

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 28 NÚM. 94 112 p. MÉXICO, D. F. JUL-DIC 2003

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN

EFFECTO DE LA VEGETACIÓN ASOCIADA AL SOTOBOSQUE SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE *Abies religiosa* (HBK.) Schltld. et Cham.

Cecilia Nieto de Pascual Pola¹, Miguel Ángel Musálem S.²
y José C. Boyás Delgado³

RESUMEN

En su etapa inicial, los árboles del género *Abies* permanecen varios años en el sotobosque, durante los cuales su crecimiento es lento y desarrollan características afines a las especies forestales tolerantes a la sombra. Con el propósito de reconocer el efecto de la vegetación asociada a este estrato en la supervivencia y crecimiento de *Abies religiosa*, se planteó un experimento bajo diferentes condiciones de luz, de suelo forestal procedente de dos opciones de apertura de dosel y con presencia o ausencia de vegetación. El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Vivero Forestal de la Universidad Autónoma Chapingo, con un diseño que consistió en tres tratamientos de sombra (0, 35 y 70%), dos tipos de sustrato (de bosque abierto y de bosque cerrado), y dos controles de la vegetación espontánea (con vegetación y sin vegetación) de la cual se identificaron las especies presentes; el ensayo se realizó con dos repeticiones. La respuesta del oyamel se determinó en términos de mortalidad y de altura de las plántulas. De la vegetación espontánea se identificaron 34 especies, de las cuales 10 son monoespecíficas, que en conjunto pertenecen a 16 familias, entre las que predominan las Compositae. La mortalidad más alta de oyamel se registró en ausencia de sombra (0%), en suelo de bosque cerrado, sin vegetación, y la mejor supervivencia se presentó bajo 70% de sombra en bosque cerrado. El crecimiento en altura más notorio lo presentaron las plántulas libres de sombra

Fecha de recepción: 01 de noviembre de 2001.

Fecha de aceptación: 11 de mayo de 2005.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: nieto.cecilia@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Valle de México, Centro de Investigación Regional Centro (C. I. R. Centro), INIFAP.

³ Campo Experimental Zacatepec, C.I.R. Centro, INIFAP.

(0%) y de vegetación, y el menos destacado las que se sometieron al tratamiento sin sombra con vegetación.

Palabras clave: *Abies religiosa*, competencia, crecimiento, desarrollo inicial, substrato, vegetación.

ABSTRACT

At early stages, fir trees (*Abies*) stay in the undergrowth for several years, during which they grow slowly and develop characteristics of shadow tolerant species. In order to know the effect of the undergrowth flora upon the survival and growth of *Abies religiosa*, an experiment was carried out with different light conditions as well as forest soil and vegetation options, through which the response of this fir seedlings was determined in terms of mortality and height. The experiment was established in a greenhouse of the Forest Nursery of the Universidad Autonoma Chapingo. The experimental design consisted in three shadow treatments (0, 35 and 70%), two soil provenances (open canopy forest and closed canopy forest), and two vegetation control treatments (with and without vegetation), with two replications. From the spontaneous vegetation 34 flora species were determined, from which ten are monospecific, that as a whole belong to 16 families, of which Compositae is the dominant group. The highest mortality appeared under the 0% shadow treatment, on closed canopy forest soil without vegetation, and the best survival, at 70% on closed canopy forest soil. The most notorious height growth was reported by seedlings under the 0% treatment, without vegetation, and the shortest by those under the 0% shadow treatment with vegetation.

Key words: *Abies religiosa*, competence, growth, initial development, substrate, vegetation.

INTRODUCCIÓN

El sotobosque es el estrato vegetal más cercano al piso forestal, y está integrado por plantas herbáceas, arbustos y los renuevos de las especies arbóreas. Es aquí donde el arbolado joven permanece durante sus primeras etapas de desarrollo y se presenta la mayor mortalidad de la población, entre otras razones, por el nivel de competencia que se genera por la captación de recursos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las nuevas plantas, lo que es indispensable para su supervivencia, una vez que se han agotado las reservas de las semillas, pues éstas únicamente pueden sostener a la mayoría de las especies, por algunos días o semanas (Kozlowski, 1979).

Los principales recursos que se demandan son aquellos relacionados con la fotosíntesis: luz solar, agua, bióxido de carbono y los nutrimentos del suelo. La luz,

como componente esencial, es significativa en términos de producción fotosintética; sin embargo, este es un proceso complejo en el que intervienen tanto factores ambientales, como características intrínsecas de las especies. Así, los efectos de la luz y el agua son interactivos e interdependientes (Kramer y Kozlowski, 1960).

En cuanto a la resistencia al sombreado, las especies vegetales se denominan intolerantes, que corresponden a las que se asocian con una fuerte demanda de luz, con un crecimiento rápido y una duración corta; muchas de ellas son anuales. Las tolerantes, son aquellos vegetales capaces de sobrevivir y prosperar en condiciones de una mayor proporción de sombra durante las horas de luz, lo cual puede ser con porcentajes inferiores a 20. Su crecimiento es lento y aún permanecen vivos por varios años.

La competencia se lleva a cabo tanto en la parte aérea como a nivel radicular y determina que sólo sobrevivan aquellos árboles capaces de alcanzar un tamaño que les permita incorporarse a la masa arbórea. Esta fuerza de selección es relevante para la evolución de la comunidad forestal (Spurr y Barnes, 1982).

Esta relación interespecifica resulta un proceso difícil para las plantas del sotobosque. De las especies herbáceas, las compuestas y las gramíneas tienden a ser dominantes por número de taxa y por cobertura (Niño de Pascual, 1987). Muchas integrantes de ambas familias son anuales, de crecimiento rápido y sus ciclos biológicos son muy breves, con una importante demanda de recursos. La flora asociada a este nivel alcanza alturas muy destacadas con respecto a las plántulas de los árboles; lo anterior se relaciona con su vigoroso sistema radical, por ubicarse en un substrato húmedo no-saturado, como son los suelos forestales, característica que favorece la absorción de nutrimentos en forma abundante (Cronquist, 1977). Las plantas que adquieren una gran cobertura, superior incluso a 1.50 m² por macoyo, en el caso de los pastos, o por individuo, en las herbáceas, en general, redundan en una mayor área foliar, y por ende, en productividad más alta con respecto a la de los árboles, que además, crecen aislados entre sí.

Por su parte, la cobertura de los individuos arbóreos es muy reducida hasta el momento de rebasar el estrato herbáceo. En este periodo inicial ocurre una severa mortalidad, que se acentúa en épocas de máximo calor y/o de sequía. La mortandad de las plántulas del arbolado en el sotobosque se asocia a su tolerancia a la sombra, definida por la capacidad relativa para sobrevivir y prosperar dentro de este estrato vegetal, y que responde a las adaptaciones genéticas y fisiológicas a dicho ambiente (Spurr y Barnes, 1982). Las especies intolerantes se relacionan con una fuerte demanda de luz, con un crecimiento rápido y una duración corta; muchas de ellas son anuales.

En su etapa inicial, las plántulas de *Abies* permanecen varios años en el sotobosque, en los cuales su crecimiento es lento y desarrollan características

afines a las plantas forestales tolerantes a la sombra: ramas inferiores densamente foliadas por lapsos largos de tiempo (5 años para el oyamel), troncos ahusados, copas densas y profundas (Larson, 1963 in Spurr y Barnes, 1982). Así, están consignadas como especies muy tolerantes *Abies balsamea* (L.) Mill., *A. concolor* (Gord. et Glend.) Lindl. y *A. amabilis* (Dougl.) Forbes, las cuales requieren entre 1 y 3% de irradiación solar. *A. religiosa* se ha considerado tolerante, categoría que se basa, principalmente, en observaciones de campo (Manzanilla, 1974).

La humedad abundante del substrato se vincula con la poca penetración de luz solar a los estratos vegetales inferiores, que favorece la presencia de especies de hongos comestibles de alto valor de uso y comercial, con los que se establecen relaciones micorrícicas estrechas. Para el bosque de *A. religiosa* se han identificado más de 15, entre los que se cuentan *Amanita caesarea* (Scop. Fr.) Pers., *A. rubescens* (Pers. Fr.) S. F.Gray, *Boletus aestivalis* Paulet. et Fr., *B. edulis* y *Cantharellus cibarius* Fr. (Alvarado y Manzola, 1993; Zamora-Martínez et al., 1994).

El establecimiento de numerosos individuos pertenecientes a varios taxa en el sotobosque produce cubiertas vegetales que contribuyen a conservar un ambiente húmedo y sombrío, que les otorga ventajas a algunos, pero uno de los impactos negativos es la inhibición del crecimiento y desarrollo de especies forestales, en particular las intolerantes. Sin embargo, aun tratándose de plantas tolerantes, Del Moral y Cates (1971) identificaron un efecto inhibitor de la vegetación herbácea para plántulas de *Abies grandis* (Dougl.) Lindl.

No obstante que, es práctica silvícola común la remoción de malezas para el establecimiento de plantaciones forestales (Baker, 1950), no se tienen antecedentes específicos para *Abies religiosa*. Si la regeneración de este taxón se da bajo condiciones naturales, es necesario determinar la influencia de dicho factor, para derivar información que facilite su manejo.

El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto de la vegetación del sotobosque sobre la supervivencia y crecimiento de *Abies religiosa*, en varias condiciones de luz y suelo procedente de un bosque con diferente apertura de dosel.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero del Vivero Forestal de la Universidad Autónoma Chapingo, con un diseño que consistió en combinar tres niveles de sombra (0, 35 y 70%), dos de substrato (de bosque abierto y de bosque cerrado), y dos de control de la vegetación (con vegetación y sin vegetación) con dos repeticiones de cada uno de los 12 tratamientos obtenidos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Identificación de los tratamientos aplicados en los experimentos.

Tratamiento	Sombra	Substrato	Control de Vegetación	Clave
1	sin	Bosque Abierto (BA)	Sin (Sv)	0%/BA/Sv
2			Con (Cv)	0%/BA/Cv
3		Bosque Cerrado (BC)	Sin (Sv)	0%/BC/Sv
4			Con (Cv)	0%/BC/Sv
5	35%	Bosque Abierto (BA)	Sin (Sv)	35%/BA/Sv
6			Con (Cv)	35%/BA/Cv
7		Bosque Cerrado (BC)	Sin (Sv)	35%/BC/Sv
8			Con (Cv)	35%/BC/Cv
9	70%	Bosque Abierto (BA)	Sin (Sv)	70%/BA/Sv
10			Con (Cv)	70%/BA/Cv
11		Bosque Cerrado (BC)	Sin (Sv)	70%/BC/Sv
12			Con (Cv)	70%/BC/Cv

En la Estación Experimental Forestal Zoquiapan de la Universidad Autónoma Chapingo se seleccionaron dos rodales de *Abies religiosa* con diferente apertura de dosel ("Piedras Blancas", para dosel cerrado y "Texcalieca" para dosel abierto), para coleccionar muestras de suelo con el propósito de recrear en el experimento las condiciones en las que se desarrollan las plántulas de oyamel de forma natural. El suelo se obtuvo de los primeros 30 cm de profundidad en corte de perfil de 30 x 60 cm, aproximadamente; se les depositó en bandejas plásticas llamadas almácigos (Polietilenos del Sur, S. A.), etiquetadas por número y tipo de dosel, para no mezclar el material; así se pretendió conservar la distribución y calidad del sustrato como está en su estado natural.

El material vegetal procedió del Vivero Forestal Chapingo donde se germinaron las semillas de árboles de *Abies religiosa* procedentes del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla del INIFAP, en el estado de Puebla, que fueron recolectadas en el invierno de 1995.

En una platabanda del invernadero se colocaron los sombreados que consistieron en cuatro soportes verticales que sostenían una malla horizontal de diferente intensidad (0, 35 y 70%). Dentro de cada uno de los almácigos con el sustrato procedente de los rodales seleccionados, se incorporaron nueve plántulas de *Abies religiosa* de dos meses de edad en cada una, en un arreglo regular.

Los pasillos entre las cajas experimentales fueron deshierbados periódicamente para evitar la invasión de plantas emergentes a las cajas de siembra. Los crecimientos alcanzados por la flora del sotobosque emergida en los almácigos y en las combinaciones en que no se le controló (Cv), se sostuvieron con una estructura de estacas de madera y líneas de cuerda de ixtle (fibras de agave).

Se midió la altura de las plántulas una vez por mes y se registró la mortalidad con la misma frecuencia. A todas las cajas se les aplicó riego con una solución de Captán al 1% una vez por semana el primer mes, y con agua potable cada tercer día durante los 15 meses restantes que duró el experimento.

Además, se observó la presencia de plantas en el resto de las cajas (Sv), registrando las especies emergidas. El crecimiento de la vegetación espontánea, se evitó al cortar una vez por semana todos los individuos a ras de suelo con tijeras de podar. Se tomaron muestras para su determinación taxonómica, que se realizó con el apoyo de personal del Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional, y del Herbario Nacional Forestal (INIF) del INIFAP "Biól. Luciano Vela Gálvez". En el 50% restante de las cajas se dejó crecer la vegetación asociada sin restricción (Cv).

Los resultados de mortalidad y de crecimiento en la última evaluación fueron examinados mediante análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey con apoyo del programa SAS (1999-2001).

RESULTADOS

Significancia de valores e interacciones

Los factores significativos para la mortalidad son el tipo de sustrato y la sombra, y el menos significativo es la vegetación (Cuadro 2). Sin embargo, éstos no actúan en forma independiente, ya que hay una acción combinada del sustrato con la sombra y con la vegetación; no obstante, la interacción de mayor nivel no es estadísticamente importante.

Para el crecimiento, el sustrato no tuvo efecto, pero los otros dos elementos fueron muy significativos aun cuando no actúan solos, ya que la interacción más fuerte que corresponde a la de las tres variables, tiene un impacto muy vigoroso.

Mortalidad

El valor más alto se verifica en el tratamiento sin vegetación (Sv), presentándose un menor número de plántulas muertas en las cajas con suelo de dosel abierto (BA), a excepción del tratamiento con 70% de sombra, donde ocurre lo contrario (BC). Bajo este porcentaje de luz, el efecto de la vegetación no se manifiesta, pues el número real de plántulas muertas es el mismo en Cv que en Sv. En el suelo procedente de BA no se observa ninguna tendencia (Cuadro 2).

La interacción bosque cerrado/abierto con el porcentaje de sombra reflejan diferentes respuestas en la mortalidad de las plántulas de *Abies religiosa* que se aprecian en la Figura 1.

En la Figura 2 se muestra que el efecto del control de la vegetación en sustrato procedente de bosque cerrado fue muy importante, ya que ocurrieron un gran número de muertes de plántulas de oyamel cuando se aplicó, sin embargo, en el procedente de bosque abierto, dicha respuesta desaparece.

Crecimiento

El crecimiento en altura de las plántulas se registró durante 16 meses (Figura 3). Cabe destacar, como se indicó anteriormente, que la interacción de mayor nivel es significativa.

Los mejores crecimientos de las plántulas de oyamel se dieron en ausencia de vegetación sobre suelo procedente de bosque abierto y sin sombra (Sv/BA/0%); la segunda opción también se presentó en ausencia de vegetación, pero con suelo de bosque cerrado y 35% de sombra. En contraste, el peor tratamiento fue con vegetación, en suelo procedente de bosque abierto y bajo 35% de sombra. A partir de los 12 meses, la primera alternativa mantuvo su tendencia y el resto de los tratamientos fueron semejantes entre sí.

Las plántulas desarrolladas con vegetación del sotobosque, alcanzaron menos altura que aquellas libres de plantas, definiéndose dos grupos diferentes a partir del tercer mes del establecimiento del experimento. Estos resultados señalan que la vegetación asociada influye de manera negativa en el crecimiento en altura de los individuos jóvenes.

Cuadro 2. Mortalidad de *Abies religiosa* acumulada por efecto del tipo de bosque, sombra y vegetación.

Mes	Dosel	Con vegetación			Sin vegetación			Total
		0%	35%	70%	0%	35%	70%	
07	BA	-	-	-	-	-	-	-
	BC	-	-	-	-	-	-	-
08	BA	1	2	-	1	1	-	5
	BC	2	-	1	2	2	1	8
09	BA	2	4	-	1	5	0	12
	BC	7	0	1	9	4	2	23
10	BA	2	4	-	1	5	-	12
	BC	10	-	1	9	6	3	29
11	BA	2	4	1	1	5	-	13
	BC	10	-	1	10	6	3	30
12	BA	2	4	2	1	5	-	14
	BC	10	-	1	10	6	3	30
01	BA	2	4	2	1	6	-	15
	BC	10	-	1	10	6	4	31
02	BA	3	5	3	1	7	1	20
	BC	11	-	1	10	6	4	32
03	BA	3	6	3	1	7	2	22
	BC	11	-	1	10	6	4	32
04	BA	3	6	3	1	7	2	22
	BC	12	-	3	10	6	4	35
05	BA	3	6	3	1	7	2	22
	BC	12	-	4	10	6	4	36
06	BA	3	6	4	1	7	2	23
	BC	12	-	4	10	6	4	36
07	BA	3	6	5	1	7	3	25
	BC	14	-	4	10	6	4	38
08	BA	4	7	5	6	7	5	34
	BC	15	-	4	11	6	4	40
09	BA	4	7	5	6	7	5	34
	BC	15	1	4	11	6	4	41
10	BA	4	7	5	6	7	5	34
	BC	15	1	4	11	6	4	41

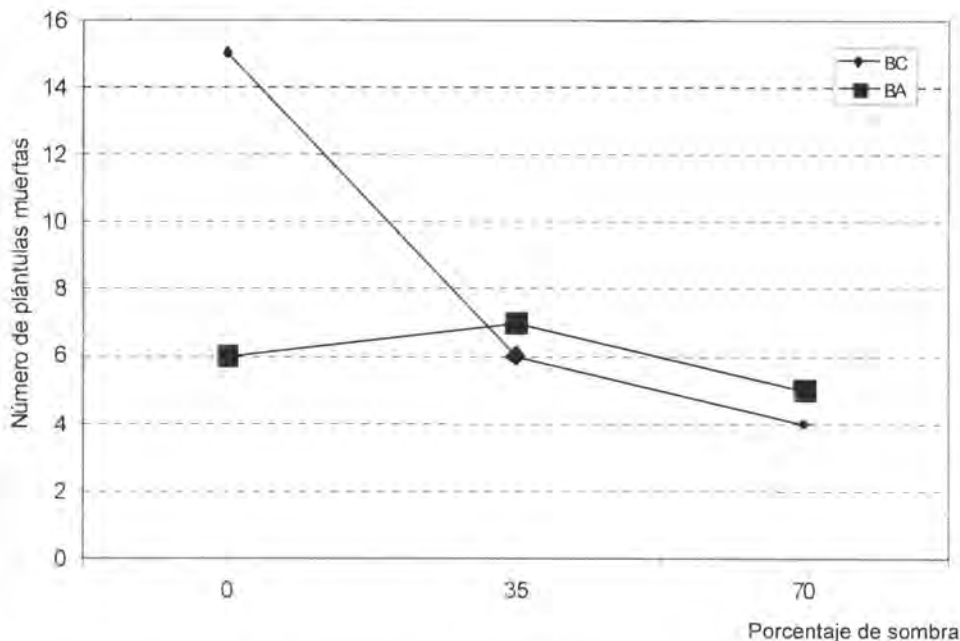


Figura 1. Mortalidad de plántulas de *Abies religiosa* en interacción con el origen del sustrato / porcentaje de sombra.

Vegetación asociada

La flora reunida en el tratamiento con vegetación Cv estuvo integrada por 34 taxa (Cuadro 3) que integran el estrato herbáceo principalmente. Es característico del bosque de oyamel la predominancia de compuestas por número de especies, mientras que son más escasas las gramíneas y la mayor diversidad se registra con familias monoespecíficas.

DISCUSIÓN

La competencia es una interrelación entre individuos, que resulta de una demanda compartida por recursos limitados, que se traduce en una reducción en la supervivencia, crecimiento y/o reproducción. Entre individuos de la misma especie, que en este caso serían las plántulas de *Abies religiosa*, implica una demanda equitativa por un recurso, pero que responderán de forma particular a la disponibilidad del mismo que se ha deprimido por la presencia y actividad de otros individuos (Begon *et al.*, 1990).

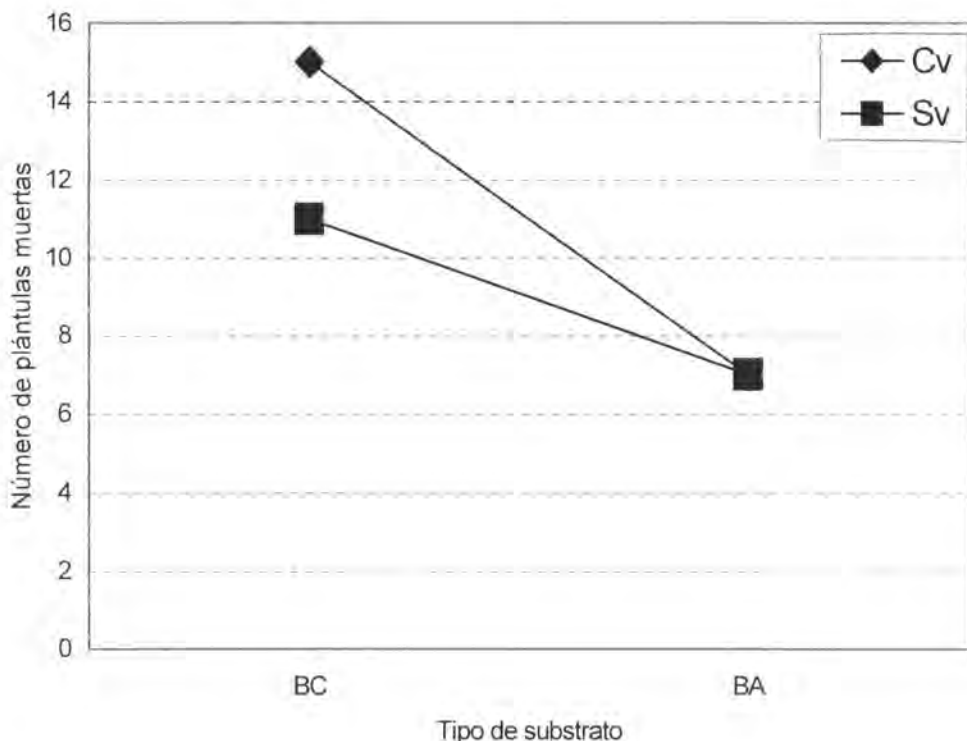


Figura 2. Mortalidad de plántulas de *Abies religiosa* en interacción con el origen del sustrato / vegetación.

La condición libre de vegetación es un ejemplo de lo que se describe en el párrafo anterior, y dado que el número de individuos en cada unidad experimental fue igual, la mortalidad se considera como independiente de la densidad de población. Sin embargo, a nivel aéreo con el vecino más cercano no se presenta, debido a que las plántulas fueron distribuidas en disposición espacial regular y equidistante, lo que descarta la competencia por alta sociabilidad entre individuos de la misma especie en esta etapa (Braun-Blanquet, 1985). Por lo tanto, la mortalidad de las plántulas de oyamel puede estar asociada con la disputa subterránea entre las raíces de los oyameles y la vegetación del sotobosque, pues sólo se removió la parte aérea una vez por semana.

