

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 29 NÚM. 95 100 p. MÉXICO, D. F. ENE-JUN 2004

inifap

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

CONTENIDO

Pág.

EDITORIAL

3

ANÁLISIS DE LA POLÍTICA FORESTAL EN MÉXICO

7

Miguel Caballero Deloya

COMPORTAMIENTO DE DOS MÉTODOS EN LA PREDICCIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ÍNDICE DE SITIO

23

Salvador Madrigal Huendo, Julián Moreno Chan
e Ignacio Vázquez CollazoECUACIONES DE ADITIVIDAD PARA ESTIMAR COMPONENTES DE VOLUMEN DE HULE (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg., EN VERACRUZ, MÉXICO

43

Carlos Monroy Rivera y José de Jesús Návar Cháidez

MODELADO BIOCLIMÁTICO COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO FORESTAL: ESTUDIO DE CUATRO ESPECIES DE *Pinus*

61

Oswaldo Téllez Valdés, Yolanda M. Chávez Huerta,
Alberto Gómez-Tagle Chávez y Marcela V. Gutiérrez GarduñoPRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LICORES DE SOTOL (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) EN DURANGO, MÉXICO

83

Eduardo C. Olhagaray Rivera, Gerardo Esparza Chávez
y Federico Vega Sotelo

CONSEJO ARBITRAL

91

CONSEJO EDITORIAL

95

PROMOCIONAL DEL VII CONGRESO MEXICANO DE RECURSOS FORESTALES

97

ANÁLISIS DE LA POLÍTICA FORESTAL EN MÉXICO

Miguel Caballero Deloya¹

RESUMEN

A 78 años de haberse promulgado la primera Ley Forestal y establecido las bases en materia de política forestal en México, los resultados de su aplicación son poco alentadores. El comportamiento de diez variables trascendentales de la actividad forestal nacional revela la ineficiencia y ausencia de impacto de las políticas forestales de México en el último medio siglo. La presente aportación pretende determinar las causas por las cuales las políticas forestales que se han establecido en nuestro país no han podido alcanzar éxito. Para este propósito se analizan cinco escenarios: (a) Políticas que se decretan pero no llegan a aplicarse; (b) Políticas que se aplican pero en forma ineficiente, indebida, incorrecta o discrecional; (c) Políticas cuya ejecución resulta restringida, obstaculizada o aun cancelada por el efecto de otras políticas sectoriales; (d) Vigencia efímera de las políticas forestales; (e) Ausencia de mecanismos de retroalimentación y de evaluación de impactos. La discusión se ilustra con ejemplos y situaciones ocurridas a lo largo de la historia del país. Se destaca el hecho de que, aun cuando "Política Forestal" es un concepto de trascendencia en la vida y en el quehacer nacional, no ha recibido atención desde el punto de vista científico. Por ello se recomienda que sea incluido como tópico estratégico de la investigación forestal, así como diseñar y poner en práctica criterios e indicadores orientados a evaluar su impacto a través del tiempo.

Palabras clave: Administración pública, criterios e indicadores, legislación forestal, políticas públicas, políticas sectoriales, recursos forestales.

ABSTRACT

Seventy eight years after the implementation of the first Forest Law and the establishment of the first foundations of forest policy, results of application of the latter are not encouraging. The behavior of ten strategic forestry variables nationwide, reveal inefficiency or lack of impact of Mexican forestry policies along the last half century. The present work is intended to examine why forest policies

Fecha de recepción: 11 de febrero de 2005.

Fecha de aceptación: 22 de julio de 2005.

¹ Colegio de Postgraduados. Correo-e: mcaballero@colpos.mx

in Mexico have not been able to succeed. To this purpose five scenarios are examined: (a) Decreed policies that are never implemented; (b) Inefficient, incorrect or discretionary application of forest policies; (c) Restricted, limited or even cancelled application of forest policies by the application of other sector policies; (d) Brief duration of forest policies; (e) Lack of mechanisms for evaluation of policy impacts. The discussion is illustrated with examples and situations occurred along the forestry history of the nation. Even though Forest Policy is a relevant concept in the national context and dynamics, almost no attention from the scientific point of view has been given to it. For this reason, to set Forest Policy as a strategic topic in forestry research and to design and implement criteria and indicators to measure the impact of forest policies through time is highly recommended.

Key words: Public administration, criteria and indicators, forest legislation, public policies, sectorial policies, forest resources.

INTRODUCCIÓN

Es de reconocimiento general que toda administración pública define un conjunto de políticas nacionales, orientadas a alcanzar el bien colectivo conforme a las prioridades establecidas por el propio gobierno. La FAO (1987) brinda algunas definiciones de política, dos de ellas son:

"... Un curso de acción que adopta y persigue un gobierno, dirigente o partido político, etc. de acuerdo a los objetivos sociales y económicos que se desean alcanzar ...".

"... Arte de conducir un asunto para alcanzar un objetivo ...".

En términos generales, se considera que política es "el mecanismo por el que un gobierno utiliza sus medios institucionales y legales para llevar a cabo sus programas de actividades que conducen a alcanzar sus objetivos" (FAO, 1987).

En el marco general de las políticas nacionales se insertan las políticas forestales, es decir, aquellas que tienen que ver fundamentalmente con el manejo, la protección, la conservación y el uso juicioso de los recursos forestales. Worrell (1970) citado por la FAO (1987) señala que una política forestal "especifica ciertos principios relativos al uso de los recursos forestales de una sociedad, que se considera contribuirán a alcanzar algunos de los objetivos de esa sociedad".

Con referencia a México, han transcurrido ya 78 años de haberse dado a conocer por vez primera una política clara y definida en materia forestal, avalada en la legislación pionera del ramo, esto es la Ley Forestal de 1926. Sin embargo,

la experiencia relativa a la aplicación de las diferentes políticas forestales a lo largo de trece administraciones públicas que han transcurrido en el periodo señalado es poco alentadora. El Cuadro 1 tipifica la condición actual de la actividad forestal, visto desde la perspectiva de la condición actual de los ecosistemas, de las condiciones socioeconómicas del habitante del bosque, del desarrollo de la industria forestal, de la aportación de la actividad a la economía nacional, entre otros aspectos, todo lo cual patentiza los magros resultados de las políticas forestales en el México contemporáneo.

Veruette (2001) confirma lo anterior al señalar:

“... Se está presente en el tiempo actual, en un escenario producto de la historia, definido por una alta descapitalización biológica, rasgos evidentes de injusticia social, altos precios de productos forestales y rezagos de orden técnico, científico y tecnológico, donde es evidente una baja incidencia de la política pública forestal, que se ubica como nada o poco prioritaria en el contexto nacional, con una mínima excepción en los periodos analizados ...”.

