or rare populations.

On the other hand, the observed variation between the populations is not necessarily linked to reduced evolutionary potential (genetic variability) of *J. pyriformis* in SJB (Lande, 1999), but could have a phenotypic environmental component (Sultan, 2003; Gianoli, 2004; Chambel *et al.*, 2005). To corroborate this information, a genetic study is currently being carried out for both populations.

CONCLUSIONS

The CROWN and HEIGHT-DIAM indicators determined the intrapopulation variation and the classification of the individuals in the two populations studied. The *J. pyriformis* population in SJB showed less morphological variation than that in COA. Because the forest harvesting program was only implemented in SJB and as there is no other difference in the history of the populations, we can assume that these differences in morphological variation are due to this factor.

ACKNOWLEDGMENTS

The lead author appreciates the support provided by CONACYT (Mexico's National Science and Technology Council) through a scholarship granted to carry out doctoral studies in ecology and biotechnology at the Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA), Universidad Veracruzana. We are especially grateful for the invaluable field support provided by J. Javier Juárez De La Fuente, Jesús Baillet E., Santiago Ángeles T. and Mr. Carmelo Rivera Hernández.

End of English Version

- plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, 14, 334-344.
- Finkeldey, R. & Ziehe, M. (2004). Genetic implications of silvicultural regimes. *Forest Ecology and Management*, 197, 231-244.
- Gianoli, E. (2004). Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. pp. 13-25. In: *Fisiología Ecológica en plantas. Mecanismos y Respuestas a Estrés en los ecosistemas*. Valparaíso Chile. Marino C. H.
- Hammer, K. & Khoshbakht, K. (2005). Towards a "red list" for crop plant species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52, 249-265.
- Hidalgo, R. (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. pp. 2-49. In: *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos (2003)*. Boletín Técnico 8, Tito L. F. y Rigoberto Hidalgo (eds). Cali, Colombia. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).
- Iglesias-Andreu, L. G. & Tivo, F. Y. (2006). Caracterización morfométrica de las poblaciones de *Pinus hartwegii* Lindl del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Ra Ximhai*, 2, 449-468.
- Jardel-Pelaez, E. J. (1985). Una revisión crítica del método mexicano de ordenación de bosques, desde el punto de vista de la ecología de poblaciones. *Ciencia Forestal*, 58, 3-16.
- Lande, R. (1999). Extinction risks from anthropogenic, ecological and genetic factors. pp. 1-22. In: *Genetics and the extinction of species*. Landweber, L. F. and Dobson, A. P. (eds). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Lee, C. T., Wickneswari, R., Mahani, M. C., & Zakri, Y. A. H. (2002). Effect of selective logging on the genetic diversity of *Scaphium macropodum*. *Biology Conservation*, 104, 107-118.
- Putz, F. E. (1994). *Approaches to sustainable forest management*. Bogor, Indonesia, CIFOR.
- Samaniego-Rojas, C. (2002). *Las fuentes semilleras y semillas forestales nativas en el austro ecuatoriano: participación social en el manejo*. Loja, Ecuador. Fundación Ecológica Condesur,.
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México, D.F. Diario Oficial.
- Servicio Forestal Oriente. (2000). *Programa Forestal de aprovechamiento maderable persistente del predio rústico innominado de la Congregación de San José Buenavista, Municipio de Altotonga, Veracruz*. Veracruz: Servicio Forestal Oriente.
- Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas 1971-2000a. *Estado de Veracruz. Estación Meteorológica 00030008, Altotonga, Veracruz*. CONAGUA. http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/catalogos/cat_ver.html
- Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas 1971-2000b. *Estado de Veracruz. Estación Meteorológica 00030114, Naolinco de Victoria, Veracruz*. CONAGUA. http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/catalogos/cat_ver.html
- SPSS, Inc. (2006). SPSS: Statistical Package for the Social Sciences, versión 15 para Windows.
- STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7.
- Sultan, E. S. (2003). Phenotypic plasticity in plants: a case study in ecological development. *Evolution and Development*, 5, 25-33.
- Torres, R. J. M. (2000). Sostenibilidad del volumen de cosecha calculado con el Método Mexicano de Ordenación de Montes. Instituto de Ecología A. C. *Madera y Bosques*, 6, 57-72.
- Wickneswari, R., Ho, W. S., Lee, K. S., & Lee, Y. C. T. (2004). Impact of disturbance on population and genetic structure of tropical forest trees. *Forest Genetics*, 11, 193-201.
- Zobel, J. B. & Talbert, J. T. (1988). Técnicas de Mejoramiento Genético en Árboles Forestales. Trad. por M. Guzmán Ortiz. LIMUSA. México, D.F. 545p.