El interés por evaluar el comportamiento del oyamel en relación a la vegetación del sotobosque queda inscrito en el ámbito de la competencia interespecífica. La mortalidad, de haber resultado dependiente de la vegetación, se interpretaría

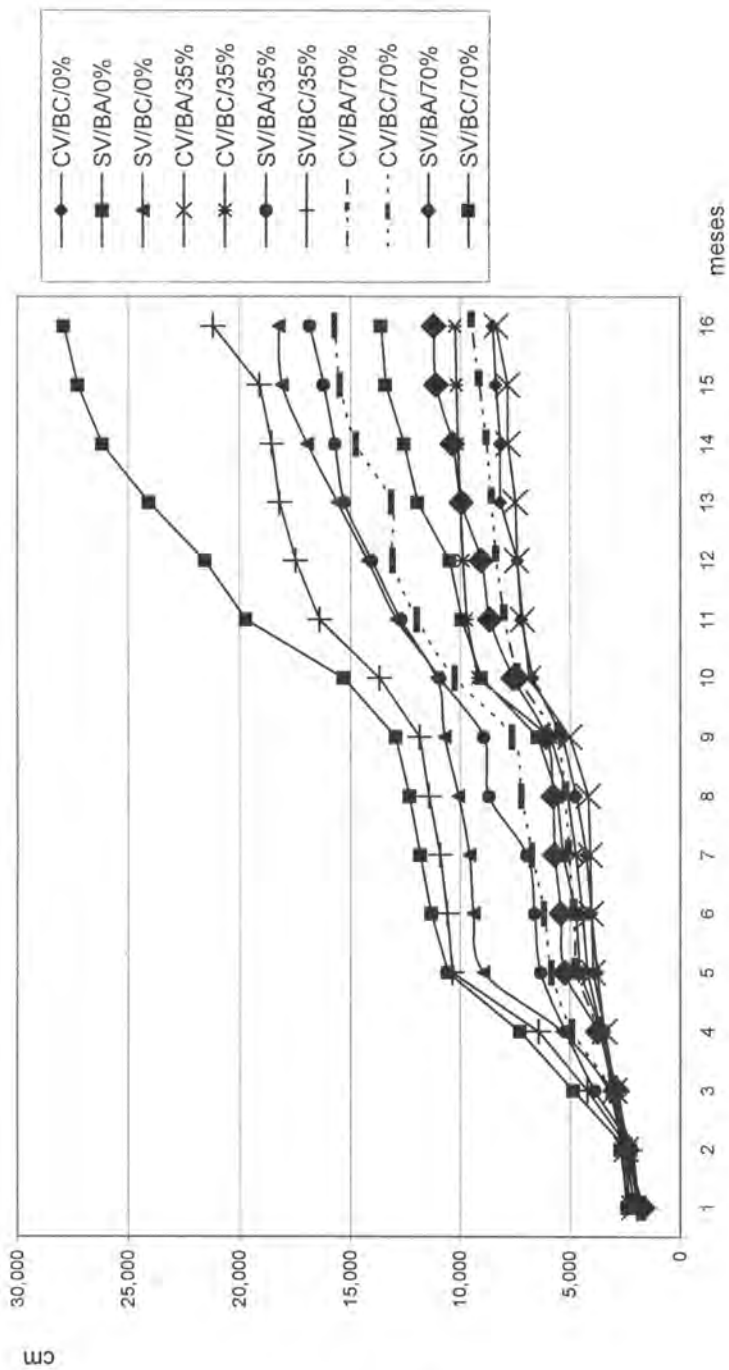


Figura 3. Crecimiento en altura de las plántulas de *Abies religiosa* sometidas a los tratamientos en el invernadero.

Cuadro 3. Especies emergentes en las unidades experimentales.

Familia	Especie
Caprifoliaceae Compositae	<i>Symphoricarpos microphyllus</i> HBK. <i>Achillea lanulosa</i> Nutt <i>Baccharis conferta</i> HBK. <i>Cirsium</i> sp. <i>Eupatorium glabratum</i> HBK. <i>Eupatorium pazcuarensis</i> HBK. <i>Segiesbeckia jorullensis</i> HBK. <i>Senecio barba-johannis</i> DC. <i>S. callosus</i> Schl. & Bip. <i>S. platanifolium</i> Benth. <i>Senecio salignus</i> DC. <i>S. sanguisorbae</i> DC. <i>Stevia monaerdifolia</i> HBK. <i>Stevia pilosa</i> Log.
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> aff. <i>potosina</i> Fernald.
Geraniaceae	<i>Geranium potentillaefolium</i> DC.
Gramineae	<i>Brachipodium mexicanum</i> (Roem et Schult.) Link. <i>Festuca tolucensis</i> HBK. <i>Trisetum virletii</i> Fourn.
Labiatae	<i>Salvia elegans</i> Vahl. <i>S. fulgens</i> Cav. <i>Stachys coccinea</i> Jacq.
Leguminosae	<i>Trifolium amabile</i> HBK.
Lesqueceae	<i>Thuidium delicatulum</i> (Hedw.) Mitt.
Loganiaceae	<i>Buddleia parviflora</i> HBK.
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp.
Phytolacaceae	<i>Phytolaca icosandra</i> L.
Polemoniaceae	<i>Polemonium mexicanum</i> Cerv.
Rosaceae	<i>Acaena elongata</i> L. <i>Alchemilla procumbens</i> Rose.
Saxifragaceae	<i>Ribes ciliatum</i> Humb. et Bonpl.
Scrophulariaceae	<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.
Solaneaceae	<i>Solanum demissum</i> Lindley <i>S. stoloniferum</i> Schl.

como el agotamiento de los recursos disponibles por la explotación ejercida por las otras especies.

El pobre crecimiento del oyamel se explica en términos de un debilitamiento derivado de una menor captura de luz, causada por la gran cobertura de las herbáceas. Adicionalmente, el sistema de raíces de las coníferas es menos capaz que el de las angiospermas de aprovechar el abastecimiento de agua y nutrimentos en el suelo en sus etapas iniciales; por lo tanto, la falta de captación de luz por la parte aérea y de nutrimentos por la parte subterránea, son factores que repercuten en su tasa de producción foliar y crecimiento vertical.

De las herbáceas, los pastos, por lo general, compiten con los árboles y restringen su crecimiento. El agua es un recurso muy demandado tanto por las plántulas del sotobosque, como por las plántulas forestales. Kozlowski *et al.* (1991) mencionan que el crecimiento de *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii* se multiplica al remover la flora asociada, y que se mejora el contenido de humedad del sustrato. Los mismos autores citan a Connor (1983 *in* Kozlowski *et al.*, 1991) quien indicó que hay una competencia por los nutrimentos, especialmente el nitrógeno, entre las coníferas y las herbáceas así como entre los individuos de cada grupo.

En el caso del presente estudio, las especies asociadas alcanzaron dimensiones en altura y cobertura superiores a las que se observan en condiciones naturales, donde miden de 20 a 30 cm de altura, en promedio, y sus tallos las sostienen de forma vertical, o bien, despliegan estructuras leñosas que les brindan soporte, como sucede con los arbustos. Sin embargo, por estar protegidas dentro del invernadero, en el que la temperatura es $>25^{\circ}\text{C}$ y $<50^{\circ}\text{C}$ y la humedad $>50\%$, su crecimiento fue continuo y su talla desmesurada. Para el periodo de duración del experimento, dichas plantas debieron haber llegado a su máximo desarrollo, haberlo suspendido, y declinado en el invierno. Este comportamiento, además, respondió a la hidratación regular del sustrato que en consecuencia, alteró su fenología, y rompió su ciclo anual; en contraste, el oyamel, a pesar de su reducido tamaño, su permanencia en el sotobosque es de varios años. Por lo tanto, la fuerza de competencia de especies asociadas resultó muy favorecida por el ambiente artificial en el que se trabajó.

Una vez que *A. religiosa* se establece y se incorpora al grupo de plantas arbustivas, *i.e.*, supone que ya se ha despegado del grupo de herbáceas que dominan el sotobosque, tiende a ejercer una reducción del crecimiento (inhibición) de algunas de estas especies y causa interferencia, como respuesta a efectos alelopáticos; lo anterior ha sido comprobado para *Abies amabilis*, *A. grandis* y *A. procera* (Rice, 1984). En bosques naturales de oyamel (*Abies religiosa*) se observa una escasa diversidad vegetal en dicho estrato con respecto a la de un bosque de pinos, cuestión que pudiera relacionarse con lo antes mencionado, pero se desconocen argumentos probatorios.

La sobresaliente talla alcanzada por *Abies religiosa* en ausencia de vegetación y sombra confirma las preferencias heliófilas de la especie, como sucede con las coníferas en general, durante sus primeras etapas de vida. Así mismo, no se observaron competidores, pues su presencia se controló constantemente, otorgándole ventajas importantes de espacio y luz a las plántulas emergentes. El factor de procedencia del substrato (de dosel abierto o cerrado), no parece ejercer efecto sobre los resultados obtenidos, lo cierto es que bajo bosque abierto la supervivencia fue más alta sin vegetación y sin sombra; hecho que se vincula con una menor diversidad en dosel abierto en bosque de oyamel, pero que queda sujeto a comprobación. Sin embargo, la mortalidad más alta se dio en el tratamiento de bosque cerrado, con vegetación y sin sombra.

Bajo las características del experimento actual, se presenta una relación de disputa por los recursos; que depende de la habilidad de los individuos para ganar, mediante interacciones agresivas que obedecen al intento simultáneo por el uso de los mismos componentes (McNaughton & Wolf, 1973).

Aun cuando no se comprobaron diferencias estadísticas significativas entre las plántulas muertas con vegetación y sin vegetación, el que se haya acentuado la mayor incidencia de plántulas muertas sin dosel en suelo de bosque cerrado con vegetación sugiere la existencia de uno de los principios de competencia que establece que, cuando las especies utilizan un mismo recurso y que una de ellas aventaje a la otra para su aprovechamiento, provoca la eliminación de la otra que se encuentra en inferioridad al cabo de un tiempo (Margalef, 1974).

En el trabajo aquí expuesto, la contienda se centra en el espacio y en los nutrimentos, cuya demanda es alta en las etapas iniciales tanto de las herbáceas anuales como de las coníferas para lograr su establecimiento.

La competencia entre las herbáceas y los oyameles queda incorporada dentro del concepto de las dos formas de colonización: la estrategia *r* de las primeras, denominadas especies eurióicas o pioneras, con tasas de multiplicación elevadas como única forma de ocupar rápidamente un espacio vacío, cuyo poder se basa en una gran capacidad de multiplicación y una vida breve. La estrategia *K* de las pináceas consiste en que los individuos están más adaptados a sobrevivir con pocos recursos y son más eficientes que los de rápida proliferación; con el paso del tiempo, la ventaja se inclina hacia las segundas, que tienen una menor tasa de regeneración (Margalef, 1974).

La colonización vertical y lateral de las herbáceas les permite llenar los espacios disponibles en el menor tiempo posible, y de manera eventual, su presencia modifica las condiciones ambientales al crear sombras someras que favorecerán la geminación y el crecimiento de aquellas que requieren de tal condición, pues no lo lograrían bajo luz total (Oliver & Larson, 1994). Esto resultaría factible

para la regeneración de *Abies religiosa*, pues es importante considerar que bajo condiciones naturales, el crecimiento y desarrollo de dichas herbáceas es paralelo al del oyamel. En el caso del presente estudio, el problema se deriva de la respuesta desmesurada de los taxa asociados.

Al analizar el comportamiento del crecimiento por factor, se define una diferencia clara entre las plántulas acompañadas de vegetación y las que no la tuvieron. La evolución del crecimiento de las plántulas bajo los tratamientos de bosque cerrado, 35 y 70% de sombra es muy cercana, de hecho los resultados finales son muy parecidos.

Sería conveniente plantear un experimento desde la germinación, a fin de ponderar el efecto de las plantas del sotobosque desde esta fase, así como determinar las especies por tipo de substrato diferenciado a partir de la apertura de dosel, por una parte y, por tratamiento con vegetación y sin ella, ya que no se sabe si se trata de los mismos taxa y/o del mismo número de individuos y/o de especies en cada tratamiento. La dimensión en altura y cobertura de cada planta, *i.e.*, de la vegetación del sotobosque y de oyamel, a fin de comparar el aprovechamiento del espacio correspondiente a cada individuo, y a cada grupo.

La obtención del peso seco por planta, tanto para las herbáceas, como para las forestales al término del experimento, aportaría datos de biomasa.

Determinar el tamaño, la disposición y el arreglo de las raíces y su proporción con respecto a las partes aéreas por especie, permitiría evaluar la competencia en el nivel subterráneo.

En forma complementaria, debería efectuarse un análisis de la composición física y química del substrato procedente de bosque con diferente apertura de dosel para enriquecer la información generada.

CONCLUSIONES

El análisis individual de la mortalidad por cada uno de los factores considerados indica que la mayor incidencia se verifica sobre el suelo procedente de bosque cerrado, con vegetación y sin sombra.

La mortalidad del oyamel no se asocia directamente con la presencia de vegetación de sotobosque, pero es más alta sin vegetación, y tiende a ser superior en la condición de substrato procedente de bosque cerrado. La mejor supervivencia se dio bajo 70% de sombra en bosque cerrado con la misma proporción en presencia que en ausencia de vegetación, y con 0% de sombra se dan los extremos de mortalidad y supervivencia, en función del substrato.

El crecimiento en altura de las plántulas de oyamel es significativamente mayor

en el tratamiento sin vegetación que con vegetación, en bosque abierto y libre de sombra.

REFERENCIAS

- Alvarado L., G y J. M. Manzo C. 1993. Análisis de la producción de hongos silvestres comestibles en dos tipos de vegetación del Campo Experimental Forestal "San Juan Tetla", Puebla. Informe de Servicio Social/Tesis. FES-Zaragoza, UNAM. México. 68 p.
- Baker, F. S. 1950. Theory and practice of silviculture. McGraw-Hill Book Co. New York, NY, 502 p.
- Begon, M., J. L. Harper and C. R. Townsend. 1992. Ecology-individuals, populations and communities. Ciencias por una educación popular. pp. 203-288.
- Braun-Blanquet, F. 1985. Fitosociología. H. Blume Ediciones. Madrid, España. pp. 600-635.
- Cronquist, A. 1977. Introducción a la Botánica. C.E.C.S.A. México. pp. 393-400.
- Del Moral, R. and R. G. Cates. 1971. Allelopathic potential of the dominant vegetation of Western Washington. Ecology 52: 1030-1037.
- Kozłowski, T. T. 1979. Tree growth and environmental stress. University of Washington Press. Seattle, WA. 192 p.
- Kozłowski, T. T., P. J. Kramer and S. G. Pallady. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press Inc. San Diego, CA. 657 p.
- Kramer P. J. and T. T. Kozłowski. 1960. Physiology of trees. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, NY. 642 p.
- Manzanilla B., H. 1974. Investigaciones epidémicas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. BM/SAG. 165 p.
- Margalef, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. pp. 216-218
- McNaughton, S. J. and L. L. Wolf. 1973. General Ecology. Holt, Rinehart and Winston, Inc. New York, NY. pp. 511-548.
- Nieto de Pascual P., C. 1987. Análisis estructural de las comunidades forestales de la Sierra del Ajusco. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 85 p.
- Oliver, C. F. and B. C. Larson. 1994. Forest stands dynamics. McGraw Hill, Inc. Biological Resources Management Series. 468 p.
- Rice, E. L. 1984. Allelopathy. Academic Press, Inc. Col. Physiological Ecology. 2nd Edition. Orlando, Fl. pp. 88-89
- Statistical Analysis Systems (SAS) Institute. 1999-2001. Cary, NC. Versión 8.2
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes, 1982. Ecología forestal. AGT Editor, S. A. México. pp. 191-199.
- Zamora-M., M. C., G. F. Reygadas P. y J. Cifuentes B. 1994. Hongos comestibles silvestres de la Subcuenca Arroyo El Zorrillo, Distrito Federal. Publicación Especial No. 1. INIFAP/CENID-COMEF. 97 p.

ESTIMADORES DE RAZÓN PARA EL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL DE MÉXICO

Efraín Velasco Bautista¹, Hugo Ramírez Maldonado²,
Francisco Moreno Sánchez¹ y Alfonso de la Rosa Vázquez³

RESUMEN

En México se han llevado a cabo tres inventarios forestales a nivel nacional, y aun cuando el objetivo principal, en todos los casos ha sido la estimación de existencias maderables y de incrementos, el diseño de muestreo utilizado ha variado. Para la realización del Inventario Nacional Forestal 2000 - 2005, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) determinó que se utilizara el muestreo estratificado sistemático por conglomerados en dos etapas, que estará regido, en principio, por "una red de puntos a cada 5 km". Conceptualmente la unidad de muestreo primaria es una parcela circular de una hectárea, en la cual se evalúan cuatro unidades de muestreo secundarias o sitios, dispuestos de manera geométrica en forma de una "Y" invertida con respecto al norte. Con el propósito de que el proceso de estimación resulte confiable en los diferentes niveles de interés, el objetivo de este trabajo es presentar los estimadores considerados para el cálculo de los principales parámetros forestales. Se revisó la teoría básica del muestreo estratificado y de los estimadores de razón. El conocimiento de los estimadores referidos permitirá automatizar procesos computacionales para analizar una gran cantidad de información, lo cual es común que se tenga cuando las poblaciones objeto de estudio están definidas a nivel entidad federativa o cuenca hidrográfica.

Palabras clave: Área basal, estimadores de razón, incremento, inventario forestal, muestreo estratificado sistemático, volumen maderable.

ABSTRACT

Three national forest inventories have been made in Mexico, and even though

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2004.

Fecha de aceptación: 04 de mayo de 2005.

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: velasco.efrain@inifap.gob.mx

²División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

³Coordinación de Investigación, Innovación y Vinculación / INIFAP.

wood volume and increments were determined in all of them, the sampling design varied. The Environment and Natural Resources Ministry (SEMARNAT) defined the Stratified Systematic Two-Stage Cluster Sampling as the method to be used in the 2000-2005 Forest National Inventory, initially under a 5 km point grid. Conceptually, The Primary Sampling Unit is a one ha plot, in which four Secondary Sampling units or sites, geometrically arranged in an inverted Y from, North oriented. With the aim to carry on the evaluation process reliably, at the different levels of interest, in this paper the main forest parameters are discussed; thus, the basic stratified sampling theory and ratio estimators literature were reviewed.

Key words: Basal area, forest inventory, increment, ratio estimators, systematic sampling, wood volume

INTRODUCCIÓN

Los inventarios forestales y los sistemas estadísticos son el fundamento para la adopción de políticas que apoyen el manejo forestal sostenible. La integración de los aspectos económicos y ambientales en la planificación del sector forestal exige disponer de un gran volumen de datos sobre los bosques, tanto de carácter espacial como temporal. Cuando se trata de inventarios nacionales su propósito es suministrar información a las dependencias del Gobierno responsables del aprovechamiento, conservación y protección de los recursos sobre las superficies, las existencias y crecimientos por formaciones o especies, el estado sanitario de los bosques, la preservación de los ecosistemas naturales y el mantenimiento de la biodiversidad (MGAP, 2004).

El conocimiento de los recursos naturales es una condición indispensable para su manejo racional y, por ello, el inventario debe ser considerado como la primera etapa de la ordenación forestal. A las numerosas combinaciones posibles del nivel y el horizonte de la planificación, de las etapas de decisión, de las dimensiones de las unidades de gestión y de las formas de desarrollo, corresponden diversos tipos de inventario (FAO, 2004)

En las naciones industrializadas como Estados Unidos y Finlandia, los diseños de muestreo para inventarios forestales están basados en el muestreo sistemático, con parcelas permanentes y, en algunos casos, temporales, establecidas en una cuadrícula de diferente espaciamiento. El muestreo aleatorio ha sido descartado y se han adoptado unidades muestrales puntuales con parcelas de área fija. El tamaño y la forma de ellas difieren entre países, en algunos se usan parcelas individuales; mientras que en otros se prefiere a los conglomerados. La distancia entre parcelas también varía incluso dentro del mismo país en función de la distribución del bosque y de la topografía (FAO,

2000). Prodan *et al.* (1997) presentan configuraciones de unidades muestrales en conglomerados usadas en otros inventarios forestales.

Scheaffer *et al.* (1987) mencionan que al utilizar el muestreo sistemático surgen las siguientes consideraciones: 1) si la población bajo estudio es aleatoria, el muestreo sistemático es equivalente al muestreo aleatorio, 2) si la población es ordenada, el muestreo sistemático proporciona datos de mayor calidad que el muestreo aleatorio, 3) si la población es periódica (los elementos tienen variación cíclica), con el muestreo sistemático se obtiene menos información que con el muestreo aleatorio por unidad de costo, aunque en este caso, al cambiar varias veces el punto de inicio aleatorio, la muestra es equivalente a una sistemática extraída de una población al azar y 4) el muestreo sistemático permite hacer buenas estimaciones de medias y totales poblacionales, ya que la muestra se distribuye sobre la población completa.

En inventarios forestales el diseño de muestreo sistemático ha sido de mayor aplicación que el aleatorio. Sin embargo, la varianza del estimador no se puede calcular insesgadamente a partir de una muestra sistemática; no obstante, el uso de la varianza del estimador del muestreo aleatorio en tal situación, ha mostrado tener resultados ilustrativos aplicables. La varianza del estimador, por lo regular, es ligeramente alta. Por otra parte, es raro encontrar ejemplos con periodicidad en las observaciones de la malla; además, las unidades muestrales están bien distribuidas a lo largo de la población, razones por las que el muestreo sistemático es recomendado sobre el muestreo aleatorio simple para aplicaciones forestales (Scott, 1998).

Los estimadores de razón fueron desarrollados para incrementar la precisión de las medias y totales calculados mediante el uso de información suplementaria acerca de la población en estudio (Schreuder *et al.*, 2004). La tasa de error obtenida como el cociente de la media poblacional entre la media muestral de la variable auxiliar se usa para ajustar el valor de la media muestral de la variable de interés (Méndez *et al.*, 2004).

Puesto que, en general, la esperanza de un cociente de variables aleatorias no es igual al cociente de la esperanza, el estimador de razón suele ser sesgado. Aunque para un tamaño de muestra grande (mayor que 30) y para un coeficiente de variación de la media muestral de la variable auxiliar menor o igual a 0.10, el sesgo es despreciable (Scheaffer *et al.*, 1987; Cochran, 1993; Méndez *et al.*, 2004). Si la recta de regresión de la variable auxiliar sobre la variable en estudio, o de ésta sobre la variable auxiliar pasa por el origen de coordenadas, entonces el estimador de razón resulta ser insesgado (Pérez, 2000). Schreuder *et al.* (2003) indican que un estimador de razón se caracteriza por ser asintóticamente así.