El propósito de la siguiente aportación es analizar las causas del poco éxito de la política forestal mexicana.

Factores determinantes de la falta de éxito en las políticas

Un análisis de las causas por las que las políticas forestales han fracasado total o parcialmente, permite advertir varios escenarios. El primero ocurre en los casos en que, aunque se emite el decreto oficial, la política por diversas circunstancias no llega a aplicarse. Un segundo escenario consiste en que la política si se ejerce, pero de forma ineficiente o indebida, de modo que nunca llega a alcanzar el propósito original. El tercero refiere el caso en que la política forestal no logra sus metas al ser obstruida y aún nulificada por otras de tipo sectorial. El cuarto escenario corresponde a cuando la política se desempeña correctamente, pero el tiempo de su vigencia (las más de las veces por inestabilidad política) es muy breve, y en esas condiciones, no se da el tiempo mínimo requerido para que pueda “madurar” en sus efectos. Un último escenario sería si la política se aplica, y probablemente exista el tiempo suficiente para alcanzar algún efecto. Sin embargo, la ausencia de mecanismos de evaluación dificulta saber si ha habido impacto, y en el caso que éste resulte positivo, estar en condiciones de determinar su valor o alcance. A continuación se discuten brevemente los cuatro escenarios mencionados con ejemplos recogidos de la historia de nuestro país:

Primer escenario: se decretan las políticas, pero no se llegan a aplicar
 Carencia de estrategias y líneas de acción concretas.- Un principio elemental

Cuadro 1. Algunas variables que caracterizan la condición actual de la actividad forestal en México.

Variable	Condición actual
Deforestación	Continúa a una tasa calificada entre las más altas del mundo. Se estima alrededor de 500,000 ha/año*
Degradación del bosque	La superficie clasificada como bosque degradado creció de 17.8 a 22.2 millones de ha entre 1985 y 1994 (OCDE, 1998)
Pobreza rural	A principios de los años 90, se estimaba que más de 17 millones de mexicanos subsistían en la pobreza extrema y 6.4 millones residían en zonas rurales (gran parte en regiones forestales) (OCDE, 1998)
Desmontes con propósitos domésticos	El desmonte para usos no comerciales como son la autoconstrucción y el acopio de leña, se estima en 37 millones de m ³ al año (OCDE, 1998)
Monto de la producción maderable	La cifra más reciente disponible es 6.66 millones de m ³ de madera en rollo en el 2002 (CONAFOR, 2004). Esta cifra es comparable apenas al promedio anual de la administración del Presidente Luis Echeverría (media de 6.33 millones de m ³ R.)
Aportación de la actividad forestal a la economía nacional (Producto Interno Bruto)	Se mantiene apenas por encima de 1%
Desarrollo de la industria forestal nacional	Abatida, sin poderse recuperar aún de los efectos de la apertura comercial
Competitividad y Globalización	La mayor parte de los productos forestales mexicanos han demostrado no tener precios competitivos en el mercado internacional
Comercio Internacional	En el 2002 se tuvo una importación y exportación de productos forestales con valores de US\$ 2,034,272,000 y US\$ 186,851,000 millones respectivamente (FAO, 2004)
Investigación y Desarrollo Tecnológico	Los sistemas, procedimientos, tecnologías, equipos, herramientas y maquinaria empleadas en la actividad forestal continúan acusando rezago y obsolescencia (CONAFOR, 2003).

* No obstante la importancia de la deforestación, a la fecha no se ha llevado a cabo un estudio basado en el inventario cartográfico validado con mediciones de campo basado en mediciones periódicas. Toda la información que se reporte al respecto corresponde a diversas estimaciones de carácter subjetivo. La cifra que se reporta corresponde a la estimación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

para que una política pueda ejercerse exitosamente, es que, como fundamento al enunciado de política, se establezca su plataforma de aplicación, que consiste en definir las estrategias y las acciones o actividades necesarias para alcanzarlas.

La experiencia histórica de nuestro país ha demostrado que las políticas en muchas áreas cruciales del quehacer nacional, se manejaron como "enunciados generales que involucraban buenas intenciones" y a veces compromisos de la autoridad para lograr un conjunto de objetivos de interés colectivo. Lamentablemente, detrás de los enunciados no se establecieron planes de acción para instaurar la política, y mucho menos se definieron las tareas concretas por ejecutar (quién, cuándo, dónde, cómo, etc.). En gran parte, el problema se debió a que en su momento, los responsables de elaborar la política, no previeron las implicaciones prácticas, operativas, financieras, legislativas, de coordinación y de diversa índole. Al momento de tratar de llevar a cabo la política, quedó en evidencia que las capacidades institucionales estaban ampliamente rebasadas.

Hinojosa (1988), un analista de la política y la legislación forestal de México, afirmó "... En infinidad de discursos, ponencias, informes y dictámenes se ha expresado, durante más de medio siglo, el propósito de instituir una sana política forestal cuyos objetivos esenciales sean los siguientes: proteger, conservar y aprovechar racionalmente los bosques existentes.

Más adelante en su documento, el autor referido comenta sobre la política antes señalada:

"... Con respecto al primero, es un hecho notorio, por todo el mundo reconocido, que existe y ha existido una constante y generalizada destrucción de los recursos forestales, prueba de que no ha habido ni hay el racional aprovechamiento de los mismos ...".

Volviendo a lo anterior, es evidente que el aludido enunciado de política, muy frecuente en diferentes administraciones públicas del pasado, ha superado las capacidades del servicio forestal vigente, que quizá con propósitos y deseos genuinos, establecieron la política señalada como un objetivo estratégico.

Desconocimiento público.- Las políticas forestales han sido motivo de divulgación limitada. El mecanismo tradicional fue la Ley Forestal en turno, porque establecía la plataforma y las bases jurídicas para llevarlas a cabo. En forma secundaria, se recurría a los medios de difusión al alcance del servicio forestal (la antigua Subsecretaría Forestal), como eran notas de prensa, artículos periodísticos, así como los boletines y las revistas del propio servicio (un caso fue la publicación periódica Bosques y Fauna, a lo largo de varios sexenios). Se sumaban a éstos, discursos, conferencias y pláticas que exponía con frecuencia el titular del ramo, precisamente para dar a conocer tales políticas. Sin embargo

estos mecanismos divulgativos resultaron ser limitados para promover una auténtica respuesta ciudadana. La mayoría de la población rural, componente sustantivo y fundamental para la aplicación de estas políticas, casi siempre estuvo ausente, e ignoró las propuestas e intenciones del Gobierno Federal alrededor de los bosques.