Lorh (2000) menciona que con frecuencia la varianza reducida del estimador

de razón compensa la presencia del sesgo; en este sentido, el valor de la media muestral determinada por razón para cada muestra individual tiene cierta probabilidad de estar más cerca de la media verdadera, que la media muestral obtenida como un simple promedio aritmético.

Van Hees (2002) comparó los errores estándar de un estimador de razón de medias de los datos del inventario conducido en Alaska. Las varianzas fueron obtenidas, tanto por la expresión tradicional, como por el método "bootstrap" (procedimiento para estimar varianzas de estimadores a partir de la selección de muchas muestras de la muestra total). Concluyó que las estimaciones de los errores estándar generados por ambos métodos fueron similares.

Desde la década de los sesentas, en México se han realizado tres inventarios forestales a nivel nacional, y aun cuando su principal objetivo ha sido la estimación de existencias maderables y de incrementos, el diseño de muestreo utilizado ha variado; se han usado tanto unidades de muestreo individuales, como en conglomerados, distribuidas básicamente en forma sistemática (SARH, 1992; SARH, 1994).

Para la realización del Inventario Nacional Forestal 2000-2005, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) determinó emplear el muestreo estratificado sistemático por conglomerados en dos etapas (SEMARNAT, 2002), el cual está regido, en principio, por "una red de puntos a cada 5 km". La equidistancia entre conglomerados difiere de acuerdo al tipo de vegetación de que se trate:

- 5 x 5 km.- En bosque de coníferas, coníferas-latifoliadas, latifoliadas y bosque mesófilo, así como selvas altas y medianas.
- 10 x10 km.- En bosque de táscate, bosque bajo abierto, selvas bajas, matorral subtropical y otros tipos de vegetación como manglares.
- 20 x 20 km.- En vegetación de zonas áridas.

La unidad de muestreo primaria (UMP) desde el punto de vista conceptual es una parcela circular de una hectárea (56.42 m de radio), en la cual se evalúan cuatro unidades de muestreo secundarias (UMS) o sitios, dispuestos geoméricamente en forma de una "Y" invertida con respecto al norte (figuras 1 y 2). La UMS número 1 constituye el centro de la UMP y las UMS 2, 3 y 4 son consideradas como periféricas. La distancia del centro de la UMS 1 al de cada una de las UMS periféricas es de 45.14 m; el azimut para localizar las UMS 2, 3 y 4 a partir del centro de la UMS 1 es de 0°, 120° y 240°, respectivamente. Las unidades de estudio (UE) serán los árboles presentes en las UMS.

El registro de árboles con diámetro mayor de 7.5 cm en bosques, se hace en las UMS circulares de 400 m² (radio 11.28 m) y de forma rectangular (de 10 X 40 m) en selvas. Para el caso del repoblado, dentro de cada UMS de 400 m² se ubica un círculo concéntrico de 12.56 m² (2 m de radio) en bosques, y un cuadro de 3.54 x 3.54 m en selvas. Los datos sobre plantas menores no leñosas, se tomaron en un cuadro de 1 m² localizado en el centro de la UMP (figuras 1 y 2).

Las principales variables que se evaluarán en las UE son: diámetro normal, altura total, nombre científico de la especie, edad y presencia / ausencia de daños (bióticos y abióticos).

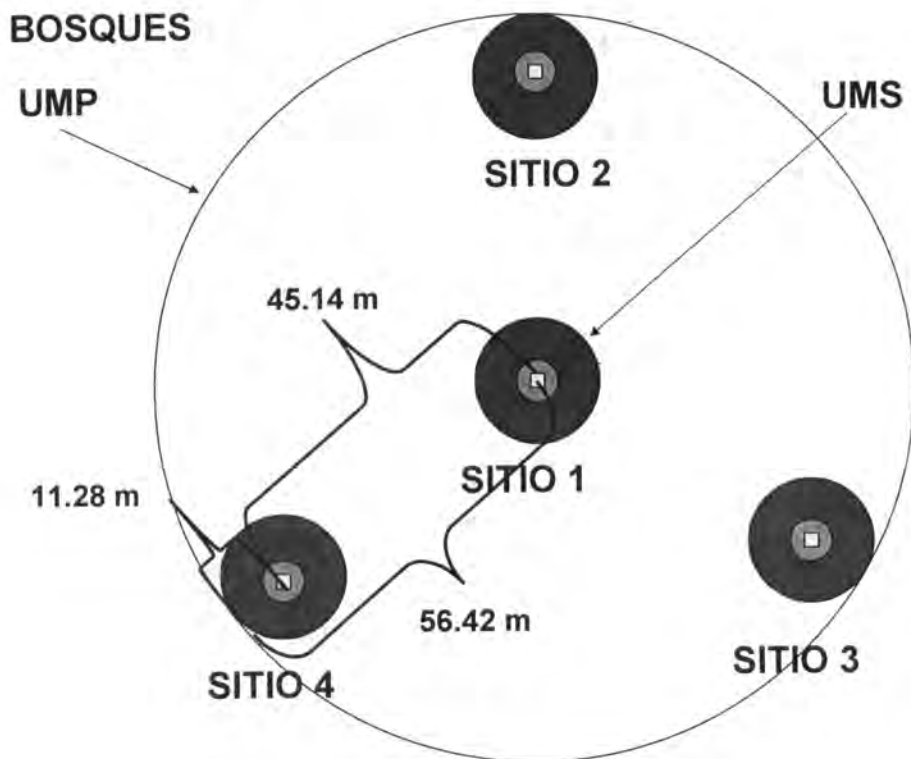
Se considera como UMP un área circular cuya superficie es de una hectárea (radio 56.42 m) porque es sencillo construir el marco de muestreo de UMP en un área forestal determinada cuando se usan UMP de esta dimensión; además es probable que no se gane precisión al considerar UMP de mayor tamaño; por otro lado, las parcelas grandes (plot) del Programa de inventario forestal y análisis (FIA) y del Sistema de vegetación actual (CVS) de Estados Unidos son también de 1 ha (Schreuder y Geissler, 1999).

Scott (1991) evaluó varias configuraciones de conglomerados en un estudio de optimización. Concluyó que un diseño en el que las unidades muestrales (0.017 ha) generan una Y invertida es el óptimo. Indicó que hay un ahorro de 18% en costos y puede ser observado en un día. El autor consideró siete características de interés forestal.

Velasco *et al.* (2004) mediante simulación de siete arreglos geométricos diferentes de UMS dentro de UMP (circulares de 1 ha) en los que se contabilizó el número de árboles y se determinó el área basal y el volumen; definieron que los mejores diseños, en términos del menor error relativo de muestreo, fueron en las UMS que forman una cruz y en el que las UMS constituyen una T horizontal; cuando las UMS conforman una Y invertida se presentó el error relativo de muestreo más alto; sin embargo, señalan que en ningún caso éste fue superior al 7%.

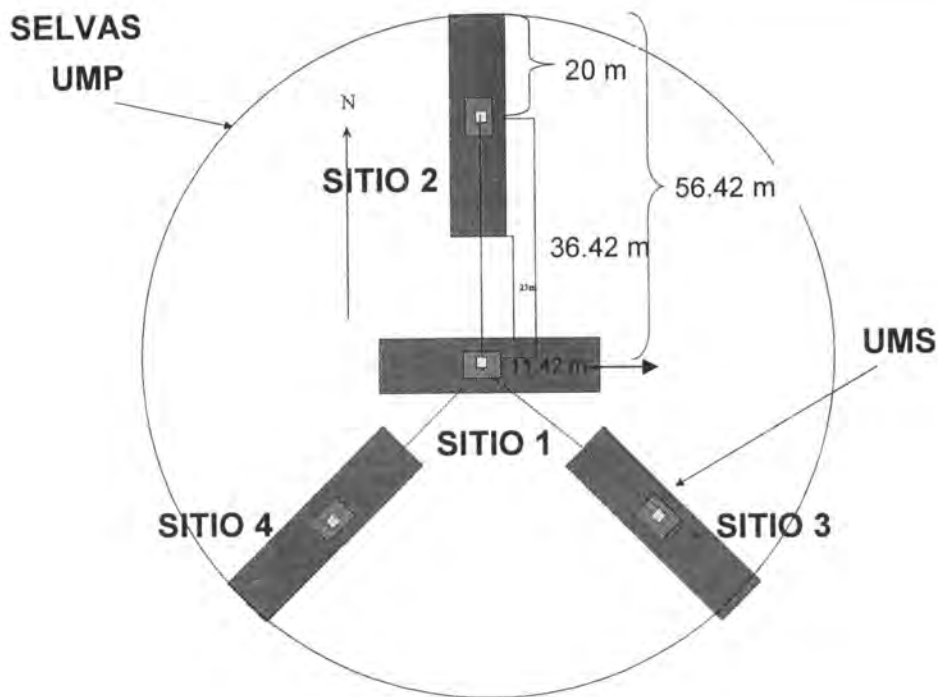
En los trabajos del inventario y monitoreo de los recursos naturales de Jalisco Talavera *et al.* (2001), utilizaron tres tamaños de conglomerados y de sitios, a saber: 1) conglomerados de 90 x 90 m, con sitios circulares de 100 m² (seis parcelas de muestreo de 5.64 m de radio), 2) conglomerados de 30 x 30 m con sitios circulares de 78.52 m² (se muestrearon cinco sitios de 5 m de radio) y 3) conglomerados de 150 x 150 m con 25 cuadros de 30 x 30 m (se muestrearon cuatro sitios circulares de 1000 m² dispuestos en forma de Y invertida). Este último diseño resultó ser el óptimo.

Un esquema de muestreo lo integran el diseño y los estimadores estadísticos



- Sitios de 400 m² (radio = 11.28 m) para medir árboles con diámetro mayor de 7.5 cm.
- Sitios de 12.57 m² (radio = 2 m) para registrar renuevo: elementos con D. N. < 7.5 cm y altura ≥ 25 cm.
- Sitios de 1 m² (lado = 1 m) para registrar hierbas, helechos, musgos y líquenes.

Figura 1. Unidades de Muestreo Primarias (UMP) y Secundarias (UMS) para el Inventario Nacional Forestal 2000-2005 en bosques



- Sitios de 400 m^2 ($40 \times 10 \text{ m}$) para medir árboles con diámetro mayor de 7.5 cm.
- Sitios de 12.57 m^2 ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$) para registrar renuevo: elementos con D. N. < 7.5 cm y altura $\geq 25 \text{ cm}$.
- Sitios de 1 m^2 (lado = 1 m) para registro de hierbas, helechos, musgos y líquenes.

Figura 2. Unidades de Muestreo Primarias (UMP) y Secundarias (UMS) para el Inventario Nacional Forestal 2000-2005 en selvas.

necesarios para hacer las inferencias. Para el diseño descrito, no se han generado tales estimadores.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es presentar los estimadores que se usarán en el cálculo de los diferentes parámetros señalados, para lo cual se considera que las poblaciones objeto de estudio "no son periódicas", en cuanto al valor de las variables evaluadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Definición de la población objeto de estudio

Las poblaciones en donde se hará la inferencia tienen una determinada superficie forestal y están definidas por la combinación de límites geopolíticos y de cobertura arbórea. Así, pueden ser de interés estimaciones en los bosques y selvas a nivel de cuenca hidrográfica o entidad federativa.

Identificación de los parámetros de interés forestal

Por tratarse de un inventario nacional / regional los principales parámetros de interés son:

- Existencias maderables en bosques y selvas
- Área basal en bosques y selvas
- Densidad de árboles con diámetro normal mayor o igual a 7.5 cm en bosques y selvas
- Incremento medio anual en bosques (coníferas y coníferas-latifoliadas)
- Porcentaje de árboles dañados en pie en bosques y selvas
- Densidad de árboles con diámetro normal menor a 7.5 cm (renuevo) en bosques y selvas.

Determinación de los niveles jerárquicos de estimación

La base cartográfica corresponde a la generada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, en la que la unidad básica de clasificación es la comunidad vegetal (INEGI, s/f), los niveles naturales de estimación son: sustrato, estrato y ecosistema (Cuadro 1).

Identificación de supuestos

Para derivar las varianzas de los estimadores se presupone independencia de las subpoblaciones en cada nivel de estimación.

Cuadro 1. Poblaciones de interés y los estratos y substratos definidos en cada una de ellas.

Ecosistema*	Estrato	Substrato	Comunidad vegetal	Clave**
Coníferas	No secundarias		Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro)	BASB
			Bosque de táscate	BJ
			Bosque de pino	BP
	Secundarias		Matorral de coníferas	MJ
			Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro) con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BASBVS
			Bosque de táscate con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BJSVS
			Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BPVS
	Bosques	No secundarias	Matorral de coníferas con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	MJVS
			Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	BPQ
			Bosque bajo abierto	BW
Coníferas - latifoliadas	Secundarias	Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) con vegetación secundaria	BPQVS	
		Bosque bajo abierto con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BWVS	
		Bosque de encino	BQ	
		Bosque mesófilo de montaña	BM	
Latifoliadas	No secundarias	Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BQVS	
		Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BMVS	
	Secundarias	Selva alta y mediana perennifolia	SAMP	
		Selva alta y mediana subperennifoliá	SAMQ	
Altas y medianas	No secundarias	Selva mediana caducifolia y subcaducifolia	SMCS	
		Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	SAMPVS	
	Secundarias	Selva alta y mediana subperennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	SAMQVS	
		Selva mediana caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	SMCSVS	
Selvas	No secundarias	Selva baja caducifolia y subcaducifolia	SBCS	
		Selva baja espinosa	SBK	
Bajas	Secundarias	Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	SBCSVS	
		Selva baja espinosa con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	SBKVS	

* Se considerará a nivel de región hidrológica y entidad federativa. ** Clave con base en INEGI (s/f).

Al construir los intervalos de confianza se asume que los estimadores se distribuyen de manera normal.

En muchos inventarios forestales es razonable considerar que el muestreo sistemático es aproximadamente equivalente al muestreo aleatorio (Zarnoch y Bechtold, 2000).

Identificación de consideraciones

Al tomar como estimador la media global por UMS, y al suponer un muestreo aleatorio simple en ambas etapas, si además, la fracción de muestreo a nivel primario se ignora, la varianza estimada de este estimador puede expresarse en términos de la variabilidad de las UMP (Cochran, 1993). Así mismo, si en la segunda etapa el muestreo es sistemático, la varianza estimada de ese estimador, también se refiere sólo a la variabilidad entre las UMP (Sukhatme y Sukhatme, 1970).

Por lo regular no hay interés en la variabilidad entre las UMS en la rutina de cálculo de datos de inventario, de manera que la única fuente de variación es entre UMP (Scott y Bechtold, 1995; Bechtold y Zarnoch, 1999).

Al respecto, la UMP representa el agrupamiento físico de UMS muestreadas. Sin embargo, aun cuando una UMP en teoría se integra por un número fijo de UMS, dada la inaccesibilidad de algunas áreas forestales, debido a la topografía accidentada de los terrenos, o porque su acceso es restringido, es probable que algunas UMP tengan un número menor de tales unidades, lo que da lugar entonces a UMPs de tamaños diferentes, por lo que la estimación de los parámetros de interés basada en la media muestral no es recomendable desde el punto de la inferencia estadística, con el fin de garantizar resultados precisos se usa un estimador de razón, el cual incluirá las siguientes variables en el numerador de interés (volumen, por ejemplo) y en el denominador como variable auxiliar el área muestreada en la UMP. Este método posee la ventaja de proporcionar el cálculo directo por unidad de superficie, lo que permite la estimación del total casi de manera inmediata.

Dado que las UMP pueden tener diferente número de UMS, el estimador general que se presenta a continuación toma en cuenta un estimador de razón. Para su empleo, tanto para la variable de interés como en la auxiliar, se suman todos los datos de las UMS y se considera el dato al nivel de UMP. Un razonamiento similar es utilizado por Prodan *et al.* (1997) al mostrar un estimador del total por unidad de superficie mediante conglomerados sistemáticos.

RESULTADOS

Notación general

A = Área forestal (ha) total de la población objeto de estudio

A_h = Área forestal (ha) del estrato h de la población objeto de estudio, $h = 1, \dots, L$

$A_{hh'}$ = Área forestal (ha) del subestrato h' del estrato h de la población objeto de estudio, $h' = 1, \dots, L'$

L = Número de estratos

L' = Número de subestratos

En estas condiciones A puede expresarse de la siguiente manera:

$$A = \sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'}$$

$a_{hh'i}$: Área forestal (ha) muestreada de la UMP i del subestrato h' del estrato h (variable auxiliar), la cual se obtiene al sumar las áreas de las UMS evaluadas en esa UMP, es decir:

$$a_{hh'i} = \sum_{j=1}^{m_i} a_{hh'ij}$$

Donde:

$a_{hh'ij}$ = Área de la UMS j de la UMP i del subestrato h' del estrato h (0.04 ha)

m_i = 1, 2, 3 ó 4, es el número de UMS evaluadas en la UMP i (recuérdese que la UMP contiene idealmente cuatro UMS, pero por problemas prácticos se puede reducir el número de éstas)

Para la variable de interés a nivel de la unidad de muestreo:

Y : Variable de interés en la población objeto de estudio (volumen, área basal, número de árboles)

$y_{hh'i}$: Valor de la variable de interés de la UMP i del sustrato h' del estrato h , el cual está dado por la siguiente expresión:

$$y_{hh'i} = \sum_{j=1}^{m_i} y_{hh'ij}$$

Donde:

$y_{hh'ij}$ = Valor de la variable de interés de la UMS j de la UMP i del sustrato h' del estrato h

m_i = Definido con anterioridad

Para la variable de interés a nivel de la unidad de estudio (árbol):

$y_{hh'ijk}$: Valor de la variable de interés del árbol k de la UMS j de la UMP i del sustrato h' del estrato h

$t_{hh'ij}$: Número de árboles evaluados en la UMS j de la UMP i del sustrato h' del estrato h

Además, definase a:

$n_{hh'}$: Número de UMP evaluadas en el sustrato h' del estrato h .

$N_{hh'}$: Número de UMP de 0.16 ha potenciales en el sustrato h' del estrato h , cuando las cuatro UMS son medidas.

$f_{hh'}$ = $\frac{n_{hh'}}{N_{hh'}}$: Fracción de muestreo en el sustrato h' del estrato h

Estimador general

El estimador general, que permitirá obtener información por hectárea a nivel estrato (R_h) y su varianza, se calculan mediante las expresiones (1) y (3), respectivamente:

$$\hat{R}_h = \frac{1}{A_h} \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{hh'} \quad (1)$$

Donde:

$$\hat{R}_{hh'} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} y_{hh'i}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} a_{hh'i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_j} y_{hh'ij}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_j} a_{hh'ij}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_j} \sum_{k=1}^{l_{hh'jk}} y_{hh'ijk}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_j} a_{hh'ij}} \quad (2)$$

$$\hat{V}(\hat{R}_h) = \frac{1}{A_h^2} \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'}^2 * \hat{V}(\hat{R}_{hh'}) \quad (3)$$

De acuerdo con Cochran (1993):

$$\hat{V}(\hat{R}_{hh'}) = \frac{(1 - f_{hh'})}{n_{hh'}(n_{hh'} - 1)a_{hh'}^2} \left(\sum_{i=1}^{n_{hh'}} y_{hh'i}^2 - 2\hat{R}_{hh'} \sum_{i=1}^{n_{hh'}} y_{hh'i} a_{hh'i} + \hat{R}_{hh'}^2 \sum_{i=1}^{n_{hh'}} a_{hh'i}^2 \right) \quad (4)$$

Donde:

$$\bar{a}_{hh'} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} a_{hh'i}}{n_{hh'}}$$

El estimador general proporciona información por hectárea a nivel ecosistema (R), está dado en la expresión (5), misma que considera la superficie del ecosistema.

$$\hat{R} = \frac{1}{A} \sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{hh'} \quad (5)$$

Cuya varianza estimada se obtiene con la siguiente ecuación (6):

$$\hat{V}(\hat{R}) = \frac{1}{A^2} \sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'}^2 * \hat{V}(\hat{R}_{hh'}) \quad (6)$$

El total (Y_{hh}) a nivel estrato se determina con la expresión:

$$\hat{Y}_h = \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{hh'} \quad (7)$$

La varianza estimada de (7) es:

$$\hat{V}(\hat{Y}_h) = \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'}^2 * \hat{V}(\hat{R}_{hh'}) \quad (8)$$

El total (Y) del ecosistema se calcula con la fórmula (9), que toma en cuenta un estimador de razón a nivel subestrato.

$$\hat{Y} = \sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{hh'} \quad (9)$$

Bajo la teoría del estimador de razón, la expresión (9) es un estimador simple o separado del total poblacional, ya que se forma al sumar las estimaciones de los totales del estrato y del subestrato, y tiene como ventaja ofrecer información de ambos niveles (Pérez, 2000).

La varianza estimada de (9) corresponde a:

$$\hat{V}(\hat{Y}) = \sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'}^2 * \hat{V}(\hat{R}_{hh'}) \quad (10)$$

El intervalo de confianza para Y, al 95% de confiabilidad, basado en \hat{Y} es:

$$\left[\hat{Y} - 2 \left(\hat{V}(\hat{Y}) \right)^{0.5}, \hat{Y} + 2 \left(\hat{V}(\hat{Y}) \right)^{0.5} \right] \quad (11)$$

El número 2 de la expresión anterior obedece a que en una distribución normal, 95% de las observaciones está prácticamente comprendido entre dos desviaciones estándar por arriba y por abajo de la media.

El error de muestreo relativo (EMR) estimado es:

$$EMR (\%) = \frac{\left[\hat{V}(Y) \right]^{0.5}}{\hat{Y}} * 100 \quad (12)$$

Ecuaciones similares a las (11) y (12) se definen para las estimaciones a nivel estrato.

Estimadores del volumen, área basal, número de árboles e incremento

Las fórmulas anteriores son aplicadas para la estimación del volumen, área basal, número de árboles e incremento; basta con definir en cada caso, cómo se calcula el valor a nivel UMS, es decir, $y_{hh'ij}$ de la ecuación (2).

Volumen maderable

El volumen de la UMS j es la suma de los volúmenes individuales de los árboles presentes en ella. De esta manera $y_{hh'ij}$ se determina de la siguiente manera:

$$y_{hh'ij} = \sum_{k=1}^{i_{hh'ij}} y_{hh'ijk} \quad (13)$$

En donde, $y_{hh'ijk}$ es el volumen de cada árbol y se obtiene a partir de una ecuación que incluya como variables independientes el diámetro normal y la altura total, que son medidos en cada árbol existente en la muestra.

Área basal

El área basal de la UMS j es la suma de las áreas basales individuales de los árboles presentes en ella. Así $y_{hh'ij}$.

$$y_{hh'ij} = \sum_{k=1}^{i_{hh'ij}} y_{hh'ijk} \quad (14)$$

En donde, $y_{hh'ijk}$ es el área basal de cada árbol suponiendo una forma circular del mismo a la altura de 1.30 m a partir del suelo, para su cálculo se usa el diámetro normal medido.