A lo anterior debe agregarse que, cuando fue necesario contar con un conocimiento o habilidad particular, no se brindaron las oportunidades de capacitación, y cuando se consiguieron, dicho entrenamiento fue insuficiente o ineficiente. Así, por ejemplo la Ley Forestal de 1986, que introdujo nuevas ideas, como el Manejo Integral de los Recursos Forestales y la Ordenación Forestal de las Cuencas, y que su reglamento aportó definiciones de dichos conceptos; sin embargo, por tratarse de preceptos totalmente innovadores en el ámbito de los bosques en su momento, se hubiera esperado la descripción de métodos para ponerlos en práctica; pero no fue así, y aún suponiendo que se hayan definido, no fueron lo suficientemente divulgados, ni se brindó la capacitación requerida. Un comentario surgido de esta situación fue el siguiente: "... Los técnicos forestales no están en condiciones de realizar los complejos y minuciosos programas, estudios y dictámenes que les exige esta nueva legislación de desmesuradas y utópicas pretensiones tecnológicas; trabajos integrales, óptimos y perfectos que no se ejecutan ni en los países más adelantados ..." (Hinojosa, 1988).

Carencia de mecanismos o instrumentos para su aplicación.- No se elabora la reglamentación del caso o no se toman las providencias técnicas, financieras y operativas.

Casi todas las administraciones públicas en la historia contemporánea de nuestro país han compartido como una política forestal prioritaria y estratégica, la cruzada nacional de reforestación, que a más de medio siglo, es negativa en términos globales. Las enormes inversiones de capital que a través de los años se reportaron en esta tarea, sólo arrojan como producto final, pequeñas superficies de plantaciones esporádicamente distribuidas en diferentes partes del país. Las causas de este fracaso se pueden identificar al analizar la cadena dinámica de la reforestación, resumida en los seis eslabones indicados a continuación:

1. Concertación de las áreas por plantar
2. Recolección de semilla apropiada
3. Producción de planta y manejo de viveros
4. Transporte de la planta a los sitios de la reforestación
5. Plantación de los arbolillos
6. Protección y cuidado de las áreas reforestadas.

En la gran mayoría de los casos, los responsables de la reforestación han pasado por alto los eslabones 1 y 6. En el mejor de los casos, se recolectaba la

semilla, se producían los arbolitos en los viveros oficiales, y subsecuentemente se transportaban y se plantaban. La falta de concertación de la plantación con los dueños de los terrenos originó que eliminasen el material plantado porque no se establecieron compromisos para respetar la reforestación de sus terrenos; alternativamente, dedicaron sus tierras a otros usos productivos de corto plazo como la producción de alimentos. No obstante, aun en casos en que se respetó la plantación, la falta de protección y seguimiento a la misma, propició que la reforestación se perdiese por efecto del pastoreo, los incendios, las plagas, los roedores y la destrucción humana, entre otras causas. Así mismo, a lo largo de muchos años fue frecuente el empleo de plántulas que llegaban del vivero al sitio de la plantación, con alto grado de deterioro (en muchas ocasiones deshidratadas), situación promovida o agravada por el transporte, lo que se traducía en alta mortandad posterior. El resultado se tradujo en muy bajos niveles de prendimiento o sobrevivencia después de costosas inversiones. Por último, la incorporación de material "ecológicamente no apto para la zona", seleccionado simplemente por su disponibilidad en el vivero porque se debía aprovechar o sacrificar, generó también pérdidas sustantivas.

Se ha destacado que durante el periodo presidencial del Lic. Miguel Alemán (1946-1952), "las campañas de reforestación iniciadas -como casi siempre ha sucedido en nuestro país-, tuvieron una orientación más política y demagógica que técnica, pues el interés principal de actuar, consistió en hacer grandes plantaciones, sin cuidar de su conservación posterior, por lo que la mayor parte de ellas se perdieron" (Beltrán, 1966). Sin lugar a dudas, tal señalamiento es válido y se puede generalizar para un número de administraciones públicas del pasado.

Sobre el asunto, Veruette (2001) apuntó: "Debe entenderse que la aplicación de la política pública forestal, aún dotada de objetivos y de postulados teóricamente correctos, no ha tenido la eficacia que su propia importancia nacional le exige. Al carecer de instrumentos adicionales fundamentales, por ausencia o defecto, de orden financiero y de organización para la producción".

De todo lo anterior se desprende que la falta de una auténtica planeación y consideración a los aspectos técnicos y operativos básicos, han malgastado una enorme inversión.

Se elabora la base jurídica y aún la reglamentación, pero la política no se lleva a cabo.- Muchas políticas forestales, a pesar de contar con el respaldo de la ley y con la definición de mecanismos de aplicación, han fallado, al desconocerse sus implicaciones.

Las últimas administraciones públicas han expresado la importancia y la necesidad de mantener un inventario actualizado y permanente de los recursos forestales del país. Como tal, esta necesidad ha sido plasmada como un mandato

del servicio forestal por conducto de las leyes forestales o sus reglamentos más recientes. No obstante, el proceso de cuantificación de los recursos forestales no se ha realizado, ni con la periodicidad, ni con el nivel de confiabilidad que demanda una actividad de tal envergadura, en esencia por razones financieras técnicas y de organización. Es importante hacer notar que México conformó y mantuvo por cerca de dos décadas una notable infraestructura humana y material que le permitió llevar a cabo exitosamente, el primer inventario nacional forestal. Por motivos políticos y cambio de administración, dicha infraestructura fue desmantelada. En éste, como en muchos casos más, los deseos y aspiraciones de los funcionarios en turno, por medio de sus políticas manifiestas, han estado muy por encima de los alcances verdaderos y la capacidad material de la administración pública.

Refiriéndose a los lineamientos de política señalados en la Ley Forestal de 1960, Villaseñor (1983) señaló: "Tocante a México, se ha encontrado que en términos generales, la ley forestal que rige en el país marca lineamientos generales de política, pero no los define en forma precisa. Aún así, puede decirse que en general ésta es una buena ley; el problema es que no se han dado las condiciones congruentes con el propósito y finalidad de la ley".

Existe un problema de fondo que ha limitado la instrumentación de un número de políticas forestales, no obstante los buenos deseos e intenciones de los funcionarios responsables de la administración forestal en turno. Hace ya casi cuatro décadas, Beltrán (1966) declaró:

"Tres son las bases indispensables en las que un país debe asentar el adecuado tratamiento de sus bosques. Y aunque cada una tiene sus características propias, sólo la adecuada armonización de las tres dará los resultados esperados. Estas bases son: una política a largo plazo, cuidadosamente estructurada y situada dentro de los planes generales de desarrollo del país; una legislación real, operante, para la aplicación de las normas políticas; y una administración, con la jerarquía y elementos materiales necesarios para hacer cumplir las orientaciones básicas de la política forestal, así como los preceptos legales y reglamentarios".

Tanto la legislación forestal como la administración pública han estado lejos de aportar las bases que efectivamente ha requerido una sana y exitosa política forestal nacional. De la primera, el finado profesor Beltrán expresó: "La legislación, desgraciadamente, no puede decirse que haya sido nunca realista ni operante. Las sucesivas leyes (1926, 1943, 1948, 1960), no sólo han tenido el vicio de origen de ceder más o menos a la equivocada política de restricción y represión, sino que han olvidado con gran frecuencia las condiciones peculiares de nuestro país". El preocupante hecho de que, después del periodo de análisis que abarcó el Dr. Beltrán, se hayan puesto en marcha tres legislaciones forestales adicionales (leyes forestales de 1986, 1992 y 2003) destaca la circunstancia de que, no

se ha podido encontrar aún la vertiente jurídica apropiada a nuestra realidad desde las perspectivas social, económica, cultural y ecológica. Por lo tanto, si la legislación forestal no funciona de forma eficaz, no podrán concretarse las políticas propuestas.

La administración es indispensable para alcanzar las metas propuestas en las políticas, ya que establece la cimentación operativa, y se encargan de las acciones y tareas requeridas. Por desgracia, la que se refiere al sector forestal, no ha llegado a un nivel jerárquico relevante. Así, los presupuestos y los apoyos que ha recibido han estado acordes a su limitada posición. Tal situación ha condenado al servicio forestal oficial, a contar con una capacidad de gestión bastante restringida para apoyar de las cuestiones de política, algunas de las cuales por su naturaleza, demandan un amplio y decidido compromiso nacional para ser exitosas. En este contexto, Moguel (1966) expresó:

"...a pesar de las medidas tomadas y de los procedimientos ensayados en algunos aspectos (vedas totales y parciales, temporales e indefinidas, zonas de protección, parques nacionales, trabajos de reforestación artificial, combate y extinción de incendios, alta punición en infracciones y delitos) y de la vigilancia que se ha propuesto, ha sido incompetente e incapaz por su organización deficiente y por falta de elementos pecuniarios para detener el desastre que año con año se consume y aumenta ...".

Las autoridades responsables de su aplicación muestran desinterés en la ejecución.- Por muchos años, la actividad forestal en lo general, estuvo inmersa en un ambiente saturado de burocracia y de corrupción. La falta de personal que "tuviese puesta de manera genuina la camiseta del servicio", plenamente consciente de su compromiso social fue causa de numerosas fallas en el logro de las políticas y estrategias que se establecieron en diferentes etapas del proceso histórico del país.

Afectación de intereses.- Por las características propias del recurso forestal, la definición de políticas alrededor de su uso, conservación, protección y mejoramiento, ha sido un tema difícil dentro del subsector forestal nacional. Un ejemplo son algunas de las prácticas rurales de la población que habita en el campo y en el bosque, las que por su naturaleza afectan o deterioran los recursos naturales. Entre ellas se cuentan los desmontes desordenados para cambio de uso del suelo; la extracción clandestina de madera con fines domésticos o aún comerciales; la quema indiscriminada de pastizales que se traducen en incendios forestales y el sobrepastoreo que elimina la regeneración natural de los bosques. En estos casos, el manejo de leyes y políticas orientadas a la conservación y protección del recurso atenta contra la propia supervivencia de las comunidades. Por este motivo, ha sido común que durante décadas, las autoridades federales y estatales han soslayado así un problema altamente prioritario que incide en la destrucción y deterioro del patrimonio forestal mexicano.

Otro problema se ha recrudecido en la actualidad: se trata de los grandes grupos organizados que a lo largo de toda la geografía del país están explotando ilegalmente los bosques, situación que ha puesto en problemas a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), dependencia del gobierno federal encargada de velar por la aplicación de la política señalada, que ha evidenciado no estar preparada para combatir el problema en toda su magnitud.

Políticas de gabinete, carentes de consulta participativa.- Las políticas, leyes y estrategias diseñadas por grupos de especialistas o teóricos dentro de oficinas gubernamentales es parte de la historia del país. Los procesos participativos y de consulta fueron poco comunes, y cuando se concretaron, respondieron más a propósitos de carácter administrativo, de requisito, y aún de imagen política. Esta circunstancia motivó que una buena parte de las propuestas diseñadas en gabinete, no operaran cuando fueron llevadas a la práctica y tuvieron que confrontar algunos obstáculos.

Por ejemplo, los decretos constitutivos de la gran mayoría de los parques nacionales del país (1934-1940), se expidieron "en" y "bajo" pleno entorno burocrático, sin concebir una visión realista de las complicaciones que con el paso del tiempo tendrían esos lineamientos. Parece haber coincidencia en aceptar que la declaración de los parques nacionales probablemente respondió más a una situación romántica y sentimental que a una propuesta elaborada sobre una sólida base técnica. La gran mayoría de los establecidos desde esa época, no han podido ser regularizados debido a complejos problemas de tenencia de la tierra, por no haberse hecho las indemnizaciones del caso, y por otras circunstancias, varias de ellas de carácter legal.

Un instrumento utilizado con frecuencia en las administraciones públicas de México a partir de la segunda mitad del siglo pasado para promover este tipo de políticas, fueron los Programas Nacionales Forestales. Sobre uno de éstos y su grado de centralización, López Caballero (1989) señaló hace quince años: "...el Programa Nacional Forestal se planea desde la capital sin el conocimiento de las prioridades e intereses estatales o regionales. Basta ya de grupos centralistas de redentores que pretenden resolver los problemas, trátese de selvas, de bosques, de zonas áridas, o de campesinos o industriales...".

El mecanismo que inició el proceso participativo alrededor de las políticas, leyes y normativa de la actividad forestal de nuestro país fue el Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal de 1992, que apoyó a partir del año siguiente, la constitución de los consejos consultivos de carácter estatal. No obstante este logro significativo en materia de apertura ciudadana, el Consejo no ha sido ajeno a "las marejadas políticas" que han incidido sobre el sector.

Decretos que buscan solamente cumplir un "momento o una coyuntura política" de carácter temporal.- Esta situación es congruente con un país cuyo desarrollo contemporáneo estuvo sujeto a un exacerbado régimen centralista que impartió al andamiaje productivo una profunda inestabilidad, caracterizada por frecuentes virajes a las que debieron ser sólidas políticas y estrategias institucionales de mediano y largo plazo. Así, diversos enunciados de política forestal fueron motivo de numerosos discursos, titulares de diarios e incluso parte del informe presidencial, los que en su momento sólo respondieron a una coyuntura política pero que posteriormente quedaron en el olvido.