Número de árboles

El número de árboles de la UMS j es el total de los individuos arbóreos que crecen en ella. Por lo que:

$$y_{hh'ij} = \sum_{k=1}^{t_{hh'ij}} y_{hh'ijk} \quad (15)$$

En donde, $y_{hh'ijk} = 1$ sirve para contabilizar el árbol k de la UMS j de la UMP i del sustrato h' del estrato h .

La expresión (15) es útil para la evaluación de árboles y de renuevo.

Incremento

En virtud de que sólo se registra la edad, en el mejor de los casos, de los tres árboles de coníferas más cercanos al centro de la UMS de 400 m², para estimar el incremento medio anual (IMA), el valor de $y_{hh'ij}$ se determina con la siguiente fórmula:

$$y_{hh'ij} = \frac{\sum_{k=1}^{t_{hh'ij}} y_{hh'ijk} I_{hh'ijk}}{\sum_{k=1}^{t_{hh'ij}} z_{hh'ijk} I_{hh'ijk}} * t_{hh'ij}'' \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^{t_{hh'ij}} I_{hh'ijk}$$

Donde:

$y_{hh'ijk}$ = Volumen de la conífera k de la UMS j de la UMP i del sustrato h' del estrato h

- $z_{hh'ijk}$ = Edad (años) de la conífera k de la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h
- $I_{hh'ijk}$ = 1, si es una conífera k cercana al centro de la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h y se le registró su edad
- $I_{hh'ijk}$ = 0, si no cumple con lo anterior
- $t_{hh'ij}$ = 3, número de coníferas cercanas al centro de la UMS j , a las cuales se les debería tomar la edad (UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h)
- $t_{hh'ij}$ = Número de coníferas de la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato.

Estimador del porcentaje de árboles dañados en pie

Los árboles pertenecientes a una de las UMS de 400 m² pueden ser analizados en forma independiente respecto a la presencia o ausencia de daño causado por los siguientes factores: humano directo, plantas parásitas, incendios, insectos, vientos, enfermedades, roedores, pastoreo, aprovechamientos forestales y rayos.

Si un individuo está afectado por dos o más agentes, sólo se registra el factor principal.

El parámetro de interés por estimar corresponde al porcentaje de árboles dañados por cada uno de los factores señalados. El estimador que se utiliza considera el cociente de la estimación del número de árboles que presentaron daños respecto al número total de árboles. A continuación se describe la notación usada:

Para los árboles que presentan algún daño específico:

$x_{hh'i}$: Número de árboles con algún daño específico en la UMP i del substrato h' del estrato h y está dado por:

$$x_{hh'i} = \sum_{j=1}^{m_i} x_{hh'ij}$$

Donde:

$x_{hh'ij}$ = Número de árboles con algún daño en la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h

Árboles en la unidad de muestreo:

$y_{hh'i}$ = Número de árboles presentes en la UMP i del substrato h' del estrato h

$$y_{hh'i} = \sum_{j=1}^{m_i} y_{hh'ij}$$

Donde:

$y_{hh'ij}$ = Número de árboles presentes en la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h

Para estimar el porcentaje de árboles dañados por algún factor específico a nivel estrato se usa el siguiente estimador:

$$\hat{R}_h = \left(\frac{\sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{xhh'}}{\sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{yhh'}} \right) * 100 \quad (17)$$

Donde:

$$\hat{R}_{xhh'} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} x_{hh'i}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} a_{hh'i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} x_{hh'ij}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} a_{hh'ij}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{l_{hh'ij}} x_{hh'ijk}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} a_{hh'ij}} \quad (18)$$

$x_{hh'ijk} = 1$, si el árbol k de la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h está dañado por algún factor específico

$x_{hh'ijk} = 0$, si no se cumple lo anterior

$$\hat{R}_{yhh'} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} y_{hh'i}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} a_{hh'i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} y_{hh'ij}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} a_{hh'ij}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{l_{hh'ij}} y_{hh'ijk}}{\sum_{i=1}^{n_{hh'}} \sum_{j=1}^{m_i} a_{hh'ij}} \quad (19)$$

$y_{hh'ijk} = 1$, sirve para contabilizar el árbol k de la UMS j de la UMP i del substrato h' del estrato h

Para estimar el porcentaje de árboles dañados por algún factor específico a nivel ecosistema se utiliza el siguiente estimador:

$$\hat{R} = \left(\frac{\sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{xhh'}}{\sum_{h=1}^L \sum_{h'=1}^{L'} A_{hh'} * \hat{R}_{yhh'}} \right) * 100 \quad (20)$$

CONCLUSIONES

Se presenta un estimador general, el cual es de fácil manejo para la obtención del volumen, área basal, número de árboles e incremento maderable, tanto a nivel de estrato como de ecosistema forestal. Para tal efecto se consideró un diseño de muestreo estratificado sistemático por conglomerados en dos etapas.

Dado que los estimadores referidos toman en cuenta un estimador de razón, en donde la variable auxiliar es la superficie evaluada en cada unidad de muestreo primaria, la obtención del valor unitario al nivel substrato resulta inmediata.

Se propone un estimador para obtener los porcentajes de daños a los árboles, mismo que considera la razón del total de árboles dañados por algún agente específico respecto al total de árboles presentes.

La principal ventaja del estimador de razón estratificado separado es la obtención de estimaciones a nivel ecosistema, estrato y substrato.

El conocimiento de los estimadores referidos permitirá automatizar procesos computacionales para analizar una gran cantidad de información, lo cual es común que se tenga cuando las poblaciones objeto de estudio están definidas a nivel entidad federativa o cuenca hidrográfica.

REFERENCIAS

- Bechtold, W. A. and S. J. Zarnoch. 1999. Field methods and data processing techniques associated with mapped inventory plots. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.); North American Science Symposium: Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, CO. USA. pp. 421-424.
- Cochran, W. G. 1993. Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental. México. 513 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2000. World forest survey: Concept Paper, Working Paper 28. Forestry Department. Rome, Italy. 30 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. Inventarios en bosques tropicales húmedos. <http://www.fao.org/docrep/k0050S/k0050s06.htm>. (11/agosto/2004).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). s/f Guía para la Interpretación de información cartográfica impresa y digital de uso de suelo y vegetación. 101 p.
- Lohr, S. L. 2000. Muestreo: diseño y análisis. International Thomson Eds. México. 480 p.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) 2004. Inventario forestal nacional. <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/Inventario.htm>. (11/agosto/2004).
- Méndez R., I., G. Eslava G. y P. Romero M. 2004. Conceptos básicos de muestreo. UNAM. México. 130 p.
- Pérez L., C. 2000. Técnicas de muestreo estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas. Alfaomega Grupo Editor. México. 603 p.
- Prodan, M. V., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 561 p.
- Scheaffer, R. L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Trad. por Rendón S., G. y J. R. Gómez A. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 321 p.
- Schreuder, H. T. and P. H. Geissler. 1999. Plot designs for ecological monitoring of forest and range. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.);

- North American Science Symposium: Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, CO. USA. pp.180-185.
- Schreuder, H. T., M. S. Williams, C. Aguirre-Bravo and P. L. Patterson, 2003. Statistical strategy for inventorying and monitoring the ecosystem resources of the Mexican States of Jalisco and Colima at multiple scales and resolutions levels. Forest Service-USDA. General Technical Report RMRS-GTR-107. USA. 15 p.
- Schreuder, H. T., R. Ernst and H. Ramírez M. 2004. Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources. Forest Service-USDA. General Technical Report RMRS-GTR-126. USA. 111 p.
- Scott, C. T. 1991. Optimal design of a plot cluster for monitoring. *In*: Rennolls K. y G. Gertner (Eds.): The optimal design of forest experiments and forest surveys. IUFRO, The University of Greenwich. pp. 233-242.
- Scott, C. T. 1998. Sampling methods for estimating change in forest resources. *Ecological Applications*, 8(2), pp. 228-233.
- Scott, C. T. and W. A. Bechtold. 1995. Techniques and computations for mapping plot clusters that straddle stand boundaries. *For. Sci. Monogr.* 31:46-61.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1992. Inventario nacional forestal de gran visión. México 1991-1992. Reporte Principal. México. 53 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario nacional forestal periódico 1992-1994. México. 81 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Muestreo y procesamiento de información de campo del inventario nacional forestal 2000-2002. Primera Etapa. Regiones hidrológicas Lerma-Santiago y Pánuco. México. 53 p.
- Sukhatme, P. V. and B. V. Sukhatme. 1970. Sampling theory of surveyys with applications. Iowa State University Press. USA. 452 p.
- Talavera Z., E., L. A. Alonso T., J. G. Flores G. y A. Martínez M. 2001. Efecto del tamaño del sitio en la precisión de inventarios forestales. *Tu bosque* 26:12-15.
- Van Hees, W. W. S. 2002. A comparison of two estimates of standard error for a ratio-of-means estimator for a mapped-plot sample design in Southeast Alaska. *Research Note*. Forest Service-USDA. 9 p.
- Velasco B., E., F. Moreno S. y R. Rodríguez P. 2004. Comparación de siete diseños de unidades de muestreo secundarias en inventarios forestales. *Cien. For. en Méx.* Vol. 27(92):29-51.
- Zarnoch, S. J. and W. A. Bechtold. 2000. Estimating mapped-plot forest attributes with ratios of means. *Can. J. For. Res.* 30:688-697.

TÉCNICA DE LA SILUETA PARA ESTIMAR ÁREA FOLIAR Y BIOMASA AÉREA EN ESPECIES FORESTALES

Miguel Acosta Mireles¹, Fernando Carrillo Anzures¹
y Octavio Salvador Magaña Torres²

RESUMEN

El área foliar representa el total del aparato fotosintético; su cuantificación requiere de análisis destructivos, aun cuando se ha recurrido al uso de ecuaciones alométricas. La biomasa de un organismo se asocia con su índice de productividad. La proyección del área de la copa de un árbol mantiene una relación directa con su área foliar y su biomasa; para el silvicultor o el plantador es importante conocerla para estimar la calidad de una planta con sólo medir dicha característica. Mediante el análisis de regresión lineal simple se ajustó un modelo de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ para determinar la vinculación que existe entre la proyección de las siluetas de la copa y el tallo de plantas jóvenes de *Eucalyptus* sp. con su área foliar y biomasa de la parte aérea; Y representó a la biomasa y al área foliar como variables dependientes y X al área proyectada de las hojas como independiente. De esta manera se obtuvieron dos modelos, uno que asocia el área foliar en función del área proyectada ($r^2 = 0.91$) y otro que determina la relación entre la biomasa aérea total y el área proyectada ($r^2 = 0.83$). Los resultados indican que la sombra de la silueta de las hojas tiene una alta correlación con su área foliar y con su biomasa, pero es mayor entre las siluetas de las hojas y su área foliar.

Palabras clave: Área foliar, área proyectada, biomasa, ecuaciones alométricas, *Eucalyptus*, silueta.

ABSTRACT

The foliar area is equivalent to the whole photosynthetic individual system; in order to quantify it, a destructive analysis must be done, even though allometric

Fecha de recepción: 10 de julio de 2003.

Fecha de aceptación: 04 de mayo de 2005.

¹ Campo Experimental Valle de México, C.I.R. Centro, INIFAP. Correo-e: acosta.miguel@inifap.gob.mx

² Coordinación de Investigación, Innovación y Vinculación, INIFAP.

models have been used. Biomass is related to the productivity index of an organism; the projection of the canopy area of a tree keeps a direct relation with the foliar area and its biomass; it is important for the forester to know this relation in order to assess plant quality just by measuring this characteristics. Through a simple linear regression analysis, a linear model of the form $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ was adjusted to determine the relationship between the projected silhouette of the canopy plus stem of seedlings of *Eucalyptus* sp. with its leaf area and aerial biomass. Y represented aerial biomass and leaf area as dependent variables and X the projected area of canopy plus stem as independent variable. Two models were obtained, one expressed the leaf area as a function of the projected area ($r^2 = 0.91$) and other that estimated total aerial biomass as a function of projected area ($r^2 = 0.83$). Results showed that the area of the canopy silhouette has a high correlation with leaf area and with aerial biomass, but there is even a higher association between the silhouette and its foliar area.

Key words: Leaf area, projected area, biomass, allometric equations, *Eucalyptus*, silhouette.

INTRODUCCIÓN

El área foliar de un árbol refleja, en cierta medida, las características de productividad del individuo, ya que representa la superficie disponible para la intercepción de energía, la absorción de bióxido de carbono y la difusión de agua de la hoja hacia la atmósfera (Margolis *et al.*, 1995). El área foliar constituye en sí, el total del aparato fotosintético; sin embargo, su cuantificación es muy laboriosa y por lo regular, se requiere de análisis destructivos para determinarla. Por lo anterior, con frecuencia se recurre a la estimación del área foliar mediante el uso de ecuaciones alométricas, que son funciones matemáticas que establecen la correspondencia entre los tamaños de las partes de un individuo (Huxley, 1932); éstas han sido muy utilizadas en especies leñosas forestales para calcular la biomasa aérea total y el área foliar a partir del diámetro normal o del área de la albura (Grier y Waring, 1974; Espinosa-Bancalari *et al.*, 1987; Geron y Ruark, 1988; Chapman y Gower, 1991 y Cano-Morales, 1993).

La biomasa de un individuo se identifica con su índice de productividad, por lo que podría ser un indicador de su vigor. En las plantaciones forestales es muy importante evaluar la biomasa de los árboles que se incorporarán con el fin de asegurar el éxito de las mismas. Algunas de las variables que se han seleccionado para estimar el vigor de las plántulas son el diámetro del tallo a la altura del cuello de la raíz y la altura total, aunque se considera que existen otros criterios que pueden ser más precisos; como por ejemplo, el área de la silueta de la copa.

La proyección de la superficie de la copa de un árbol mantiene una relación directa con su área foliar y su biomasa; conocerla sería de gran relevancia para

el silvicultor o el plantador, ya que le permitiría estimar la calidad de una planta, con sólo medir la proyección de su copa.

El nivel de asociación entre la silueta de la copa y la biomasa de la planta difiere entre especies, debido a diversas causas, como son: a las diferencias en la configuración de la copa; al ángulo de inserción de las hojas, su orientación y forma; la distribución del follaje en la copa, la edad del arbolado; así como a la densidad y la proporción de ramas gruesas con respecto al follaje.

En varios trabajos se ha tratado de encontrar la conexión que existe del área foliar con otros parámetros fáciles de medir. Así, Jurik *et al.* (1985) compararon cuatro métodos para determinar el índice de área foliar en un bosque sucesional de hojosas; MacArthur y Horn (1969) utilizaron fotografías panorámicas para definir el grado de cobertura de un rodal, como una alternativa para estimar el mismo índice. Otra opción más sofisticada son las técnicas de percepción remota, que usan el grado de longitud de onda interceptado por el follaje (Jordan, 1969).

El objetivo del presente estudio fue establecer la relación entre la silueta de la copa y el tallo de plantas jóvenes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh con el área foliar y la biomasa de la parte aérea.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el vivero del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, ubicado entre los 19° 29' latitud norte y los 98° 4' longitud oeste, a una altitud de 2250 m. En este vivero existe una plantación de eucalipto de siete años de edad, establecida en 1994 (Ortega, 1994), y conformada por seis especies de eucalipto: *Eucalyptus botryoides* Sm., *E. dunnii* Maid., *E. gomhocephala* D. C., *E. pauciflora* Siebr. ex Sprengel, *E. camaldulensis* y *Eucalyptus* sp. Cada año se han podado los árboles para mantenerlos con una altura promedio de 5.0 m.

La selección de los ejemplares se realizó de manera dirigida a individuos de la especie *E. camaldulensis*, con una altura, forma de copa y ramas de tamaño similar. Debido a que se disponía de las ramas de las podas que se aplicaron a una plantación establecida en 1985 en el área del Colegio, se decidió utilizarlas para simular plantas entre 3 y 6 meses de edad, que es el tamaño aproximado en el momento de la plantación. Se seleccionaron 25 ramas (una por cada árbol) de diversos tamaños, cuidando que tuvieran diferente forma y follaje.

Procedimiento para obtener la silueta

De cada rama se tomó una fotografía blanco y negro (película Kodak x Pan 100 ASA) con fondo blanco para resaltar la silueta de las ramas. Además se colocó

una escala de referencia para representar el tamaño en centímetros y un número de control, de modo que se tuviera la dimensión proporcional de la imagen y, por lo tanto, el área que representa la silueta proyectada. Para este proceso se utilizó una cámara fotográfica marca Nikon FG con un lente zoom 28-30 mm y filtro polarizado para evitar los reflejos por efecto de la luz.

En cada toma se conservó la misma distancia entre la cámara y las ramas, la cual se acomodó de forma paralela al plano negativo de la película (Figura 1); la silueta completa de la rama siempre quedó en el marco de la fotografía (Figura 2).



Figura 1. Posición de la rama con respecto a la película de la cámara al momento de tomar la fotografía.

Determinación del área foliar y biomasa de la rama

Con la fotografía de cada rama, se obtuvo el área foliar en un integrador LI-3100 Área Meter LI-COR. Para la producida por la silueta se utilizó un acetato y sobre éste se copió la misma al pasar a través del integrador. El área proyectada de las sombras de cada rama, se describe en la Figura 3. Con la escala y el área se calculó el área real; posteriormente, se determinó su biomasa total, que incluye hojas y ramillas. Cada rama se secó en una estufa de secado a 70°C durante 48 h, hasta alcanzar peso constante.

Análisis de la información

Mediante un análisis de regresión lineal simple se ajustó un modelo de la forma $Y = a + bX$, donde Y representó la biomasa y el área foliar como variables

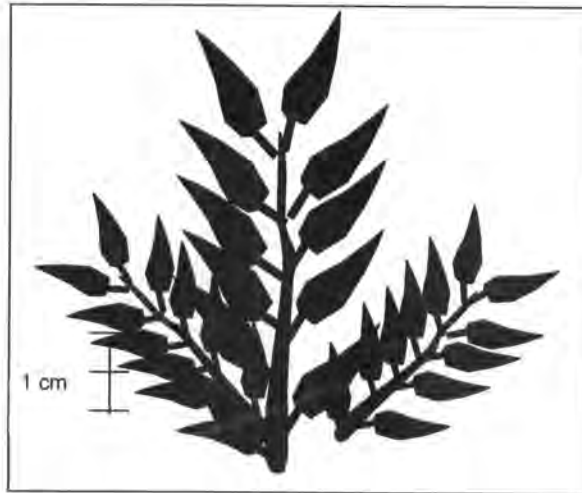


Figura 2. Posición de las hojas en el cuadro de la fotografía, en la esquina inferior izquierda se ejemplifica la escala.

dependientes y X el área proyectada de las hojas como variable independiente; a y b son los parámetros por estimar; la decisión se tomó sobre la base de que las gráficas de dispersión de puntos demostraron que es el tipo de curva que mejor describe la vinculación entre área de proyección con el área foliar y la biomasa. Así, se generaron dos modelos: uno que define al área foliar en función del área proyectada y otro que determina la relación entre la biomasa total y el área proyectada. Los parámetros del modelo se obtuvieron por el método de mínimos cuadrados que se pueden calcular en una hoja de Excel (Microsoft 95).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 4 y 5 muestran los resultados del ajuste y la distribución de puntos para estimar las variables consideradas con base en la silueta proyectada de las ramas. Los datos estadísticos del ajuste de los modelos se reúnen en el Cuadro 1. Al mismo tiempo se graficaron los valores de los residuales contra los valores predichos para ver si había alguna evidencia de violación de los supuestos básicos del método de mínimos cuadrados. En la Figura 4 se observa que al calcular el área foliar a partir de la silueta de las hojas, se tiene un buen ajuste, con una $r^2 = 0.91$, y de acuerdo a la dispersión de residuales, no se advierten dificultades (Figura 6); en cambio, para predecir la biomasa por medio de la misma variable, se aprecia que el coeficiente de determinación es un poco menor que el obtenido para estimar área foliar, con un $r^2 = 0.834$ (Figura 5).

Cuadro 1. Resultado del análisis de regresión lineal, con el área foliar (AF) y la biomasa (B) como variables dependientes.

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R2
Variable dependiente área foliar (AF)						
Modelo	1	3178451.1	3178451.1	229.15	0.0001	0.90878
Error	23	319028.2	13870.8			
Total corregido	24	3497479.2				
		T for H0:	Pr > T			
Parámetro	Estimado	Parámetro = 0				
INTERCEPT	-121.5711425	-2.14	0.0430			
APF	2.7511025	15.14	0.0001			
Variable dependiente biomasa (B)						
Modelo	1	1185.3	1185.4	117.1	0.0001	0.8299
Error	24	242.9	10.1			
Total corregido	25	1428.3				
		T for H0:	Pr > T			
Parámetro	Estimado	Parámetro = 0				
B	0.04975	24.4	0.0001			



Figura 3. Ejemplo de la forma de tomar las fotografías de las ramas, con su número de control y la referencia de la escala.

Por otra parte, al graficar los valores residuales contra los valores estimados hay cierta tendencia de presentar problemas de heterogeneidad de varianzas asociadas al tamaño de las ramas (heteroscedasticidad) (figuras 6 y 7).

Es probable que el problema de heteroscedasticidad se deba principalmente a la distribución de las hojas en las ramas grandes, pues muchas de ellas quedan sobrepuestas unas con otras y, por lo tanto, muestran menor área que la real debido al tamaño de cada una; además, su tronco por lo general es grueso y en consecuencia su biomasa es mayor; en cambio las de tamaño pequeño por sí mismas reflejan el área que tienen porque contienen ramillas delgadas, aspecto que se asemeja mas a plántulas de tres a seis meses de edad. Para minimizar la heteroscedasticidad, se recomienda realizar regresiones por rangos de tamaños.

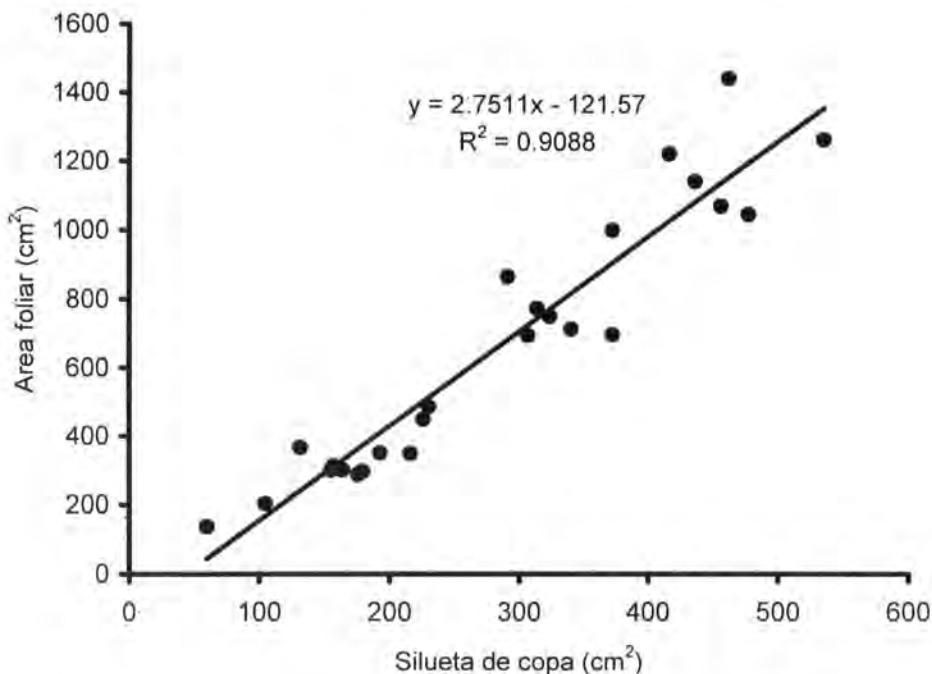


Figura 4. Dispersión de puntos y tendencia de la recta que relaciona el área proyectada de la silueta de las hojas con el área foliar.

Con base en los análisis realizados, se puede concluir que la técnica de fotografiar la silueta de las hojas de los árboles constituye un buen método alternativo para estimar área foliar y biomasa de plantas jóvenes. Representa una técnica fácil de aplicar, barata y eficiente. Sería conveniente probarla para efectuar estimaciones en árboles adultos; quizás la técnica tendría que modificarse por el tamaño de los individuos y para diferentes especies. Sin embargo de funcionar, sería de gran ayuda para hacer predicciones de biomasa y área foliar en rodales.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio muestran que la copa de las ramas tiene una alta correlación con el área foliar y con la cantidad de biomasa presente en ellas. Sin embargo existe una mayor asociación entre la silueta de las hojas con el área foliar.

Se aprecia cierto problema de heteroscedasticidad al ajustar el modelo lineal entre el área proyectada de las sombras de las hojas con la biomasa del árbol.

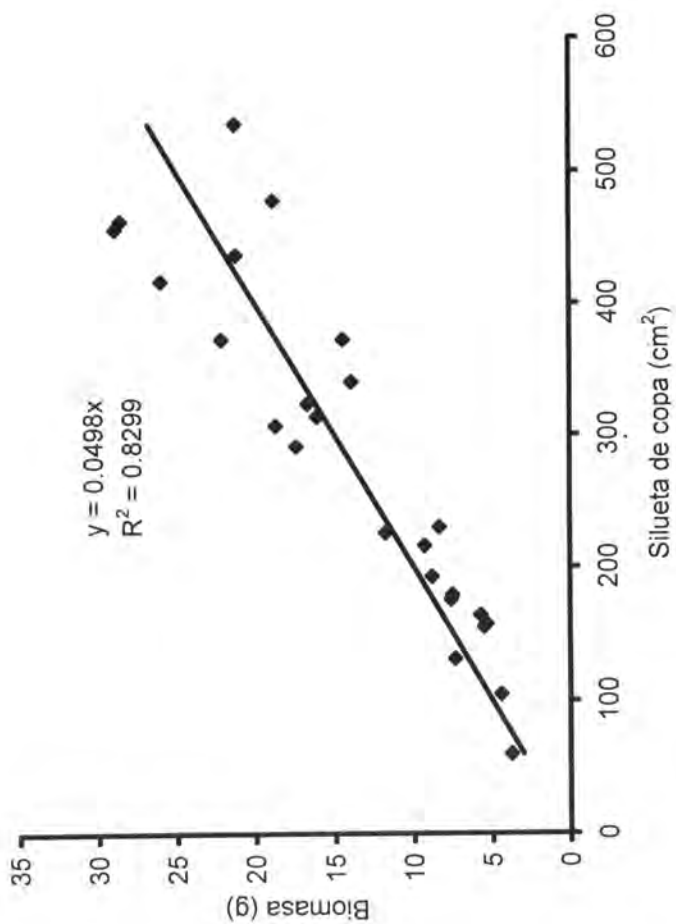


Figura 5. Dispersión de puntos y tendencia de la recta que relaciona el área proyectada de la silueta de la copa y la biomasa.

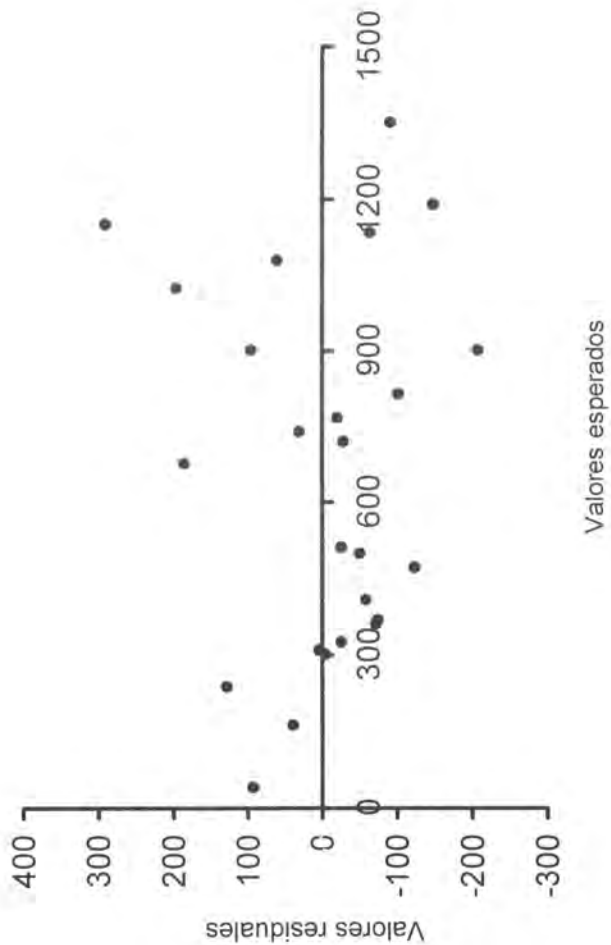


Figura 6. Dispersión de los residuales con respecto a valores esperados de acuerdo al análisis de regresión para estimar área foliar a partir de la silueta de las hojas.

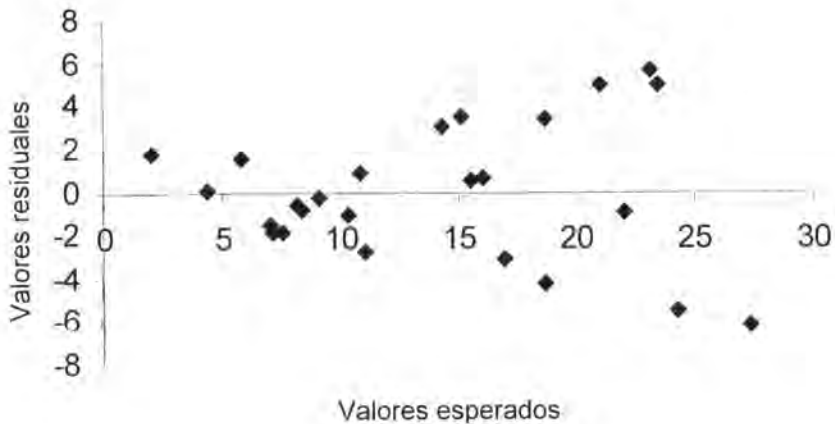


Figura 7. Dispersión de los valores residuales con respecto a los valores esperados de acuerdo al análisis de regresión para estimar la biomasa a partir de la silueta de las hojas.

La técnica de fotografiar la silueta de las hojas de los árboles, puede usarse como un método alternativo para estimar área foliar y biomasa.

REFERENCIAS

- Cano-Morales, E. E. 1993. Relación alométrica entre el área foliar y el área de la albura en *Pinus patula* Schl et Cham., en Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Programa Forestal. Montecillo, Edo. de México. 125 p.
- Chapman, J. W. and S. T. Gower. 1991. Aboveground production and canopy dynamics in sugar maple and red oak trees in southwestern Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 21: 1533-1543.
- Espinosa-Bancalari, M. A., D. A. Perry and J. D. Marshall. 1987. Leaf area-sapwood area relationships in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. *Can. J. For. Res.* 17: 174-180.
- Geron, C. D. and G. A. Ruark. 1988. Comparison of constant and variable allometric ratios for predicting foliar biomass of various tree genera. *Can. J. For. Res.* 18(10):1298-1304.
- Grier, C. C. and R. H. Waring. 1974. Conifer foliage mass related to sapwood area. *For. Sci.* 38: 503-512.
- Huxley, J. S. 1932. Problems of relative growth. The Dial Press, New York. 276 p.
- Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50(5):663-666.

- Jurik, T. W., G. M. Briggs and D. M. Gates. 1985. A comparison of four methods for determining leaf area index in successional hardwood forests. *Can. J. For. Res.* 15: 1154-1158.
- MacArthur, R. H. and H. S. Horn. 1969. Foliage profile by vertical measurements. *Ecology* 50(5):802-804.
- Margolis, H., R. Oren, D. Whitehead and M. R. Kaufmann. 1995. Leaf area dynamics of conifer forests. *In: Smith, W. K., and T. M. Hinckley [eds.] Ecophysiology of coniferous forests.* Academic Press. pp 181-223
- Ortega C., C. 1994. Distribución de biomasa y relaciones hídricas en seis especies de *Eucalyptus* bajo dos condiciones de humedad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 104 p.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN RODAL DE SABINO (*Taxodium mucronatum* Ten.) EN LOS PEROLES, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

José Villanueva Díaz¹, Agustín Hernández Reyna²,
Felicidad García Sánchez³, Eladio H. Cornejo Oviedo⁴
Dave W. Stahle⁵, Matthew D. Therrell⁵ y Malcom K. Cleaveland⁵

RESUMEN

El estudio se realizó en Los Peroles, SLP con el objetivo de conocer los rasgos estructurales de la vegetación asociada y adyacente a un rodal de *Taxodium mucronatum* (sabino), así como determinar la edad del arbolado. Para el análisis, se utilizaron macro parcelas aleatorias de 10 x 30 m en una superficie de 1 km², con micro parcelas de 1 m²; en las mayores se muestrearon los árboles y en las menores las especies del sotobosque. Por taxa se determinó la densidad, área basal, frecuencia absoluta y relativa e índice de valor de importancia (VI). Se seleccionaron árboles adultos con base en su dominancia en altura, troncos gruesos y amplia cobertura; de cada individuo se registraron sus características morfológicas y edad. Se describen dos comunidades: una pradera de *Spartina spartinae* asociada con sabino y un bosque de *Prosopis laevigata*. En el sotobosque de la pradera se identificaron nueve géneros y en el mezquital seis. Los VI fueron mayores en el sotobosque que en el estrato arbóreo. *S. spartinae*, *Flaveria brownii* (Sin. *F. oppositifolia*), *Verbesina potosina* y *Eragrostis intermedia* son dominantes del estrato herbáceo en la pradera; en el mezquital sobresalen: *Saluzania triloba*, *Suaeda torreyana*; son endémicas de ambas comunidades *Opuntia imbricata*, *F. brownii*, *Androsace cinarensis* y *V. potosina*. La edad de los ejemplares de *T. mucronatum* fluctuó de 146 a 1150 años, no se detectó una correlación significativa ($p > 0.05$) entre edad y diámetro normal,

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2005.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP. Correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx;

² Campo Experimental Palma de la Cruz, Centro de Investigación Regional Noreste, INIFAP.

³ Instituto de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

⁴ Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

⁵ Laboratorio de Dendrocronología, Universidad de Arkansas.

lo anterior probablemente debido a causa de las diferencias existentes en las condiciones microambientales.

Palabras clave: Árboles centenarios, comunidad vegetal, conservación, estructura de edades, sabino, *Taxodium mucronatum*.

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the structural features, vegetation composition, and to determine establishment dates of a *Taxodium mucronatum* stand located in Los Peroles, in San Luis Potosí. Macro-plots of 10 X 30 m were randomly distributed along a square kilometer area to analyze overstory, and randomly located micro-plots (1 m²) were laid inside the macro-plots to determine understory. Measurements of density, basal area, absolute and relative frequency, and importance index value (IV) were determined for each one of the observed species. The selection of baldcypress trees was based upon height dominance, thick stems, wide cover and adult look; morphology and age were recorded for each tree. Two plant communities were found: a grassland of *Spartina spartinae* associated with baldcypress, and a woodland of mesquite (*Prosopis laevigata*). Understory of the *S. spartinae* grassland was composed of nine genus, whereas the mesquite woodland had six. The IV for the understory species was greater than for the overstory species for both communities. *S. spartinae*, *Flaveria brownii*, *Verbesina potosina*, and *Eragrostis intermedia* were the dominant species at the shrub level at the grassland. Likewise, *Saluzania triloba*, *Suaeda torreyana*, and *Opuntia imbricata* were for the mesquite woodland. *Flaveria brownii*, *Androsace cinarescens*, and *Verbesina potosina* are endemic for the area. The age of the *T. mucronatum* trees ranged from 146 to 1,150 years; however, a significant relationship ($p > 0.05$) between age and diameter at breast height was not found, probably as a consequence of the differences present in microenvironmental conditions where the species are thriving.

Key words: Centenarian trees, plant community, conservation, age structure, sabino, *Taxodium mucronatum*.

INTRODUCCIÓN

En México existen pocos lugares que cuentan con árboles centenarios, por lo que el conocimiento de especímenes viejos en el país se limita hacia aquellos individuos que han tenido que ver con aspectos históricos. La información procedente de árboles antiguos, en especial de especies que forman anillos de crecimiento bien definidos, se ha utilizado para desarrollar reconstrucciones de tiempos anteriores de precipitación así como investigaciones de variabilidad

hidroclimática (Stahle *et al.*, 1998, 2000; Villanueva y McPherson, 1998; Therrell *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2003, 2004).

Estudios específicos de vegetación en rodales con individuos arbóreos viejos son escasos en México; algunos, especialmente los realizados en bosques templados, se han fundamentado en datos derivados de sistemas de información geográfica y de los proporcionados por ejidatarios y prestadores de servicios forestales, con objetivos tan particulares como los aprovechamientos o la preservación de la fauna silvestre (Lammertink *et al.*, 1997).

El sitio Los Peroles es único en su género, tanto por la presencia de especies endémicas, como por poseer un rodal de *Taxodium mucronatum* Ten. con ejemplares milenarios. El principal uso actual del suelo es el pastoreo y de manera ocasional es utilizado para fines de recreación por las familias de las comunidades rurales aledañas y aún por los mismos habitantes de la ciudad de Río Verde y de otras partes de San Luis Potosí. A pesar de ser una acción prioritaria, en la actualidad no se cuenta con ninguna disposición legal o infraestructura que permita su protección, que por contar con árboles antiguos y un hábitat tan especial, brinda a la mariposa monarca una estancia temporal.

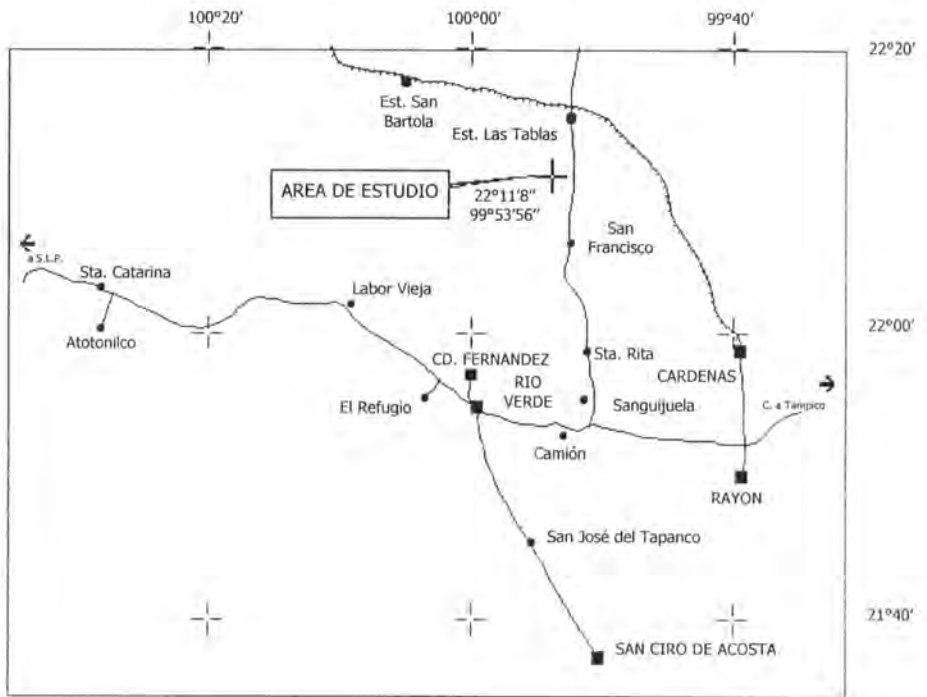
En el ámbito científico, la preservación de este ecosistema resulta por demás interesante, ya que los aspectos biológicos, ecológicos, hidrológicos, históricos y paleoclimáticos, desconocidos del área podrían ser investigados y analizados con mayor detalle para explicar y obtener beneficio de la presencia de árboles antiguos en dicha localidad.

La identificación de especímenes viejos en ecosistemas riparios y otras comunidades vegetales de climas templados y semiáridos son de gran relevancia para fundamentar acciones de manejo que coadyuven a su adecuado aprovechamiento y, además de tomar en consideración la composición de la flora asociada y su relación con el entorno. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar los rasgos fitoestructurales de un rodal de *Taxodium mucronatum* (sabino) y su vegetación circundante, así como estimar la edad de dicha especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El paraje de Los Peroles se localiza en las coordenadas 22° 11' 08" N y 99° 53' 56" W, con altitud de 900 m; se ubica en el ejido San Francisco del municipio de Río Verde en el estado de San Luis Potosí (Figura 1). Le corresponde un clima del tipo BS, semiárido-semicálido, temperatura media anual de 20.5 a 21.5°C y precipitación anual de 350 a 500 mm, con 7 a 9 meses secos (García, 1988).



SAN LUIS POTOSI

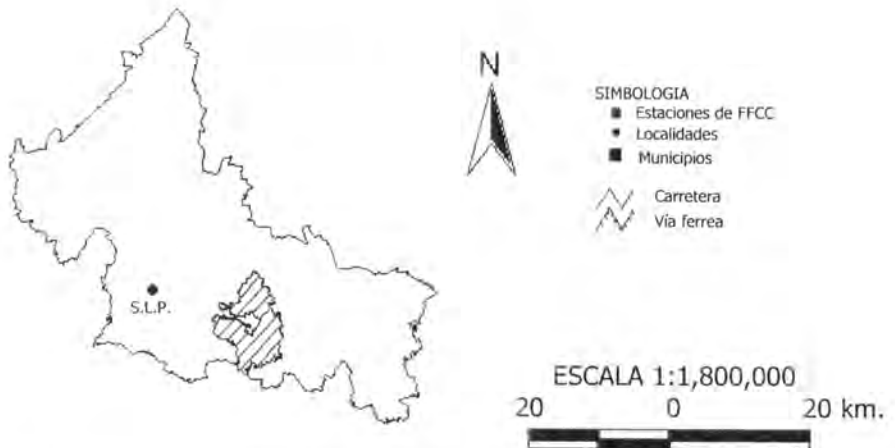


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio Los Peroles, San Francisco, Río Verde, San Luis Potosí.

El área de estudio se caracteriza por la presencia de un manantial de forma redondeada, lo que dio origen a su nombre, con agua cristalina y una profundidad aproximada de 40 a 50 m, que vierte sus aguas en un canal principal con un gasto que fluctúa entre 500 a 800 L s⁻¹, aunque de regular calidad (CE 2.1 dS m⁻¹) es utilizada en la zona para irrigar una superficie de 804 ha (Anónimo, 1985).

El sitio está constituido por suelos calci-yesíferos, de textura migajón limosa, con un pH de 8.5, conductividad eléctrica de 12 dS m⁻¹ y 34% de sodio intercambiable, por lo que muestra problemas de sodicidad (Anónimo, 1985; Villanueva *et al.*, 2001). La vegetación dominante es de tipo halófito y gypsófito, formada por un estrato arbóreo de mezquite (*Prosopis laevigata* H. & B. Johnst) y sabino o ahuehuate (*Taxodium mucronatum*); un estrato arbustivo integrado por granadillo (*Maytenus phyllantoides* Benth.), nopal (*Opuntia engelmannii* var. *cuija* Griffiths & Hare (Sin.: *Opuntia cuija* Griffiths & Hare), *O. imbricata* (Haw.) DC., etc.) entre otras especies, y un estrato de herbáceas en el que sobresale el pasto *Spartina spartinae* Trin. (Rzedowski, 1966).

Los árboles de sabino se localizan de preferencia sobre el margen de pequeños manantiales y en los cursos de las corrientes perennes que derivan de ellos, pero unos cuantos ejemplares se desarrollan en microhábitats especiales, sin el contacto directo con el agua, pero con el manto freático relativamente superficial, o en lugares de corrientes intermitentes. En estos últimos es donde se ubican los individuos longevos, quizás debido a que muchas de sus raíces crecen en el estrato superficial del suelo y dependen tanto del agua de lluvia, como de la capilar, en gran medida para cubrir su demanda hídrica, y no tanto del manto freático o de la que fluye de manera directa en los cauces (Figura 2).

El uso actual del suelo en Los Peroles corresponde al pecuario y en menor proporción al recreativo. En el área se pastorea ganado equino, caprino y vacuno, que consume las plántulas y las semillas del sabino, cuya germinación disminuye de forma significativa con el tiempo (Enriquez *et al.*, 2004). Es tradicional que algunos usuarios del agostadero quemen el pasto en el periodo invernal cuando se lignifica, para aprovechar la producción de rebrote tierno después del incendio. Esta práctica sin control ha lastimado a muchos árboles de *T. mucronatum*, que es muy sensible al fuego (Brown y Montz, 1986) incluso habiendo causado la muerte de algunos de ellos. Los estragos por dicho disturbio se evidencian por la presencia de cicatrices, así como de carbón en el tronco principal. Adicionalmente, los visitantes y quienes se dedican al cuidado del ganado ocasionan daños al arbolado que consisten en heridas y cortaduras en troncos y ramas, sin percatarse de su importancia histórica, de su belleza escénica y de su papel biológico en el ecosistema.



Figura 2. Árbol de sabino, localizado en un sitio sin contacto directo con el agua. Este espécimen antiguo tiene más de mil años de edad.

Vegetación

En una superficie de 1 km² se analizó la estructura de la vegetación en los sitios y parajes cercanos a donde se ubica el sabino y otras especies arbóreas fisonómicamente dominantes, como el mezquite. Para el registro de árboles, se utilizaron macro parcelas de 10 x 30 m (150 m²) distribuidas aleatoriamente, en las que se tomaron los datos correspondientes a diámetro normal (1.35 m) con cinta diamétrica y la altura mediante triangulación con pistola Haga; dentro de dichas parcelas, se limitaron al azar micro parcelas de 1 x 1 m (1 m²), en ellas se midieron con cinta métrica el diámetro basal y la altura de las especies herbáceas y arbustivas.