Segundo escenario: las políticas se aplican, pero en forma ineficiente, indebida, incorrecta o discrecional

Demasiada burocracia en el proceso de aplicación.- Como parte del proceso de desarrollo histórico de la nación, los aspectos legales y administrativos que han girado alrededor de la actividad forestal del país, se han caracterizado por una profunda e intrincada maraña burocrática. Como ejemplo, se pudo constatar que a lo largo de décadas, los propietarios de los bosques debieron confrontar un agobiante y largo proceso administrativo para tener derecho al aprovechamiento de sus predios arbolados. Esto trajo como consecuencia la destrucción de grandes extensiones forestales, para dedicar los terrenos desmontados a actividades que no requerían de tanto trámite legal como la agricultura y la ganadería. Adicionalmente, proliferó la vieja práctica rural del "cinchado" de árboles para inducir su muerte, o las quemadas intencionales para destruir la vegetación forestal.

La naturaleza incierta o indefinida de la política y de las leyes, da lugar a diversidad de criterios de aplicación.- En este contexto, el Programa Nacional Forestal 2001-2006 (Comisión Nacional Forestal, 2001) destaca:

"... existe un alto grado de discrecionalidad por parte de la autoridad, tanto en la interpretación de las disposiciones, como en la aplicación de los procesos administrativos previstos en cada una de ellas..."

Por lo anterior, la falta de actualización y de aplicación de las normas y la ley en materia de sanciones, presentan deficiencias y debilidades que permiten la discrecionalidad y fomentan la explotación sin control del recurso forestal con los efectos ambientales ya conocidos por su deterioro.

La corrupción distorsiona o cancela los propósitos de la política.- En la actividad forestal la corrupción ha tenido un impacto negativo de enorme trascendencia. Sin lugar a dudas, se ha constituido a lo largo de los años, en una pesada carga nacional para alcanzar las metas de política forestal previstas. En este sentido, Hinojosa (1989) expresó: "Sería muy útil que, respecto de cada área de la administración pública se realizara una investigación profunda, un análisis concienzudo para determinar en qué medida se aplica, se viola, se olvida o

se mal interpreta la legislación vigente. Ese análisis debería comprender el estudio de las causas o razones por las que el régimen de derecho se ha perdido, desviado o corrompido".

La Ley Forestal se sobrepone, antagoniza o se ve afectada por otra(s) legislación(es). - Las repercusiones ecológicas, económicas y sociales que giran alrededor de los recursos forestales y de sus habitantes, ha sido motivo de que un número de leyes y normas, impacten en su manejo y administración, sea en forma directa o indirecta. De 1982 a 1988 se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), lo cual trajo como consecuencia, el fraccionamiento de la administración del recurso forestal en tres secretarías de estado: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Secretaría de la Reforma Agraria (SRA) y SEDUE. Los antecedentes legales que preceden a esta acción, al crear una aparente sobreposición de funciones entre SARH y SEDUE, hicieron prever desde un principio, problemas futuros de descoordinación y duplicidad entre las actividades que ambas dependencias habrían de desempeñar. La experiencia posterior demostró efectivamente, que ese fraccionamiento administrativo creó más problemas que soluciones (Caballero, 2000).

Con relación a la promulgación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en el año de 1986, Veruette (2001) expresó: "En la práctica, los asuntos de materia forestal, se vieron obligados a cumplir con dos leyes específicas y a realizar y cumplir trámites también en dos instancias administrativas distintas".

En torno a este problema, el Programa Nacional Forestal 2001-2006 (Comisión Nacional Forestal, 2001) comenta: "En la actualidad, existe sobreposición de ordenamientos contenidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, su Reglamento... en materia de Impacto Ambiental, Ley General de Vida Silvestre, Ley Forestal (1992) y su Reglamento, que dificultan el desarrollo y control de la actividad forestal y en varios aspectos se da duplicidad"

Tercer escenario: la aplicación de la política forestal se ve restringida, obstaculizada o aún cancelada por otras políticas sectoriales

FAO (2003) destaca la necesidad e importancia de analizar las relaciones transversales entre los diversos sectores que impactan en las políticas. Tal situación ha quedado muy evidente en la historia de México, donde diversas políticas de promoción a la actividad agrícola o ganadera han tenido una sustantiva repercusión negativa en el sector forestal y en los recursos naturales.

El sector rural de México ha vivido la paradoja de una nación que por sus características ecológicas y naturales, es de aptitud forestal, en tanto que por tradición cultural, ha sido agrícola y ganadero. Como resultado, los procesos de

expansión en la producción de alimentos y de ganado, en gran parte se hayan basado en la conversión de terrenos forestales a otro uso, lo que fue favorecido por el sector público, en bosques y selvas.

En las décadas de los años cincuenta y sesenta, fueron notorios los programas de colonización en los estados del sureste, a costa de la eliminación del bosque tropical para cultivos agrícolas y producción animal. Uno de ellos fue el Programa Nacional de Desmontes (PRONADE, 1970-1976), que estuvo destinado a la destrucción de grandes extensiones arboladas del bosque tropical para ampliar la frontera agrícola y promover mayor producción de alimentos. Sobre este tema, González Pacheco (1980) apuntó:

"...que sólo en el periodo 1972-1976, el programa incorporó 1,176,000 ha al cultivo...", el costo social fue muy alto, ya que muchas de las tierras que se abrieron al cultivo en los estados del sureste de la República ahora permanecen improductivas, e incluso los estudios edafológicos no fueron adecuados para muchas de ellas. "...quienes más se favorecieron con esta situación fueron las compañías particulares que hicieron el desmonte..."

En los programas gubernamentales de colonización dirigida, se extraían inicialmente las maderas de interés comercial por medio de concesionarios encargados del desmonte; posteriormente, los árboles residuales eran removidos mediante maquinaria pesada. Después, la tierra era otorgada a los beneficiarios del programa de colonización, para agricultura intensiva y permanente o la producción forrajera (Caballero y Rodríguez, 1988). La aplicación de esta política, combinada con la práctica de la "roza-tumba-quema" llevaron a la desaparición de una parte considerable del recurso forestal tropical con que contaba la nación todavía hasta mediados del siglo pasado.

De 1990 a 2000, la superficie sembrada aumentó 2.3 millones de ha, de las cuales, sólo 376 mil correspondieron a hortalizas y frutas, y el resto a productos orientados a cubrir la demanda interna según Rosenzweig (2000). Es indudable que esta expansión de la superficie cultivada, se llevó a cabo en detrimento de extensiones cubiertas con bosques y selvas. Los resultados señalados se deben a políticas que promovían la producción agrícola y que fueron antagónicas con las forestales que buscaban la conservación y la protección de sus recursos.

Cuarto escenario: las políticas forestales se aplican acertadamente, pero su vigencia es efímera

La inestabilidad política del pasado fue causa frecuente de que no se tuviera el tiempo necesario para la aplicación exitosa de la política y poder así, evaluar su alcance e impacto. Veruette (2001) indica que de 1976 a 1982 la conducción de la política forestal tuvo pocas variaciones en su cometido, pero que la presencia

de tres titulares en este gobierno, inició una larga etapa de improvisaciones que provocaron desajustes en las finalidades y aplicación de esta política.

Resulta interesante advertir que a lo largo de 78 años de aplicación de una legislación específica para el ramo forestal, se han decretado siete leyes forestales. Lo anterior arroja una media de once años de vigencia por ley. Es evidente que un periodo tan corto, en ninguna forma brinda oportunidad para aplicar y evaluar el efecto -sea positivo o negativo- de dicha legislación en la sociedad. La situación se agrava aún más si se considera que los cambios de funcionarios y de administración pública, han dado lugar a vuelcos abruptos en políticas y estrategias, como significó por ejemplo, transitar bruscamente de las políticas "masivas o populistas" de las décadas de los setentas y principios de los setentas, a las políticas "neoliberales" de las administraciones públicas subsecuentes.

Quinto escenario: las políticas forestales se aplican, pero no se establecen mecanismos de retroalimentación ni de evaluación de impacto

Tradicionalmente, se ha ignorado la necesidad de evaluar hasta dónde la política alcanza sus propósitos, y qué circunstancias de carácter práctico limitan, obstaculizan o aún cancelan su instrumentación. En consecuencia no ha habido preocupación o interés de diseñar y aplicar criterios e indicadores de impacto.

COMENTARIOS FINALES

México ha establecido y aplicado claramente lineamientos de política forestal a lo largo de 78 años a partir de la primera ley forestal. A pesar del desarrollo histórico del país, existen evidencias de que varias de ellas han fracasado o en el mejor de los casos han alcanzado un éxito limitado. En numerosas ocasiones no se establecieron estrategias y líneas de acción para llevarlas a cabo, ni los mecanismos prácticos de ejecución.

El periodo 1926-2004 muestra una gran parte de las políticas forestales que jamás se llegaron a aplicar. Cuando sí ocurrió, diversas circunstancias motivaron su distorsión o les propiciaron limitaciones en su praxis, cancelando, reduciendo o desviando los objetivos originales.

La política forestal ha sido uno de los campos que ha merecido poca importancia en México, desde el punto de vista del análisis científico. Se precisa que este tema sea incluido entre los temas estratégicos de la investigación forestal de nuestro país, para evaluar qué tipo de políticas han alcanzado éxito, cuáles han permitido logros parciales y cuáles han fracasado, y en su caso qué

circunstancias han incidido en los resultados. En este contexto, la aplicación de criterios e indicadores es una herramienta moderna que pudiera favorecer el logro de tales objetivos.

Así, uno de los problemas principales en el diseño y aplicación de políticas públicas forestales efectivas, está en la histórica y cada vez más acentuada desprofesionalización y alejamiento de la ciencia y la investigación forestal de las entidades responsables.

Finalmente, todo lo anterior sugiere la necesidad e importancia de fortalecer el análisis de la política forestal como ciencia e instrumento para alcanzar objetivos nacionales, y no como instrumento de lucha y conquista del poder por sectores organizados de la sociedad civil que sólo persiguen intereses de grupo, como ha sido la visión tradicional en México.

REFERENCIAS

- Beltrán, E. 1966. Seis lustros de política forestal. *In*: Memoria de la III Convención Nacional Forestal. México, D. F. pp. 1 – 16.
- Caballero D., M. 2000. La actividad forestal en México. Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 227 p.
- Caballero D., M. y C. Rodríguez F. 1988. Informe relativo al manejo de bosques tropicales húmedos en México. FAO. Informe Técnico. México. 18 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2001. Programa Nacional Forestal 2001-2006. Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 118 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2003. Programa estratégico forestal para México 2025. SEMARNAT. México, D. F. 192 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Anuario estadístico de la producción forestal 2002. Inédito. Guadalajara, Jal. pp. 26 – 30.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1987. Guidelines for Forest Policy Formulation, Forestry Paper 81. Rome, Italy. 86 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2003. Cross-Sectoral Policy Impacts Between Forestry and Other Sectors. Forestry Paper 142. Rome, Italy. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_nofe=/docrep/006/y4653e/y4653e01.htm
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. Import/Export of Forest Products for 2002. Mexico. <http://www.fao.org/forestry/foris/webview/forestry2/index.jsp?siteId=4961&sitetreeId=22052&langId=1&geold=0>
- González P., C. 1980. El análisis socioeconómico en el desarrollo forestal. *In*: Aspectos económicos y sociales de la actividad forestal. INIF. Publicación Especial No. 18. México, D. F. pp. 51 – 60.

- Hinojosa O., M. 1988. Análisis comentado a la Ley Forestal. Centro Nacional de Investigaciones Agrarias, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D. F. 168 p.
- Hinojosa O., M. 1989. La actividad forestal y el régimen de derecho. *In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano. Tomo I. Toluca, México.* pp. 17 – 21.
- López C., A. 1989. Un esquema legislativo en materia forestal. *In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano. Tomo I. Toluca, México.* pp. 22 – 25.
- Moguel S., E. 1966. Política, legislación y administración forestales. *In: Memoria de la III Convención Nacional Forestal. México, D. F.* pp. 46 – 74.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). 1998. Análisis del Desempeño Ambiental. México. México, D. F. 230 p.
- Rosenzweig P., A. 2000. Conclusiones. *In: La política sectorial agropecuaria en México: balance de una década. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. México, D. F.* pp. 227 – 230.
- Veruette F., J. 2001. La economía mexicana y la política pública forestal (1880-1994). Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 353 p.
- Villaseñor A., R. 1983. Algunos aspectos cuantitativos de los programas de política forestal. *Ciencia Forestal. INIF. Vol. 8 (43):*46 – 60.
- Worrell, A. C. 1970. Principles of forest policy. McGraw-Hill Book Co. New York. 288 p.

COMPORTAMIENTO DE DOS MÉTODOS EN LA PREDICCIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ÍNDICE DE SITIO

Salvador Madrigal Huendo¹, Julián Moreno Chan²
e Ignacio Vázquez Collazo³

RESUMEN

La productividad de los terrenos forestales está influida, en gran parte, por la calidad del sitio o calidad de estación, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en determinado tiempo. Con frecuencia ha sido evaluada por medio de procedimientos indirectos como el Índice de Sitio (IS), que se deriva de la adaptación de las curvas de crecimiento de las variables edad-altura de una tabla de rendimiento normal. Los modelos de crecimiento son cruciales para la planificación del manejo forestal. La definición de las funciones matemáticas que representen adecuadamente el crecimiento de los árboles requiere del ensayo de varios modelos y métodos de ajuste, a fin de encontrar los que mejor ilustren el conjunto de datos en cada caso particular. Con el objeto de generar curvas polimórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrabus* en la región Hidalgo-Zinapécuaro, Michoacán, se utilizaron los métodos de predicción de parámetros y de la diferencia algebraica, así como los modelos de Schumacher y Chapman-Richards y datos de 51 análisis troncales de árboles dominantes. Todos ellos fueron comparados con base en su ajuste estadístico y la fidelidad para representar los datos. Los resultados indican que los modelos generados con el método de la diferencia algebraica tuvieron un excelente desempeño estadístico, pero mostraron deficiencias para graficar los datos. Los modelos desarrollados con el método de predicción de parámetros lograron un ajuste estadístico aceptable y una mayor fidelidad para expresar la tendencia de los valores observados.