La información se analizó con base en los métodos propuestos para la estructura de la vegetación por Müller-Dombois y Ellenberg (1974) y por Matteucci y Colma (1982). A nivel de especie, se obtuvo el valor de densidad, área basal, frecuencia absoluta y relativa e índice de valor de importancia, acorde a las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 A_i &= (\varnothing)^2 * 0.785 \\
 FR_i &= m_i / \sum m_i * 100 \\
 AB &= (\sum A_i) / S \\
 AR_i &= A_i / (\sum A_i) * 100 \\
 DA_i &= n_i / S \\
 DR_i &= DA_i / \sum DA_i * 100 \\
 VI &= AR_i + DR_i + FR_i
 \end{aligned}$$

Donde:

- A_i = Área basal de la especie i
- FR_i = Frecuencia relativa de la especie i
- AB = Área basal absoluta
- AR_i = Área basal relativa
- DA = Densidad absoluta
- DR_i = Densidad relativa
- VI_i = Valor de importancia
- m_i = Muestras en la que aparece la especie i
- $\sum m_i$ = Suma de las muestras donde aparecen todas las especies
- n_i = Individuos de la especie i
- $\sum A$ = Suma de las áreas basales de todas las especies
- $\sum DA$ = Suma de las densidades absolutas de todas las especies
- S = Superficie muestreada
- \varnothing_i = Diámetro de la especie i

Se seleccionaron 36 árboles de sabino para estimar su edad, bajo los siguientes criterios: dominancia en altura, troncos gruesos, amplia cobertura y apariencia adulta. Los individuos viejos muestran por lo general una copa extendida, muerta en la parte superior, ramas descendentes, tronco torcido, hueco y espiralado, corteza hendida y relativamente blanquecina; en comparación con árboles jóvenes cuya apariencia es vigorosa y la coloración de la corteza es más oscura. Conforme la especie se torna senil, su tronco se ahueca como consecuencia inicial de la acción de aves, insectos (barrenadores), bacterias y hongos. A través de los orificios penetra el agua de lluvia, que se acumula en las oquedades del tronco principal y se fermenta, lo que es probable que acelere la muerte del organismo. Además, dichas cavidades sirven de refugio a insectos (abejas, avispas, barrenadores, etc.) y aún a mamíferos (coyotes, zorras, liebres, etc.).

Para determinar la edad, se utilizó un taladro Pressler de 18 a 24" de longitud, colocado a una altura de entre 1.3 a 1.4 m en lados opuestos al tronco; con ello se obtuvieron de dos a tres muestras (virutas o núcleos de crecimiento) con una longitud promedio de 45 cm cada una. En laboratorio, se procedió a estimar la edad de los árboles, para lo cual se hizo el montaje y pegamento de virutas en bases acanaladas de madera; se realizó su pulido progresivo con lijas de grano grueso a fino (120, 220, 400) con el fin de resaltar los anillos de crecimiento y por último se contaron las capas de crecimiento anual (Villanueva *et al.*, 2004).

Para fechar el año exacto de formación, se procuró discriminar a los anillos falsos o dobles, así como a los perdidos (ausentes), mediante el uso de técnicas dendrocronológicas estándar (Fritts, 1976; Stokes y Smiley, 1996). La identificación correcta de los anillos de crecimiento anual, se llevó a cabo de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Cambios abruptos de coloración entre las zonas de transición de un crecimiento anual a otro contiguo
- Diferencias en el tamaño de las estructuras celulares, especialmente de la madera tardía
- Variaciones en el ancho de anillos
- Comparación de crecimientos para un año en particular, con el crecimiento de muestras procedentes de otros árboles.

El cálculo aproximado de la edad se hizo con base en la edad de la sección obtenida con el taladro (Brown y Montz, 1986) a la cual se le añadió cierto número de anillos faltantes en aquellas secciones que no contenían el centro del individuo (Applequist, 1985). Debido a que en general los árboles crecen con mayor rapidez y en consecuencia producen anillos más anchos en su etapa juvenil, se contaron los existentes en los primeros 10 cm de la parte interna de

la muestra (opuesta a la corteza). Con este dato y el valor del radio de cada ejemplar, se realizó una extrapolación para calcular los años de la sección faltante; así mismo, se adicionaron cinco años, tiempo promedio estimado que transcurre para que los sabelos alcancen la altura de 1.3 a 1.4 m.

La edad estimada total del árbol, se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$Eta = \sum(Ni + Nf + Na)$$

Donde:

Eta = Edad total del árbol (años)

Ni = Número total de anillos en la viruta obtenida con el taladro Pressler

Nf = Número de anillos en la sección faltante (extrapolación y método Applequist)

Na = Número de años que requiere el árbol para alcanzar la altura de muestreo (donde se obtuvo la viruta), que para el presente estudio se consideró un valor de 5.

Con los datos de diámetro del árbol y edad estimada se efectuó una correlación simple para definir la relación entre ambas variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los muestreos indican la presencia de dos comunidades vegetales, un mezquital en la periferia del manantial y una pradera con árboles aislados aledaña a la anterior.

Mezquital (*Prosopis laevigata*, *Saluzania triloba*, *Suaeda torreyana*, *Opuntia imbricata*)

Ubicado en terrenos con un desnivel superior a los 2 m, con respecto a la pradera de *Spartina*, se caracteriza por la presencia de un total de siete taxa pertenecientes a siete familias botánicas. Desde el punto de vista fisonómico, la especie dominante es *Prosopis laevigata*. El bosque de mezquite es característico de la llanura donde se localiza el área de trabajo, comunidad que Rzedowski (1966) califica como mezquital extradesértico (Figura 3).

La densidad absoluta es de 99,780 individuos ha⁻¹ (Cuadro 1), 0.20% son árboles de *P. laevigata* y 99.8% herbáceas que conforman el sotobosque. Del total del valor de importancia, más de dos terceras partes corresponden a las especies de este estrato, así como 98.5% del área basal; la frecuencia está relativamente equilibrada en todos los taxa, los factores densidad y área basal



Figura 3. Comunidad de mezquital aledaño a pradera de pastizal con sabino.

influyen de manera determinante en el valor de importancia. Bajo el dosel de mezquite está mejor representada la vegetación del sotobosque, pues fuera de las áreas de copa, existe mucho pisoteo y compactación por el ganado, que casi ha dejado el suelo denudado.

El valor de importancia más alto de las especies del sotobosque lo presentan en orden decreciente *Saluzania triloba* Ort., *Suaeda torreyana* Watson y *Opuntia imbricata* (Cuadro 1). El primer caso obedece a su densidad; en *S. torreyana*, la densidad y área basal repercuten de manera preponderante en su dominancia, pero en *O. imbricata*, el área basal determina su importancia en gran medida. La amplitud de altura del sotobosque varía de 0.01 a 0.75 m, sobresale en el límite superior de este atributo *O. imbricata* y en el inferior *Euphorbia indivisa* Engelm.

Para *P. laevigata*, la frecuencia es el factor que más influye en VI; en lo referente a los atributos restantes, como la densidad y el área basal, son superados por

Cuadro 1. Atributos estructurales de bosque de *Prosopis laevigata* adyacente a pradera de *Spartina spartinae* con *Taxodium mucronatum*.

Especie	DA ¹ (Ind ha ⁻¹)	DR ² (%)	ABA ³ (m ² ha ⁻¹)	ABR ⁴ (%)	FR ⁵ (%)	VI ⁶	Altura (m)	
							Máxima	Mínima
Árboles								
<i>Prosopis laevigata</i>	180	0.20	8.5	1.5	16.1	17.80	10	4
Sotobosque	99,600	99.8	534.0	98.50	83.90	282.20		
<i>Saluzania triloba</i>	50,000	50.1	172.0	31.7	16.1	97.90	0.50	0.05
<i>Suaeda torreyana</i>	23,000	23.0	149.3	27.5	16.1	66.60	0.30	0.10
<i>Opuntia imbricata</i>	3,300	3.33	160.0	29.5	9.8	42.63	0.75	0.25
<i>Eragrostis intermedia</i>	10,000	10.0	20.0	3.7	16.1	29.80	0.10	0.05
<i>Euphorbia indivisa</i>	10,000	10.0	20.0	3.7	16.1	29.80	0.05	0.01
<i>Androsace cinerascens</i>	3,300	3.33	13.0	2.4	9.7	15.43	0.20	0.10
Total	99,780	100	542.5	100	100	300.0		

¹DA = Densidad Absoluta, ²DR = Densidad Relativa, ³ABA = Área Basal Absoluta, ⁴ABR = Área Basal Relativa, ⁵FR = Frecuencia Relativa (FR), ⁶VI = Índice de Valor de Importancia.

las diferentes especies del sotobosque. Esta especie tiene un diámetro normal promedio de 22 cm, registrando la mayor frecuencia de los individuos en las categorías diamétricas de 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm, y en una menor, las clases de 30 a 40 y 40 a 50 cm, respectivamente (Cuadro 2). La altura promedio del estrato arbóreo del mezquite es de 7 m, la clase de 5 a 10 m fue la mejor representada, notándose una amplia abundancia en comparación a las clases de 0 a 5 y 10 a 15 m (Cuadro 3).

Cuadro 2. Clases diamétricas de árboles de mezquite (*Prosopis laevigata*) en áreas adyacentes a la pradera de *Spartina spartinae* con sabino.

Clase diamétrica (cm)	Individuos ha ⁻¹
5 - 10	47
10 - 20	53
20 - 30	47
30 - 40	7
40 - 50	26
Total	180

Cuadro 3. Clases de altura y frecuencia de árboles de mezquite (*Prosopis laevigata*) en áreas adyacentes a la pradera de *Spartina spartinae* con *Taxodium mucronatum*.

Clase de altura (m)	Número de árboles ha ⁻¹
0 - 5	53
5 - 10	120
10 - 15	7
Total	180

Pradera de *Spartina spartinae* con elementos aislados de *Taxodium mucronatum*

La pradera se localizó en terrenos cercanos a canales y manantiales. Su existencia coincide con la distribución geográfica y ecológica descrita para esta comunidad por Rzedowski (1966), quien la consigna de lugares con alcalinidad y nivel freático elevados, lo cual es característico de terrenos cercanos al sitio Las Tablas, dentro de la Llanura de Río Verde. Por otra parte, *T. mucronatum* está presente a lo largo de corrientes de agua más o menos permanentes (Rzedowski, 1970). Cabe señalar que la pradera de *Spartina*, citada por dicho autor, también forma parte de Los Peroles (Figura 1).

Además de *S. spartinae*, se identificaron otras siete especies herbáceas, pertenecientes a ocho familias botánicas y nueve géneros (siete herbáceas y dos arbustivas) (Cuadro 4).

La dominancia fisonómica es compartida entre *S. spartinae* y *T. mucronatum*; así, *Spartina* predomina en abundancia, biomasa y presencia perenne, mientras que el sabino destaca por sus individuos corpulentos de troncos gruesos y tortuosos.

En esta comunidad existe una densidad absoluta total de 139,539 individuos ha^{-1} (Cuadro 4), de ellos 0.04% (50 individuos ha^{-1}) corresponden a *T. mucronatum*, 99.96% son especies arbustivas y herbáceas pertenecientes al sotobosque con un total de 139,489 individuos ha^{-1} . El sotobosque, a diferencia del sabino, en conjunto, registró mayor valor de importancia total (sotobosque 292.28 vs sabino 7.74), los atributos de área basal y densidad influyen de forma decisiva en el valor de importancia.

Los números más altos del estrato herbáceo, los presentan *S. spartinae*, *Flaveria brownii* A. Powell (Sin. *Flaveria oppositifolia* (DC.) Rydb), *Verbesina potosina* B. L. Rob. y *Eragrostis intermedia* A. S. Hitchc., en el primer y segundo taxa, el área basal es el factor que más influye en su dominancia; a diferencia de *V. potosina* y *E. intermedia*, cuya densidad es la que más contribuye en su importancia, la frecuencia es semejante para las primeras tres especies al igual que en *Suaeda torreyana* y menor en *E. intermedia*.

El estrato arbustivo comprende a *O. engelmanni* var. *cuija* e individuos de repoblación natural de *P. laevigata*, misma que es dominante debido a su mayor área basal, siendo ambas semejantes en los atributos de densidad y frecuencia; en la pradera: las herbáceas tienen una mayor dominancia, pues superan al resto de los vegetales en todos los atributos estructurales.

S. spartinae presenta follaje todo el año y es aprovechada por el ganado; se desarrollan entremezcladas con *S. spartinae* y se observaron floreciendo en el otoño. Aparentemente, *V. potosina* y *F. brownii* son de carácter anual, o bien, pierden sus hojas en épocas más secas y frías, lo que propicia que en el invierno

no se note su presencia. Cabe mencionar que fuera de los sitios de muestreo y a orillas de las acequias de agua, se registró la especie *Eupatorium betonicifolium* P. Mill.

Para *T. mucronatum*, el factor que más influye en su valor de importancia es el área basal, ya que ocupa mayor superficie sobre el suelo, incluso superior que el del estrato arbustivo y que el de algunas herbáceas. La altura del sotobosque varía desde 0.02 hasta 1.70 m; los valores más bajos corresponden a *Hediotys wrightii* (S. Gray) Fosberg (Sin. *Hediotys cervantesii* Kunth) y *Androsace cinerascens* B. I. Robinson y los valores superiores a *P. laevigata* y *Opuntia engelmannii* var. *cuija* (Cuadro 4).

El diámetro normal promedio de *T. mucronatum* fue de 1.27 m, con individuos cuyas dimensiones se distribuyen en un intervalo desde 0.65 hasta 2.10 m, aunque la mayoría se concentra dentro de las categorías de 1.15 a 1.25 m y 1.25 a 1.35 m (Cuadro 5); en el resto se distribuyen los ejemplares de manera relativamente uniforme. La altura promedio es de 17.0 m, con un rango de 9 a 24 m; la mayor parte de los árboles se reúne en las clases de 10 a 15 y de 15 a 20 m, y en menor proporción las clases 5 a 10 y 20 a 30 m (Cuadro 6).

Edad de árboles de sabino

El diámetro normal de los árboles seleccionados fluctuó entre 0.7 y 2.1 m, diámetro de copa de 7 a 24 m y un rango de edad de 146 a 1,150 años (Cuadro 7). No se observó una correlación significativa entre estas dos variables ($r^2 = 0.263$, $p > 0.05$), ya que árboles con diámetro pequeño tuvieron más edad que aquellos con diámetro grande y viceversa. El comportamiento indicado parece ser consecuencia de diferencias edáficas y de la disponibilidad de agua. Los individuos en sitios sin limitación hídrica (orillas de corrientes perennes), crecieron con mayor velocidad que los ubicados en lugares sin corrientes o con un manto freático superficial, donde mucho de su desarrollo depende del flujo capilar y de la humedad almacenada en el perfil del suelo como producto de la precipitación.

Al analizar de modo visual la cronología de las capas de crecimiento se observan períodos de supresión (anillos pequeños) y liberación (anillos grandes), los cuales puede atribuirse a las fluctuaciones climáticas a través del desarrollo de la especie, o bien a cambios en la dirección de las corrientes de agua, que en algunas épocas alimentaron de forma directa al árbol y en otras actuaron como un factor limitante (Figura 4).

El rango de edades determinado para *T. mucronatum* en este estudio (146 - 1,150 años), lo convierten en el rodal conocido con árboles más viejos de la especie en México; así, el Árbol del Tule en el estado de Oaxaca, con un

Cuadro 4. Atributos estructurales de pradera de *Spartina spartinae* con *Taxodium mucronatum* en Los Peroles, Río Verde, SLP.

Especie	DA ¹ (Ind ha ⁻¹)	DR ² (%)	ABA ³ (m ² ha ⁻¹)	ABR ⁴ (%)	FR ⁵ (%)	VI ⁶	Altura (m)	
							Maxima	Minima
Árboles								
<i>Taxodium mucronatum</i>	50	0.04	332.0	4.0	3.7	7.74	24	9
Sotobosque	139,489	99.96	8,182.7	96.02	96.3	292.3		
Arbustos								
<i>Prosopis laevigata</i>	976	0.70	191.2	2.25	6.2	9.15	1.70	1.20
<i>Opuntia engelmannii</i> var. <i>cuijia</i>	976	0.70	7.8	0.09	6.2	6.99	1.35	0.50
Hierbas								
<i>Spartina spartinae</i>	23,415	16.78	3,902.4	45.8	13.6	76.18	1.60	0.50
<i>Flaveria brownii</i>	20,488	14.68	2,439.0	28.6	13.6	56.88	1.25	0.40
<i>Verbesina potosina</i>	31,220	22.37	975.6	11.46	13.6	47.43	0.90	0.10
<i>Eragrostis intermedia</i>	39,000	27.95	152.0	1.79	8.6	38.34	0.10	0.05
<i>Suaeda torreyana</i>	3,902	2.8	292.7	3.44	13.6	19.84	0.15	0.10
<i>Hedyotis wrightii</i>	14,634	10.49	55.0	0.64	8.6	19.73	0.10	0.02
<i>Androsace cinerascens</i>	4,878	3.5	167.0	1.95	12.3	17.75	0.10	0.02
Total	139,539	100	8,514.7	100	100	300		

DA = Densidad Absoluta, ²DR = Densidad Relativa, ³ABA = Área Basal Absoluta, ⁴ABR = Área Basal Relativa, ⁵FR = Frecuencia Relativa, ⁶VI = Índice de Valor de Importancia.

Cuadro 5. Clases diamétricas de *Taxodium mucronatum* en pradera de *Spartina spartinae*.

Clases diamétricas (m)	Número de individuos ha ⁻¹
0.65 - 0.75	3
0.75 - 0.85	-
0.85 - 0.95	3
0.95 - 1.05	4
1.05 - 1.15	4
1.15 - 1.25	10
1.25 - 1.35	8
1.35 - 1.45	5
1.45 - 1.55	2
1.55 - 1.65	3
1.65 - 1.75	3
1.75 - 1.85	-
1.85 - 1.95	3
1.95 - 2.05	-
2.05 - 2.15	2
Total	50

Cuadro 6. Clases de altura- número de árboles de *Taxodium mucronatum* en pradera de *Spartina spartinae*.

Clase de altura (m)	Número de individuos ha ⁻¹
5 – 10	3
10 – 15	12
15 – 20	30
20 – 30	5
Total	50

diámetro normal cercano a 20 m, presuntamente formado por la fusión de cuatro árboles individuales, se le atribuye una edad aproximada de 1,350 a 1,400 años (Salas, 1992). La excelente tasa de crecimiento de este ejemplar, quizás se deba a las condiciones climáticas favorables de la localidad, así como al suministro artificial de agua y nutrimentos que le ha proporcionado en los últimos años. De manera comparativa, todos los especímenes de sabino analizados en la presente investigación, muestran un fuste único inconfundible, de consistencia sólida y un crecimiento radial muy inferior, lo que implica la existencia de muchos anillos de crecimiento en una sección radial pequeña.

Aunque la pradera de *Spartina* con sabino y el bosque de *P. laevigata* en el área de estudio están bastante cercanas, difieren en su fisonomía y composición florística. Ambas comparten en común cuatro especies del sotobosque: *P. laevigata*, *A. cinerascens*, *E. intermedia* y *Suaeda torreyana*, de las cuales las primeras tres, son de importancia baja en las dos comunidades y la última es de mayor predominio en el mezquital. Entre ellas, destacan los individuos transgresivos de mezquite de la pradera con casi 1,000 individuos ha⁻¹ (Cuadro 1), lo que puede significar una posible tendencia del mismo para consolidarse como elemento arbóreo a partir de la amplia capacidad del mezquite para establecerse en diferentes condiciones de sitio en la Llanura de Río Verde (Rzedowski, 1966, Puig, 1991, Hernández y Villanueva, 2001).

Los componentes florísticos del área de estudio son representativos de una flora distribuida en particular en la Llanura de Río Verde, que según Rzedowski (1966), pueden pertenecer a reliquias de la flora de un lago extinto, donde resulta interesante señalar la presencia de *Flaveria brownii*, *A. cinarescens* y

Cuadro 7. Datos dasonómicos de los árboles de sabino muestreados en el sitio los Peroles.

Número de árbol	Diámetro normal (cm)	Altura (m) ¹	Diámetro de copa (m) ¹	Edad estimada (años)
1	173.0	13.0	17.0	1,150
2	110.7			338
3	118.8	16.0	18.0	146
4	194.0			505
5	143.8	16.0	18.0	730
6	96.0			786
7	165.5	18.0	19.0	667
8	140.0	17.0	18.0	627
9	98.5			659
10	94.4			430
11	74.6			336
12	107.5	18.0	22.0	599
13	128.2			493
14	163.7	19.0	23.0	1,132
15	130.0			517
16	108.4			176
17	125.6			657

continúa...

Cuadro 7, continuación...

18	132.0	18.0	14.0	617
19	104.0	16.0	18.0	669
20	121.5	18.0	22.0	467
21	115.7			342
22	132.1	23.0	19.0	1,000
23	134.3			348
24	153.9			488
25	122.4	24.0	24.0	613
26	119.6	18.0	21.0	389
27	141.1			178
28	118.9			430
29	116.1			342
30	102.6			166
31	69.8	9.0	7.0	207
32	161.4	15.0	17.0	1,012
33	121.8	17.0	20.0	896
34	92.7			796
35	195.0			364
36	210.0			393

La altura y el diámetro de copa fueron obtenidos sólo para ejemplares seleccionados.

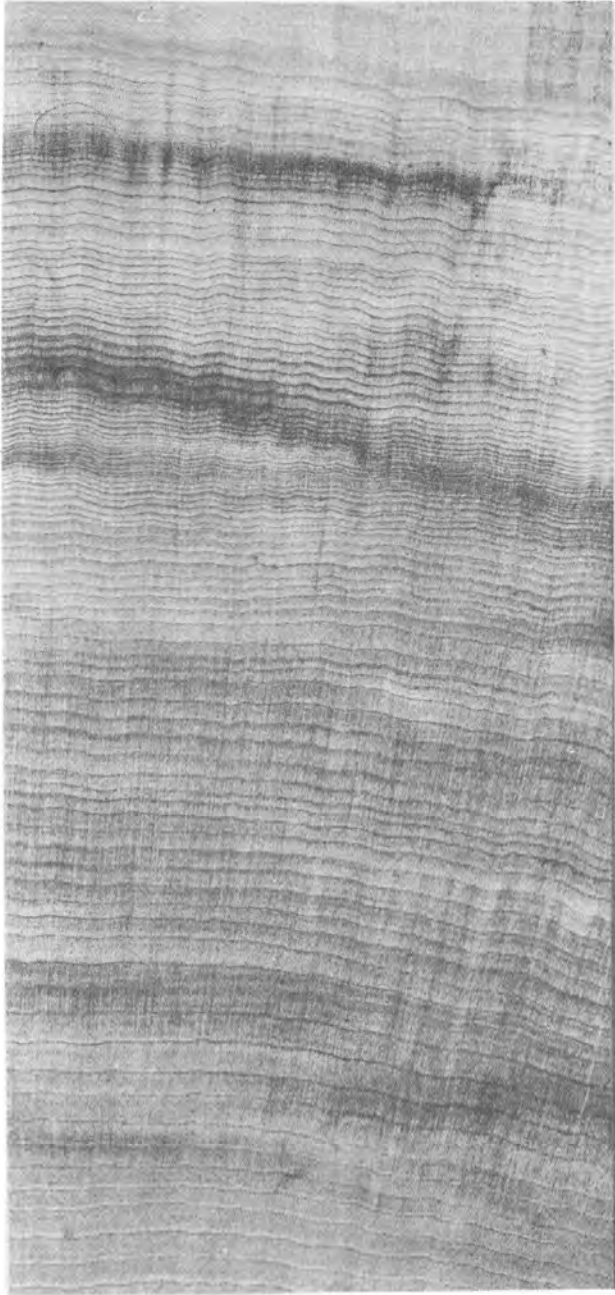


Figura 4. Sección transversal de sabino, donde se observa la variabilidad en el crecimiento de sus anillos anuales, probablemente a consecuencia de fluctuaciones interanuales o episódicas en condiciones climáticas.