Fecha de recepción: 19 de febrero de 2002

Fecha de aceptación: 25 de julio de 2005.

¹ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP. Correo-e: madrigal.salvador@inifap.gob.mx

² Universidad de Nueva Zelanda.

³ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.

Palabras clave: Calidad de estación, curvas polimórficas, índice de sitio, modelos estadísticos, *Pinus pseudostrabus*, regresión.

ABSTRACT

The productivity of forested lands is influenced, mainly, by the site or stand quality that is determined through the highest wood harvest that a forest produces at a time. Frequently it has been assessed through indirect methods such as the Site Index (SI) that comes from the adaptation of the height-age variables growth curves of normal yield tables. Growth models are crucial for forest management planning. The definition of mathematical functions that show tree growth correctly needs the support of several methods and models in order to find those that fairly represent the group of data in each particular case. In order to generate polymorphic site index curves for *Pinus pseudostrabus* in the Hidalgo-Zinapécuaro region in the state of Michoacán, the parameter prediction and algebraic difference methods were used as well as the Schumacher and Chapman-Richards models. Height-age data were provided by 51 felled dominant trees. Both methods and models were compared on the basis of their statistical fitness and accuracy to represent the data. Results show that the models formulated with the algebraic difference method had an excellent statistical fitness but were deficient in representing the data. In contrast, the models developed with the parameter prediction method were statistically sound and accurate for data representation.

Key words: Site quality, polymorphic curves, site index, statistical models, *Pinus pseudostrabus*, regression.

INTRODUCCIÓN

Los modelos de crecimiento son cruciales para la planificación del manejo forestal a cualquier nivel, dentro del cual, proyectar el incremento y rendimiento de los rodales individuales es un prerrequisito. Por lo tanto, los prestadores de servicio necesitan tener cierto conocimiento de la ubicación y las existencias de cada uno de los bienes y servicios generados en ellos, así como del medio y de los atributos de las masas arboladas, a fin de lograr una producción sostenida. Es importante destacar los que proporcionan información sobre el espacio disponible para el desarrollo de los árboles, la productividad de los sitios, los rendimientos y algunos otros factores que contribuyan a la prescripción de tratamientos silvícolas.

La búsqueda de una sustentabilidad de los ecosistemas forestales templados ha provocado cambios significativos en las prácticas de manejo. Por tal motivo, es conveniente incorporar herramientas dasométricas que permitan al administrador forestal identificar y considerar otros elementos de forma simultánea en el

espacio y en el tiempo que faciliten la toma de decisiones, tales como los niveles de producción de madera, así como las actividades silvícolas que permitan mantener las condiciones deseables en cada uno de los rodales.

La productividad forestal está determinada en gran parte, por la calidad del sitio o de estación, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado. La calidad de estación ha sido evaluada con frecuencia por medio de procedimientos indirectos como el Índice de Sitio (IS), el cual procedía de la adaptación de datos edad-altura de curvas de crecimiento de una tabla de rendimiento normal. Es difícil encontrar rodales puros coetáneos, de densidad completa y de diferentes edades, por lo que en la actualidad, la información se obtiene mediante análisis troncales de individuos presentes en terrenos, sitios o localidades, con características distintas.

La elaboración de las curvas de índice de sitio ha evolucionado de manera notable en las últimas décadas, ya que los métodos gráficos y cálculos manuales prácticamente han desaparecido, para dar paso a las técnicas de regresión con el apoyo del cómputo electrónico. Dado el gran número de modelos existentes, para calcular el índice de sitio y los que se pueden derivar por medio de las diferentes opciones para su ajuste estadístico, a través de un estudio comparativo se podrá definir cuál de ellos es el apropiado, bajo ciertas condiciones y necesidades. Con este propósito y tomando en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se plantea la comparación de los modelos sigmoidales Schumacher (1939) y Chapman-Richards (1959, 1961) bajo las siguientes consideraciones: exactitud y precisión en los resultados y el de menor número de parámetros.

Sin embargo, la fijación de las funciones matemáticas que representen adecuadamente el crecimiento en altura y en general, el crecimiento de los árboles, no es un proceso automático, ya que requiere del ensayo de varios modelos y métodos de ajuste, a fin de encontrar aquellos que mejor reflejen el conjunto de datos considerados en cada caso particular.

La administración de la producción maderable requiere modelar el crecimiento de los árboles y las masas forestales; la variable dasométrica más frecuente en estos trabajos es la altura de los árboles dominantes y codominantes, la cual tiene una fuerte relación con la capacidad productiva de una localidad, además, de ser la menos afectada por la densidad; por ello puede usarse para estimar la calidad de sitio en rodales coetáneos de densidad variable (Curtis, 1964; Spurr y Barnes, 1980; Clutter *et al.*, 1983; Madrigal, 1995; Quiñónez, 1995; Madrigal y Ramírez, 1996).

Por lo tanto, el Índice de Sitio (IS) se define como la altura promedio que alcanzan los árboles dominantes de un rodal a una edad base (Spurr, 1952; Curtis, 1964; Clutter *et al.*, 1983), establecida con base en la velocidad de

crecimiento de las especies o del turno (Spurr y Barnes, 1980). Este concepto también se ha interpretado como la relación entre la altura y la edad de un rodal o árbol individual, utilizada para evaluar la productividad de los terrenos forestales (Clutter *et al.*, 1983; Zepeda y Rivero, 1990), la cual se puede establecer mediante una representación gráfica y con el ajuste de modelos empíricos, en los que el crecimiento en altura se toma como la respuesta de un sistema complejo, que se asocia básicamente a la edad de los árboles (Ramírez 1994).