V. potosina registradas en las dos comunidades vegetales analizadas en Los Peroles, especies importantes desde el punto de vista de su distribución; a la primera de ellas, se le considera endémica de la Llanura y las dos restantes, son en apariencia, típicas de esta planicie (Rzedowski, 1966).

CONCLUSIONES

En las comunidades vegetales analizadas, se detectó una especie endémica (*F. brownii*) y dos especies típicas de la región, *A. cinarescens* y *V. potosina*. Se registra por primera vez la presencia, estructura y edad de un rodal de *Taxodium mucronatum* en la Llanura de Río Verde, el cual hasta el momento, constituye el rodal más viejo de sabino conocido en México.

En la localidad de Los Peroles se identificaron dos comunidades vegetales muy bien definidas: pradera de *Spartina spartinae* con árboles de *T. mucronatum* y bosque de *Prosopis laevigata*, las dos son distintas en su fisonomía y generalmente en sus componentes florísticos dominantes.

La pradera con *T. mucronatum* se ubica sobre terrenos cercanos a corrientes de agua, con alcalinidad y nivel freático elevados. *S. spartinae* y *T. mucronatum* son codominantes fisonómicos, la mayoría de los individuos de sabino tienen diámetros de 1.15 a 1.35 m, alturas de 10 a 20 m y una edad que fluctúa de 146 a 1150 años. *S. spartinae*, *Flaveria brownii*, *V. potosina* y *Eragrostis intermedia* son las especies más importantes del sotobosque, superando a los árboles en abundancia y área basal.

La composición del mezquital en los estratos arbóreo y sotobosque se conforma de siete especies, una de éstas es *P. laevigata* y seis especies herbáceas; se desarrolla en lugares con desnivel de más de 2 m contiguos a la pradera con sabino. La mayoría de los individuos de *P. laevigata* tienen diámetros de 5 a 30 cm y alturas de 5 a 10 m. *Saluzania triloba*, *Suaeda torreyana* y *Opuntia imbricata* son las especies más importantes del sotobosque.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al financiamiento otorgado por el Instituto Interamericano (IAI) para el proyecto "Treeline" a través de la Universidad de Western Ontario, Canada (UWO) y por el proyecto árboles centenarios del centro-norte de México y su potencial dendroclimático y ecológico con financiamiento del fondo sectorial CONAFOR-CONACYT.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1985. Estudio agrológico San Francisco, Río Verde. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Subdirección Regional del Noreste. 47 p.
- Applequist, M. B. 1958. A simple pith locator for use with off-center increment cores. *Journal of Forestry* 56: 141.
- Brown, C. A. and Glen N. Montz. 1986. Baldcypress, the tree unique, the wood eternal. Claitor's Publishing Division. Baton Rouge, LA. 133 p.
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva D., B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369-388.
- Enriquez Peña, E. G., H. Suzan A., G. Malda B. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en el estado de Querétaro, México. *Agrociencia* 38: 375 – 381.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, New York. 567 p.
- García M., E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4 Edición. México, D. F. 219 p.
- Hernández R., A. y J. Villanueva D. 2001. Establecimiento y manejo de un módulo silvopastoril de mezquite en la zona media de San Luis Potosí. Folleto Técnico No. 15. INIFAP/CIRNE-S.L.P. 26 p.
- Lammertink, J. M., J. A. Rojas T., F. M. Casillas O., y R. L. Otto. 1997. Situación y conservación de los bosques viejos de pino-encino de la Sierra Madre Occidental y sus aves endémicas. Consejo Internacional para la Preservación de las Aves, Sección Mexicana 103 p.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3ª. Edición. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 345 p.
- Matteucci S., D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington. D. C. 168 p.
- Müller-Dumbois, D. S. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley & Sons. New York. 547 p.
- Puig, H., 1991. Vegetación de la Huasteca, México. 1ª edición en español. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Ver. 626 p.
- Rzedowski, J. 1966. Vegetación del estado de San Luis Potosí. Acta Científica Potosina. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 291 p.
- Salas C., A. 1992. El árbol de Santa María del Tule. Documento interno. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Oaxaca, Oax. 10 p.

- Stahle, D. W., R. D. D'arrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Guy, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva-Diaz and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 70(10): 2137-2152.
- Stahle D. W., J. Villanueva, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan, and P. Z. Fule. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. *In: Roig F. A. (compilador). Dendrocronología en América Latina. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo (EDIUNC), Mendoza, Argentina. pp. 285-306.*
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1996. An introduction to tree-ring dating. University of Arizona Press. Tucson, AZ. 73 p.
- Therrel, M. D., D. W. Sathle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva-Diaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107: ACL6-1 – ACL6-8.
- Villanueva D. J. y G. R. McPherson. 1998. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México. *Ciencia Forestal* 24(86): 37 – 64.
- Villanueva D. J, A. Juárez L., A. Hernández R. 2001. Problemas de salinidad de suelos irrigados de las zonas media y altiplano de San Luis Potosí. Folleto Técnico No. 11 INIFAP/CIRNE-S.L.P. 24 p.
- Villanueva D. J., D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, F. Camacho, M., P. Núñez, D. de la F., S. Gómez, Ch., J. Sánchez, S. y J. A. Ramírez, G. 2003. Registros climáticos de los ahuehuetes de Chapultepec en los últimos 450 años. *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 8(23): 34 – 42.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, I. Sánchez C. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto técnico No. 2. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, Méx. 37 p.

TABLAS DE VOLUMEN PARA *Pinus lawsonii* Roezl. Y *P. pringlei* Shaw. EN EL ORIENTE DE MICHOACÁN

H. Jesús Muñoz Flores¹, Salvador Madrigal Huendo¹,
Mario Aguilar Ramírez², Jesús García Magaña² y
Martín Lara Rubio²

RESUMEN

La Comisión Forestal del estado de Michoacán (COFOM) realizó una evaluación cualitativa y cuantitativa de sus recursos maderables por medio de un inventario forestal, a nivel de género botánico por región. Ante la necesidad de contar con tablas de volumen por especie, se llevó a cabo el presente proyecto para el oriente de la entidad. El rendimiento y las existencias de madera de un bosque se estiman mediante el uso de valores tabulados o tabla de volumen, que se ajustan por la técnica de regresión. En este estudio se probaron en dos de sus especies más representativas, *Pinus lawsonii* y *P. pringlei*, los siguientes cuatro modelos exponenciales transformados por logaritmos: Schumacher, variable combinada, Korsun y Thonber. Los resultados del análisis de varianza y sus estadísticos mostraron que todos son confiables, ya que en sus residuales no hay violación a los supuestos de la regresión; sin embargo, el correspondiente a la variable combinada fue el más robusto, pues presentó el valor más alto de F calculada. Derivado de lo anterior, se concluyó que los parámetros de regresión obtenidos en cada especie son diferentes, por lo que se aplicaron pruebas de homogeneidad de modelos; esto hizo posible que se corroborara el supuesto de que las dos ecuaciones son estadísticamente diferentes.

Palabras clave: Existencias volumétricas, modelos de predicción, oriente de Michoacán, *Pinus pringlei*, *P. lawsonii*, tablas de volumen.

ABSTRACT

The Forest Commission of the State of Michoacan (COFOM) made a qualitative

Fecha de recepción: 21 de mayo de 2004.

Fecha de aceptación: 27 de abril de 2005.

¹ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP. Correo: muñoz.jesus@inifap.gob.mx

² Ex investigadores del Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.

and quantitative assessment by means of a regional forest inventory at a genus level. In order to have volumetric species tables, the present study was carried out in the eastern part of the state. The lumber yield and standing volume in forests are estimated by volume table adjusted by regression techniques. Four models were tested (Schumacher, combined variable, Korsun and Thonber) on *Pinus lawsonii* and *P. pringlei*, in the eastern region of Michoacan State. The results show that the four models are reliable, but the combined variable model is the most efficient. Since the two species are similar, a homogeneity test was applied. This means that *Pinus lawsonii* and *P. pringlei* are statistically different.

Key words: Standing volume, prediction models, east of Michoacan, *Pinus lawsonii*, *P. pringlei*, volume table.

INTRODUCCIÓN

La producción y el rendimiento de un bosque pueden estimarse por medio de un inventario forestal o un modelo de producción. En el primero, las tablas o ecuaciones de estimación de volumen son una de las principales herramientas de las que se vale el silvicultor para realizar el manejo forestal; en su elaboración y ajuste se han venido utilizando modelos matemáticos que fueron diseñados para especies diferentes a las de este trabajo, aspecto que es importante considerar pues las ecuaciones de volumen deben ser elaboradas para cada taxón y por sitio, lo que obedece a que los hábitos de crecimiento de los árboles pueden variar entre taxa y de un lugar a otro.

Las tablas o ecuaciones de volumen que se han utilizado en la región oriente de Michoacán fueron hechas por la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) en 1957, y estuvieron vigentes hasta 1990; en este año la misma dependencia diseñó tablas nuevas para tres grupos de especies de pino. En 1985 la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal (UCODEFO) No. 10 "Suroccidental" generó otras para *Pinus* spp. y *Quercus* spp., que se aplicaron además de las tablas generales durante el segundo "Inventario de los Recursos Forestales del Estado de Michoacán" (SDAF, 1995).

Una ecuación de predicción del volumen es referida como una tabla de volumen que se define como una función tabular o gráfica usada para estimar dicha característica a partir de variables dasométricas como diámetro normal, altura y forma (Clutter *et al.*, 1983).

Un modelo matemático es una representación simplificada o parcial de un sistema real que se desea describir, mediante la integración de la información empírica y de los procesos lógicos de ese sistema; una tabla o ecuación volumétrica es un modelo matemático que describe el volumen de los árboles, a partir de una o más variables (France y Thornley, 1984; Mendoza, 1983; Dykstra, 1984;

Edwards y Hamson, 1992). De acuerdo a Hush, Miller y Beers (1972) como una expresión tabulada que muestra el volumen de los árboles de acuerdo a una o más dimensiones que son generalmente el diámetro normal, la altura total y la forma de los mismos. Su propósito es proporcionar la cantidad media en volumen de árboles en pie de diversas dimensiones y especies (Avery y Burkhart, 1983).

Las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas del volumen del arbolado en pie, desde hace tiempo llevaron al desarrollo de métodos tendientes a calcular por medio de modificaciones simples y directas (a 1.30 m.) los volúmenes que en conjunto sustentan los árboles de una determinada masa o rodal. Su origen se remonta a más de 150 años y quien ha recibido el crédito por la elaboración del primer modelo de estimación volumétrica fue Heinrich Cotta, que lo publicó en 1804 (Spurr, 1952). Las técnicas al respecto se han ampliado y difundido por investigadores en Europa, Norteamérica, y en Canadá, entre otros (Romahn *et al.*, 1994).

Para la generación de una buena tabla de volumen, el tamaño de muestra aumenta con la amplitud de variación del diámetro y de la altura de los árboles (Chapman, 1924; Belyea, 1931; Chapman y Meyer, 1949); por lo tanto, la muestra debe ser representativa de la población e incluir ejemplares de todas las categorías diamétricas.

Los diseños de muestreo clásicos usados en los inventarios forestales de acuerdo con Spurr (1952), Hush *et al.* (1971) y Avery (1972), son simples al azar y estratificado al azar, este último es el más común debido a que proporciona mejores resultados en la distribución de la muestra. En México, el muestreo sistemático ha sido el que se ha usado con mayor frecuencia; el muestreo estratificado ha sido muy exitoso al combinarlo con el sistemático y el aleatorio, pero el que más se aplica es el sistemático-estratificado (Sánchez, 1951; Juárez, 1964; Caballero, 1971; Carrillo, 1991; Rodríguez, 1998).

El número de observaciones dependerá de la exactitud deseada y de la variabilidad inherente de la población muestreada. Puesto que la precisión muestral se expresa a menudo en términos de intervalos de confianza sobre la media, no resulta fuera de razón considerar que en el intervalo de confianza calculado $\bar{X} \pm tS_x$, interesa que el producto tS_x fuese igual o menor que un valor específico E (error), dependiendo de la probabilidad utilizada al muestrear (Gómez *et al.*, 1992; Romahn *et al.*, 1994). Esto es: $(t)(S)_x = E$.

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad t \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) = E \quad n = \frac{t^2 S^2}{E^2} \quad \text{Tamaño de muestra}$$

Los métodos de "ajuste" del volumen han evolucionado de la obtención del "volumen promedio" para cada combinación de las variables, "ajustes gráficos"; actualmente el más conocido es el ajuste analítico mediante regresión; se realiza por regresión, por mínimos cuadrados ordinarios y mínimos cuadrados no lineales; los primeros para modelos lineales y los segundos para exponenciales, pero estos últimos pueden ser transformados por logaritmos y así resolverlos con técnicas de regresión lineal, pues la función exponencial es la inversa de la función logarítmica natural (Alder, 1980; Draper *et al.*, 1980; Lares, 1994; Mendoza, 1983; Ramírez, 1983).

Motivada por la importancia y necesidad de manejar adecuadamente los recursos naturales, la Comisión Forestal del Estado de Michoacán evaluó de forma cualitativa y cuantitativa los recursos forestales maderables mediante un inventario forestal (1995). Las tablas y/o tarifas de volúmenes se hicieron por género botánico y por región; sin embargo, lo dispuesto en el artículo 21 fracción VII del reglamento de la Ley Forestal de 1998 especifica que "Los resultados de los estudios dasométricos deberán proporcionarse a nivel de especie" (SEMARNAT, 1998). Por tal razón, existe la necesidad de las dependencias operativas y de los prestadores de servicios técnicos forestales de contar con tablas de volumen para cada taxón.

Con base en lo anterior, se realizó el presente estudio con los siguientes objetivos:

1. Obtener las ecuaciones para predecir volúmenes totales de árboles en pie con corteza de *Pinus pringlei* Shaw. y *P. lawsonii* Roetzl., que se ajusten estadísticamente a las diferentes calidades de estación de la región.
2. Probar la bondad de ajuste de los cuatro modelos (Schumacher, variable combinada, Korsun y Thonber) biológicamente factibles para la elaboración de estas herramientas dasonómicas.
3. Analizar la homogeneidad de modelos, a fin de aplicar un modelo general para las dos especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el área de influencia de la UCODEFO No. 2, actualmente administrada por la Asociación de Permisarios Forestales del Oriente de Michoacán, A. C. (APFOMAC).

La unidad está localizada en la parte oriental del estado de Michoacán entre las coordenadas: 100° 17' 37" a 100° 48' 56" de longitud oeste y 19° 00' 38" a 19° 59' 00" de latitud norte del meridiano de Greenwich.

La superficie total de la unidad es de 295 mil ha aproximadamente, de las cuales 103 mil ha son arboladas y comprende seis municipios: Zinapécuaro, Hidalgo, Irimbo, Tuxpan, Jungapeo y Tuzantla.

En la región coinciden dos provincias geológicas: el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur; dentro de estas provincias destacan como elevaciones principales: el Cerro de San Andrés con 3,600 msnm, Cerro el Zacatonal con 2,900 msnm, Cerro Mozo con 2,500 msnm, Cerro del Macho con 2,800 msnm, Cerro del Ventero con 2,800 msnm, Puerto "El Hueso" con 2,800 msnm y Cerro el Guangoche con 2,700 msnm.

De acuerdo con el INEGI (1985), en esta región se presentan los siguientes tipos de clima:

1. Cálido subhúmedo con lluvias en verano. Porcentaje de lluvia invernal menor de 5. El menos húmedo $Aw_0(w)$.
2. Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano. Porcentaje de lluvia invernal menor de 5 $C(E)(m)(w)$.
3. Semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Porcentaje de lluvia invernal menor de 5. Intermedio en humedad $(A)C(w_1)(w)$.
4. Templado subhúmedo con lluvias en verano. Porcentaje de lluvia invernal menor de 5. El más húmedo $C(w_2)(w)$.

De acuerdo con la clasificación de la FAO, los suelos en la zona de estudio son, principalmente, andosoles, luvisoles, acrisoles y vertisoles en los municipios de Hidalgo, Zinapécuaro, Irimbo y parte de Tuxpan; mientras que en Tuzantla, Jungapeo y parte de Tuxpan se localizan los litosoles, regosoles y cambisoles.

Información de campo

El trabajo de campo se realizó en los municipios de Jungapeo, Tuxpan, Zinapécuaro y Tuzantla, sobre una superficie arbolada de 10,330 ha aproximadamente, conformada por bosques de pino, pino-encino y encino-pino. El recorrido de reconocimiento permitió estratificar o calificar los rodales de las dos especies estudiadas de manera cualitativa en calidad de estación: buena para arbolado con altura mayor a 22 m; regular o media para árboles con alturas superiores a 15 m pero menores a 22 m, y mala para individuos con altura menor a 15 m.

Se recabó información de ejemplares en pie por medio de un tele-relascopio y de organismos derribados (medición directa), referente a la altura total y al diámetro normal. En el caso de los primeros se obtuvieron pares de observaciones diámetro-altura, a diferentes alturas del fuste, con las que se simulaban trozas; en los derribados, se midió diámetro mayor y menor en cada una de las trozas;

además se seccionaron las ramas hasta un diámetro de 5 cm en longitudes de 1.20 m. La toma de datos se hizo en un mínimo de 10 árboles en la categoría diamétrica de más frecuencia para estimar el tamaño de muestra (Lares, 1994), por lo que para este trabajo se midieron un total de 449 árboles de pino (220 de *Pinus lawsonii* y 229 de *P. pringlei*), 35% de los cuales fue por medición directa (Cuadro 1).

El muestreo estratificado es una técnica mediante la cual se divide a la población de interés en subpoblaciones o subgrupos independientes de tamaño conocido (estratos), que deben de ser homogéneos dentro de ellos y heterogéneos entre sí. Este permite tener mayor conocimiento de los estratos, porque maneja cada uno como una población; además incrementa la precisión de los estimadores de sus características (Rodríguez, 1998). En el presente estudio, se optó por la fórmula del tamaño de muestra descrita con un error de 10% de la media del volumen por categoría diamétrica.

Procesamiento y análisis de información de campo

Para la obtención de volúmenes por árbol, se utilizó la fórmula de Smalian para el cálculo de las trozas imaginadas con el tele-relascopio:

$$V = \left[\frac{A_1 + A_2}{2} \right] L$$

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos

A_1 = Área de la sección del diámetro mayor en metros

A_2 = Área de la sección del diámetro menor en metros

L = Longitud de la troza en metros

Y la fórmula del paraboloides para la punta:

$$V = \frac{S_0 x h}{2}$$

Cuadro 1. Distribución y tamaño de muestra estimado por especie y categoría diamétrica.

Especie	Cat.	Categoría Diamétrica (cm)															
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70				
<i>P. lawsonii</i>	I	9	9	11	4	2		1									
	II		2	6	17	13	13	5	10		4	1	4				
	III				2	7	8	18	21	28	12	7	6				
Total		9	11	17	23	22	21	24	31	28	16	8	10				
μ		0.099	0.186	0.303	0.520	0.787	1.065	1.509	1.817	2.421	2.639	3.204	3.367				
S		0.018	0.028	0.052	0.093	0.172	0.202	0.256	0.295	0.285	0.380	0.363	0.483				
N		16	10	13	14	20	16	12	11	6	9	7	10				
<i>P. pringlei</i>	Alt.	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70				
	I	4	15	11	8	3	3	1									
	II		8	15	37	28	23	6	6	2	3	6					
III				7	4	11	5	2	8	7	4	1					
Total		4	23	26	50	35	37	12	8	10	10	10	1				
μ		0.102	0.219	0.381	0.609	0.853	1.138	1.494	1.749	2.531	2.945	3.656	4.734				
S		0.009	0.035	0.056	0.088	0.113	0.187	0.305	0.128	0.335	0.402	0.471	0.0				
N		6	11	9	8	7	11	19	5	9	9	9					

Cat. = Categoría, Alt. = Altura, μ = Media de la población (parámetro), S = Desviación estándar típica (estimador), N = Número de observaciones.

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos

S_0 = Área de la sección de la base en metros

H = Altura en metros.

Esta etapa se realizó haciendo uso de la hoja de cálculo de Excel para cada árbol. Con el volumen, la altura total y el diámetro normal de cada árbol, se hicieron tripletas para formar una matriz de regresión $A_{n \times 3}$ o sea n observaciones con tres variables cada una.

El análisis de la información se hizo por medio del paquete de cómputo SAS (Statistical Analysis System, 1999) con el procedimiento para regresión PROC GLM para modelos exponenciales linearizados; el ajuste fue por la técnica de regresión, por mínimos cuadrados ordinarios para modelos lineales. Para seleccionar los modelos se consideraron los siguientes criterios: a) R^2 alto (cercano a 1); b) $s^2 = \sigma^2$ cuadrado medio del error bajo; c) Coeficientes de regresión significativos (diferentes de cero); d) Dispersión de los residuales sin ninguna tendencia no aleatoria (que fluctúen alrededor de cero) y e) Consideraciones particulares (interpretación biológica). Los modelos transformados por logaritmos y probados fueron:

Modelo de Schumacher

$$V = \beta_1(D^2 A)^{\beta_2} * E$$

Modelo de la variable combinada

$$V = \beta_1 D^{\beta_2} A^{\beta_3} + E$$

Modelo de Korsun

$$V = \beta_1(D + 1)^{\beta_2} A^{\beta_3} + E$$

Modelo Thornber

$$V = \beta_1(A / D)^{\beta_2} D^2 A$$

Donde:

V = Volumen

D = Diámetro normal

A = Altura total

$\beta_1 \beta_2 \beta_3$ = Parámetros de regresión a ser ajustados

E = Error

Los volúmenes determinados de las dos especies se compararon con sus correspondientes valores esperados, por dispersión de residuales, técnica

utilizada en las pruebas de normalidad de errores, de heterocedasticidad, de autocorrelación y de multicolinealidad para garantizar el cumplimiento de los supuestos de regresión y que las predicciones que se realicen sean lo más acertadas posibles.

Es conveniente mencionar, que para la estimación del volumen total/árbol se derribaron 70 y 76 árboles de *P. lawsonii* y *P. pringlei*, respectivamente, a los que se les calculó el volumen del brazuelo (ramas), el cual fue ajustado en función del diámetro normal y la altura total del árbol, se cumplió con los supuestos de la regresión, aunque no fueron tan buenos como en el caso del volumen fustal, los valores de R^2 fluctuaron entre 0.70 y 0.85, debido a que el tamaño de la copa está en función de la densidad, pero que son aceptables en recursos naturales (Draper and Smith, 1980; Clutter *et al.*, 1983). Una vez seleccionado el modelo, se predijo el volumen para cada árbol en términos de su altura y diámetro normal, lo que se sumó al volumen fustal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaño de muestra

De acuerdo a los cálculos de estimación del tamaño de muestra, en el Cuadro 1 se observa que en todas las categorías diamétricas el número de árboles medidos fue adecuado, con excepción de la categoría de 15 cm que resultó deficiente, en virtud de que las masas donde se tomó la información son adultas y los pocos árboles que se encontraron eran suprimidos.

Análisis estadístico

La dispersión de los residuales muestra que no existe violación a las hipótesis del modelo de regresión lineal, es decir, los residuales no se correlacionan, están normalmente distribuidos y presentan una varianza uniforme (Figura 4), comportamiento que fue similar en las dos especies, ya que los errores son independientes, tienen una media de cero, y la misma varianza.

Selección del modelo

Los resultados del análisis de regresión de los cuatro modelos probados por especie se presentan en el Cuadro 2, donde se observa que el mejor corresponde al de la variable combinada, con una suma de cuadrados del error bajo, R^2 cercana a 1 (uno) y con el valor de F mayor, que es lo suficientemente robusto desde el punto de vista estadístico, coincidiendo así con SDAF (1995), Navarro *et al.* (2000), Quiñónes *et al.* (2001), Armendáriz *et al.* (2003) y Armendáriz *et al.*

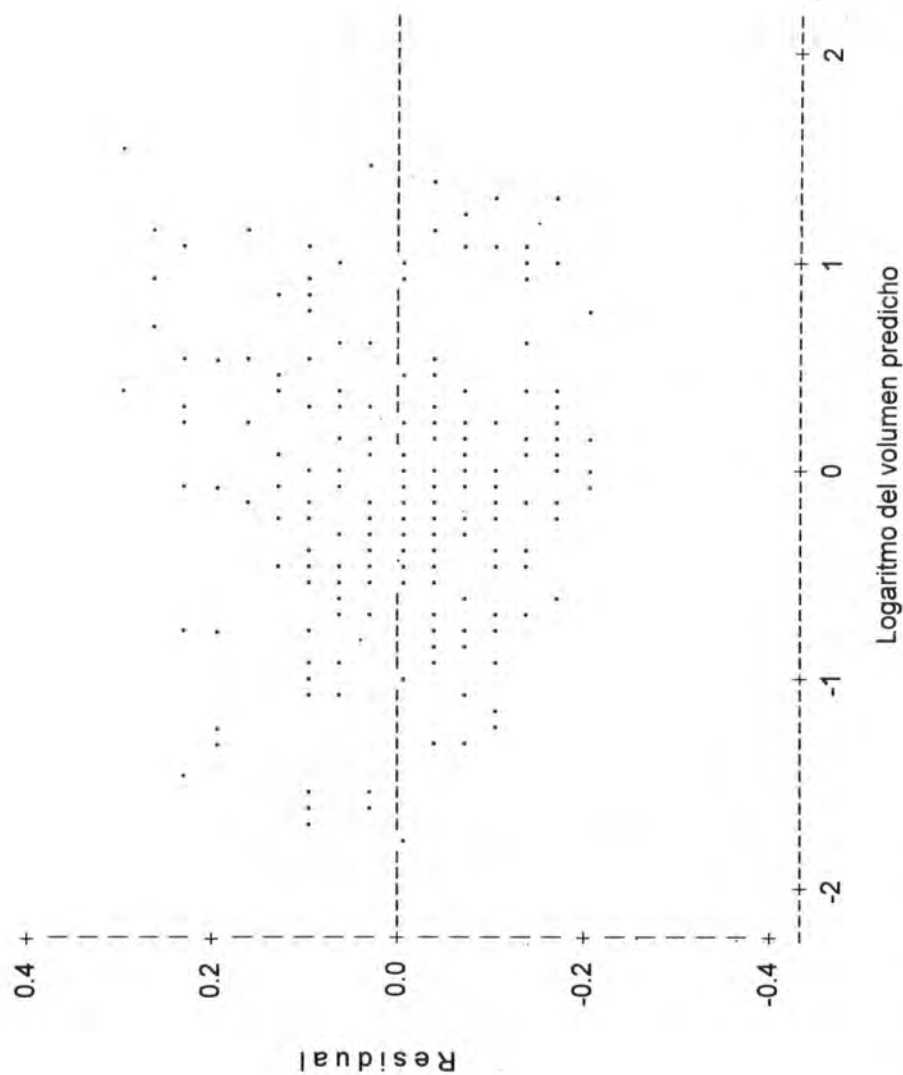


Figura 4. Diagrama de dispersión de residuales contra su valor predicho en volumen del fuste de *Pinus pringlei*.

(2004). Estos valores indican la proporción de ajuste, es decir, la proporción de la fluctuación total del volumen, atribuible a la variación de las variables independientes, o a la combinación de la altura y el diámetro normal al cuadrado.

Las ecuaciones resultantes en volumen total (incluye sólo volumen de ramas) para *Pinus lawsonii* y *P. pringlei*, de acuerdo al modelo de la variable combinada para volumen total, quedaron de la siguiente manera.

P. lawsonii:

$$\log V = \log -1.050972 + \log 0.956563 (D^2 A)$$

$$V = 1.050972 (D^2 A)^{0.956563}$$

P. pringlei:

$$\log V = \log -0.724476 + \log 0.845476 (D^2 A)$$

$$V = 0.724476 (D^2 A)^{0.845476}$$

Las tablas para volumen de ramas, fustal y total se presentan en los cuadros 3 y 4, en los que se muestran los parámetros de regresión para cada producto.

Bajo los supuestos de que los rodales en el bosque no son monoespecíficos, que las condiciones de crecimiento son diferentes para cada especie, que existe variación de un lugar a otro y, si se asume que los supuestos básicos para la formulación de un modelo estadístico se cumplen en conjunto con los fundamentos biológicos, sería posible esperar que en la formulación de una relación específica, los valores de los parámetros estimados para especies distintas fueran parecidos; esto implicaría que no existiera diferencia significativa entre ellas, de tal forma que dicha relación pudiese ser aplicable a varios taxa o a una especie que crece en condiciones disímiles.

Homogeneidad de los modelos

Las técnicas estadísticas para determinar la similitud existente entre los valores de los parámetros estimados para un modelo que se ajusta a diversos conjuntos de datos (especies), son conocidas como homogeneidad de modelos; su importancia radica en que permite utilizar un modelo general para todas las especies presentes en el rodal y reducir a un mínimo el manejo de la información; por lo anterior, en este trabajo se compararon las ecuaciones obtenidas mediante las siguientes pruebas:

Cuadro 2. Resumen de los análisis de regresión lineal de los datos: diámetro, altura y volumen total para *Pinus lawsonii* y *P. pringlei* de los modelos probados.

<i>Pinus lawsonii</i>					
Modelo	G. L.	SCE	E. EST.	R ²	F cal.
Schumacher	219	1.63544	0.112320 0.026492 0.030073	0.9928	15011.34
Var. Combinada	219	1.81305	0.009416 0.005802	0.9920	27185.07
Korsun	219	4.66106	0.107977 0.157790 0.047959	0.9995	5196.64
Thornber	219	1.64254	0.032802 0.000543 0.005893	0.9928	14945.99
<i>Pinus pringlei</i>					
Schumacher	228	3.13353	0.166474 0.034629 0.047406	0.9706	3733.902
Var. Combinada	228	3.16521	0.010495 0.009813	0.9703	7423.491
Korsun	228	4.05896	0.127854 0.147192 0.052502	0.9620	2856.818
Thornber	228	3.15262	0.048100 0.000759 0.011520	0.9704	3710.609

Cuadro 3: Tablas de volumen para *Pinus lawsonii* en la región oriente del estado de Michoacán.

V o l u m e n d e r a m a s (m ³)						
Diámetro (cm)	Categorías de altura (m)					
	10	15	20	25	30	35
10	0.004	0.006	0.008			
15	0.009	0.013	0.018	0.022		
20	0.016	0.024	0.032	0.040	0.048	
25	0.025	0.037	0.050	0.062	0.075	0.087
30	0.036	0.054	0.072	0.090	0.108	0.126
35	0.049	0.073	0.098	0.123	0.147	0.172
40		0.096	0.128	0.160	0.193	0.225
45		0.122	0.162	0.203	0.244	0.285
50			0.201	0.251	0.302	0.352
55			0.243	0.304	0.365	0.427
60			0.290	0.362	0.435	0.508
65	$\beta_0 = -3.222993$			0.426	0.511	0.597
70	$\beta_1 = 1.004968$			0.494	0.593	0.693
75				0.568	0.682	0.796
80					0.776	0.906

β_0 = Intercepto de la línea. β_1 = Pendiente de la línea.

continúa ...

Cuadro 3, continuación ...

Volumen fustal (m ³)						
Diámetro (cm)	Categorías de altura (m)					
	10	15	20	25	30	35
10	0.035	0.051	0.067			
15	0.075	0.110	0.145	0.179		
20	0.130	0.191	0.250	0.310	0.368	
25	0.198	0.291	0.383	0.473	0.562	0.651
30	0.280	0.412	0.541	0.669	0.795	0.921
35	0.375	0.552	0.725	0.896	1.066	1.234
40		0.711	0.935	1.155	1.374	1.590
45		0.889	1.169	1.445	1.718	1.989
50			1.428	1.765	2.099	2.430
55			1.711	2.116	2.516	2.912
60			2.019	2.496	2.968	3.436
65	$\beta_0 = -1.172517$			2.906	3.455	4.000
70	$\beta_1 = 0.949886$			3.345	3.977	4.605
75				3.813	4.534	5.249
80					5.126	5.934

β_0 = Intercepción de la línea. β_1 = Pendiente de la línea.

continúa ...

Cuadro 3, continuación ...

Volumen total (m ³)						
Diámetro (cm)	Categorías de altura (m)					
	10	15	20	25	30	35
10	0.039	0.057	0.075			
15	0.084	0.124	0.163	0.202		
20	0.146	0.214	0.282	0.350	0.416	
25	0.223	0.329	0.433	0.536	0.638	0.739
30	0.316	0.466	0.613	0.759	0.904	1.048
35	0.425	0.626	0.824	1.020	1.214	1.407
40		0.808	1.064	1.317	1.568	1.817
45		1.012	1.332	1.649	1.964	2.276
50			1.630	2.018	2.402	2.784
55			1.956	2.421	2.883	3.341
60			2.310	2.860	3.405	3.946
65	$\beta_0 = -1.050972$			3.333	3.968	4.599
70	$\beta_1 = 0.956563$			3.841	4.573	5.299
75				4.383	5.218	6.047
80					5.904	6.842

β_0 = Intercepto de la línea. β_1 = Pendiente de la línea.

Cuadro 4. Tablas de volumen para *Pinus pringlei* en la región oriente del estado de Michoacán.

V o l u m e n d e r a m a s (m ³)						
Diámetro (cm)	Categorías de altura (m)					
	10	15	20	25	30	35
10	0.036	0.054	0.072			
15	0.081	0.121	0.162	0.202		
20	0.144	0.215	0.286	0.357	0.428	
25	0.224	0.335	0.445	0.556	0.666	0.776
30	0.321	0.481	0.640	0.798	0.956	1.114
35	0.437	0.653	0.868	1.084	1.299	1.513
40		0.851	1.132	1.413	1.693	1.972
45		1.075	1.430	1.784	2.138	2.492
50			1.763	2.200	2.636	3.071
55			2.130	2.658	3.185	3.711
60			2.531	3.159	3.785	4.411
65	$\beta_0 = -1.030349$			3.702	4.437	5.170
70	$\beta_1 = 0.992366$			4.289	5.140	5.989
75					5.894	6.868
80					6.699	7.807

β_0 = Intercepto de la línea. β_1 = Pendiente de la línea.

continúa ...

Cuadro 4, continuación ...

Volumen fustal (m ³)						
Diámetro (cm)	Categorías de altura (m)					
	10	15	20	25	30	35
10	0.043	0.063	0.082			
15	0.092	0.135	0.178	0.220		
20	0.159	0.234	0.307	0.380	0.451	
25	0.243	0.357	0.469	0.580	0.689	0.798
30	0.343	0.505	0.663	0.819	0.974	1.128
35	0.460	0.676	0.888	1.098	1.305	1.511
40		0.871	1.145	1.414	1.682	1.947
45		1.089	1.431	1.769	2.103	2.434
50			1.748	2.160	2.568	2.973
55			2.095	2.589	3.078	3.563
60			2.471	3.054	3.630	4.202
65	$\beta_0 = -0.968805$			3.555	4.226	4.892
70	$\beta_1 = 0.948972$			4.091	4.864	5.630
75					5.545	6.418
80					6.267	7.254

β_0 = Intercepto de la línea. β_1 = Pendiente de la línea.

continúa ...

Cuadro 4, continuación ...

Volumen total (m ³)						
Diámetro (cm)	Categorías de altura (m)					
	10	15	20	25	30	35
10	0.069	0.097	0.124			
15	0.137	0.193	0.247	0.298		
20	0.223	0.315	0.401	0.485	0.565	
25	0.326	0.459	0.585	0.707	0.824	0.939
30	0.443	0.625	0.797	0.962	1.122	1.278
35	0.575	0.811	1.034	1.248	1.456	1.659
40		1.016	1.296	1.565	1.825	2.079
45		1.240	1.581	1.909	2.228	2.538
50			1.889	2.282	2.662	3.033
55			2.220	2.681	3.128	3.563
60			2.572	3.106	3.623	4.128
65	$\beta_0 = -0.724476$			3.556	4.148	4.726
70	$\beta_1 = 0.845476$			4.030	4.702	5.357
75					5.284	6.020
80					5.893	6.714

β_0 = Intercepto de la línea. β_1 = Pendiente de la línea

Prueba de F Snedecor (Zamudio, 1990).

$$F_c = \frac{SCE - (SCE_1 + SCE_2)}{r \left[\frac{SCE_1 + SCE_2}{N_1 + N_2 - 2(r)} \right]} = \frac{12.81669 - (3.16521 + 1.81305)}{2 \left[\frac{3.16521 + 1.81305}{229 + 220 - 2(2)} \right]} = \frac{7.84174}{0.0224} = 350.0777$$

$$F_c = 350.0777$$

Regla de decisión:

$$|F_c| < F_{\alpha, r, N_1 + N_2 + N_3 - 2r} \text{ para un solo modelo.}$$

$$|F_c| > F_{\alpha, r, N_1 + N_2 + N_3 - 2r} \text{ usar más de un modelo.}$$

Como $F_c = 111.575 > F_{0.05, 2, 449} = 3.00$ se concluye que debe usarse más de un modelo. Esta prueba puede efectuarse de manera apareada; para confirmar el resultado se realizó la prueba de T con dicha modalidad.

Prueba de T:

P. lawsonii vs. *P. pringlei*

$$T_c = \frac{\beta_1 - \beta_2}{\sqrt{Z \left(\frac{1}{SCT_1} + \frac{1}{SCT_2} \right)}} = \frac{0.956563 - 0.845476}{\sqrt{0.011187 \left(\frac{1}{227.90425} + \frac{1}{106.67596} \right)}} = \frac{0.111087}{0.0124} = 8.959$$

$$Z = \frac{SCE_1 + SCE_2}{(N_1 + N_2) - 4} = \frac{1.81305 + 3.16521}{(220 + 229) - 4} = \frac{4.97826}{445} = 0.011187$$

Donde:

$$\beta_1 = \text{Regresor } P. \text{ lawsonii}$$

$$\beta_2 = \text{Regresor } P. \text{ pringlei}$$

$$SCT_1 = \text{Suma Cuadrados Total } P. \text{ lawsonii}$$

$$SCT_2 = \text{Suma Cuadrados Total } P. \text{ pringlei}$$

- SCE = Suma Cuadrados Error (Corriendo el modelo para las dos especies)
- SCE_1 = Suma Cuadrados Error *P. lawsonii*
- SCE_2 = Suma Cuadrados Error *P. pringlei*
- N_1 = Número de observaciones *P. lawsonii*
- N_2 = Número de observaciones *P. pringlei*
- T_c = Valor de T calculada
- T_{tab} = Valor de T tabulada (Student)
- F_c = Valor de F calculada
- F_x = Valor de F tabulada (Snedecor).
- r = Número de modelos comparados

Si $T_{0.05, \alpha} = 1.96$ y las T calculadas de *P. lawsonii* vs. *P. pringlei* = 8.959, es mayor que la tabulada se concluye que las dos ecuaciones son estadísticamente diferentes, por lo que se debe determinar una para cada especie.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron las ecuaciones para predecir volumen de ramas, fustal y total con las que se elaboraron las tablas de volumen para *P. lawsonii* y *P. pringlei*. El modelo que mejor ajuste presentó fue el de la variable combinada para ambas especies.

Las ecuaciones de *P. lawsonii* y *P. pringlei* son diferentes estadísticamente.

El tamaño de muestra con $t_{tab 0.05}$ es directamente proporcional al tamaño de N_x y a la variabilidad (S_x) de cada categoría diamétrica.

Para el uso de las tablas de volumen total, se deben considerar las variables diámetro a 1.30 m y altura total como entrada para los árboles con un diámetro mínimo de 5 cm en adelante.

Estas tablas permitirán obtener estimaciones reales del potencial de los bosques de la región oriente del estado de Michoacán ya que tanto una subestimación, como una sobreestimación es perjudicial, porque se deja de aprovechar el potencial de los bosques, lo cual se traduce en pérdidas económicas para los dueños o poseedores de los recursos forestales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión Forestal del Estado de Michoacán, así como a la Fundación Produce Michoacán, A. C. por el apoyo económico brindado para financiar este trabajo, así mismo al personal de la Asociación de Permisarios Forestales del Oriente de Michoacán, A. C., por su colaboración durante la toma de datos de campo y a los directivos de la misma por su apoyo para la realización del presente estudio.

REFERENCIAS

- Alder, D. E. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2 Estudio FAO, Montes 22/2. Roma. 118 p.
- Armendáriz O., R., A. Quiñónez Ch., M. Cano R., P. Juárez T., H. Rubio A. y J. Rentería A. 2003. Tablas de volúmenes para *Pinus arizonica* y *P. durangensis* en el ejido Madera, municipio de Madera, Chihuahua. SAGARPA-INIFAP, Gobierno de Chihuahua, Fundación Produce Chihuahua, A. C., CONAFOR. Folleto Técnico No. 23. 19 p.
- Armendáriz O., R., A. Quiñónez Ch., M. Cano R., S. Martínez M., P. Juárez T. y H. Rubio A. 2004. Tablas de volúmenes para *Pinus arizonica* Engelm. en el ejido Pilares, municipio de Balleza, Chihuahua. SAGARPA-INIFAP, Gobierno de Chihuahua, Fundación Produce Chihuahua, A. C., CONAFOR. Folleto Técnico No. 26. 23 p.
- Avery, T. E. and H. E. Burkhart. 1983. Forest measurements. McGraw-Hill Book Co. New York. 330 p.
- Belyea, M. C. 1931. Forest measurement. John Wiley and Sons, Inc. New York, 319 p.
- Caballero D., M. 1971. Elaboración de una tabla de volúmenes por medio del empleo de una variable combinada. Rev. Bosques. México. VIII (1): 14-27.
- Carrillo E., G. 1991. Apuntes del curso de Inventarios Forestales División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 207 p.
- Clutter, J. J., L. Pienaar, G. Brister and R. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley and Sons, Inc. New York. 383 p.
- Chapman, H. H. 1924. Forest mensuration. John Wiley and Sons, Inc. New York. 557 p.
- Chapman, H. H. and W. Meyer H. 1949. Forest mensuration. McGraw-Hill Book Co. New York. 389 p.
- Dykstra, C. L. and E. S. Ivey. 1984. Mathematical programming for natural resource management. Mc Graw-Hill Book Co. New York. 318 p.
- Draper, M. R. and H. Smith. 1980. Applied regression analysis. John Wiley and Sons, Inc. New York. 709 p.

- Edwards, D. and M. Hansom. 1992. Guide to mathematical modelling. CRC Press. Boca Raton, Fl. 277 p.
- France, J. and H. M. Thornley J. 1984. Mathematical models in agriculture. Butterworth Ltd. London. 335 p.
- Gómez A.; R., G. Rendón S. y V. González R. 1992. Muestreo elemental. Colegio de Postgraduados. Centro de Estadística y Cálculo. Sección Muestreo. Montecillo, Méx. 313 p.
- Husch, B. Ch., I. Miller and T. Beers W. 1972. Forest mensuration. The Ronald Press Co. New York. 410 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1985. Síntesis geográfica del estado de Michoacán. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F. 338 p.
- Lares Z., M. A. 1994. Estimación del tamaño de muestra en regresión de los modelos de Schumacher y el logarítmico de la variable combinada. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 36 p.
- Martínez M., J. 1937. Tablas de volúmenes para pino colorado, pino blanco, pino ayacahuite. Instituto de Enseñanza e Investigación Forestal y de Caza y Pesca. México. 70 p.
- Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático. *In*: Memoria de la Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. SARH-INIF. México. Pub. Esp. No. 44. pp. 35-45.
- Navarro M., S., L. Torres E., M. Cano R., M. Valencia y H. Cornejo O. 2000: Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus cembroides* Zucc. en el sureste de Coahuila. Foresta -AN. Nota técnica No. 3. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. México. 16 p.
- Ramírez M., H. 1994. Construcción de modelos de crecimiento y su aplicación en el diseño de regímenes silvícolas. *In*: Memoria Simposio de Manejo y Silvicultura. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. pp. 25-31.
- Romhan D. L. V., C. F., H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. 1987. Dendrometría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. pp. 133-235.
- Rodríguez F., C. 1998. Aplicación de diseños de muestreo en inventarios forestales. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. INIFAP. 156 p.
- Quiñónez Ch., A., P. Alvarado M. y R. Trujillo R. 2001. Elaboración de una tabla de volúmenes para *Pinus cooperi* blanco mediante análisis troncales en Durango. *In*: Memoria V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Universidad de Guadalajara y Sociedad Mexicana de Recursos Forestales, A. C. pp. 65-66.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal (SDAF). 1995. Inventario Forestal Estatal. Tablas de volúmenes para los diferentes géneros y

- regiones. Gobierno del estado de Michoacán. Dirección Forestal. Morelia, Mich. México.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1998. Ley Forestal y su Reglamento. Delegación Federal en Michoacán. 7 p.
- Spurr, S. H. 1952. Forest inventory. The Ronald Press Co. New York. 476 p.
- Zamudio S., F. 1990. The Generalized Furnival Index. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 13 p.