El Índice de Sitio implica el desarrollo de un conjunto de curvas, que describen patrones de crecimiento en altura durante la vida del rodal, cada una con un valor numérico o cualitativo asignado, de acuerdo a la altura alcanzada a una edad de referencia o edad base (Stage, 1963; Madrigal, 1995; Quiñónez, 1995; Madrigal, 2002). La construcción de curvas de índice de sitio puede realizarse por métodos gráficos o analíticos. Los primeros consisten en ilustrar la tendencia promedio de un conjunto de árboles a través de curvas trazadas en forma manual en un sistema de coordenadas edad-altura (Curtis, 1964); los segundos tienen las ventajas de eliminar cualquier sesgo personal en el trazo de las curvas y la posibilidad de probar la bondad de ajuste de modelos matemáticos diversos, para un mismo grupo de datos (Stage, 1963; Curtis, 1964; Carmean, 1972; Spurr y Bares, 1982; Madrigal, 1995; Quiñónez, 1995; Madrigal y Ramírez, 1995; De la Fuente, 2001; Quiñónez *et al.*, 2001; Madrigal, 2002). Cuando se determinan índices de sitio, mediante el ajuste de modelos se pueden generar dos tipos de familias de curvas: las anamórficas y las polimórficas.

Las curvas anamórficas se caracterizan por ser proporcionales entre sí y por presentar la misma pendiente, lo que hace que tengan la misma forma haciendo implícito el parámetro de posición (Clutter *et al.*, 1983; Avery y Burkhart, 1983). Lo anterior significa que la tasa de crecimiento sea proporcional para todas las calidades de sitio (Avery y Burkhart, 1983; Curtis, 1964; Spurr y Barnes, 1980). Se construyen fundamentalmente por medio de la técnica de la curva guía, la cual puede ser obtenida de modo gráfico o mediante procedimientos de regresión.

Las curvas polimórficas son familias de curvas que presentan diferente forma para cada calidad de sitio haciendo implícito el parámetro de escala y/o forma (Avery y Burkhart, 1983). Son conjuntos de líneas con pendientes variables, que por lo general no son proporcionales, no dependen unas de otras y sus puntos de inflexión ocurren en distintas edades (Clutter *et al.*, 1983; Zepeda y Rivero, 1990).

Dentro de los métodos analíticos para el ajuste de curvas de índice de sitio se han usado las siguientes técnicas: curva guía que se utiliza, en esencia, para generar curvas de tipo anamórfico; la diferencia algebraica, tanto para éstas como para las polimórficas; y la predicción de parámetros para ajustar principalmente estas últimas, empleando como la técnica anterior, observaciones

sucesivas, por lo que es necesario disponer de información de parcelas permanentes o de análisis troncales.

La mayoría de las especies forestales presentan patrones de crecimiento en altura de tipo polimórfico, debido a las características locales en suelo, clima y topografía. Esto hace necesario desarrollar este tipo de curvas, que reflejen los tipos de crecimiento en todo el intervalo de sitios donde se distribuye la especie (Carmean, 1970).

Las curvas polimórficas pueden ser desarrolladas mediante dos procedimientos generales:

1) Método de predicción de parámetros. Bajo este enfoque metodológico la altura (variable dependiente) se pronostica en función del índice de sitio y la edad (variables predictoras). Los silvicultores de Norteamérica lo aplicaron como primer método para la construcción de curvas polimórficas de índice de sitio (Beck, 1971; Carmean, 1972; Clutter *et al.*, 1983).

2) Método de la diferencia algebraica. Su planteamiento original fue propuesto por Bailey y Clutter (1974). A diferencia del anterior, en este caso no se utiliza el índice de sitio como variable predictora. La altura es expresada en función de mediciones sucesivas de edad y altura en el mismo individuo; las curvas generadas con este método no varían por la edad base y las alturas consideradas, que en teoría son iguales a los índices de sitio cuando esta edad ocurre; ambas características no se toman en cuenta con los modelos generados por el método anterior.

Con el fin de comparar la eficiencia de los métodos descritos, el presente estudio se concentró en *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la región Hidalgo-Zinapécuaro, del oriente del Estado de Michoacán porque dicha especie es la más importante tanto por su abundancia como por su valor comercial basado en la calidad de su madera. Los objetivos fueron los siguientes:

- Determinar los índices de sitio para ser utilizada como herramienta práctica para el manejo de los bosques de la zona.
- Comparar dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio con base en el ajuste estadístico y la fidelidad con que representen los datos.
- Definir la metodología más confiable para este estudio en particular.

La Zona de Estudio

Se trabajó en los municipios de Hidalgo y Zinapécuaro, ubicados parcialmente en los sistemas fisiográficos de Los Azufres y Agostitlán en el oriente de Michoacán que fueron seleccionados por su importancia en la productividad de madera y resina. Tienen rasgos topográficos y climáticos bien definidos (SDAF - Dirección

Forestal, 1995). En su conjunto, dichos sistemas abarcan una superficie total aproximada de 117,395 ha y se localizan entre los meridianos $100^{\circ} 28' 5''$ y $100^{\circ} 48' 40''$ de longitud Oeste, y entre los paralelos $19^{\circ} 20' 20''$ y $19^{\circ} 54' 28''$ de latitud Norte (Figura 1).



Figura. 1 Ubicación del área de estudio.

Los climas predominantes son el templado subhúmedo con lluvias en verano y el semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano. El primero de ellos se presenta en altitudes entre 1800 y 2700 msnm; la precipitación anual es de 741 a 959 mm, mientras que la temperatura promedio anual oscila entre 14.5 y 18°C . El segundo tipo climático se localiza en elevaciones superiores a los 2500 msnm, con una temperatura media al año de 9.7 a 10.6°C y una precipitación total entre 1300 a 1600 mm, aunque pueden detectarse variaciones locales significativas.

En el área son frecuentes los suelos de origen volcánico, principalmente los andosoles, litosoles y luvisoles. Estos tipos de suelos son muy ligeros, esponjosos, con texturas de migajón arenoso, arena migajonosa y franca, lo que proporciona una permeabilidad alta y un drenaje rápido y moderado; son ligeramente ácidos y ricos en materia orgánica (INEGI, 1985).

La importancia forestal de área es notable, ya que se ha caracterizado por la mayor actividad en cuanto al uso y aprovechamiento de los recursos maderables y no maderables de Michoacán. De acuerdo al inventario forestal, los bosques de la región reúnen las mayores existencias volumétricas, que son superiores a 500 m³/ha, así como incrementos de hasta 10 m³/ha/año (SDAF, 1995).

Las masas arboladas se caracterizan por presentar, en la mayoría de los casos, dos niveles verticales bien definidos: un piso superior conformado por *Pinus pseudostrobus* y/o *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham. (oyamel), y un piso inferior por especies de *Quercus* L. y *Alnus* spp. A mayores altitudes es posible encontrar poblaciones puras de oyamel y a medida que disminuye, aparecen masas mixtas de *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* Lamb. y *P. douglasiana* Martínez mezcladas con especies de *Quercus*, *Alnus* y *Arbutus* spp., con una escasa presencia de oyamel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de información

Se seleccionaron los árboles dominantes de *Pinus pseudostrobus* en todas las condiciones de crecimiento de la especie, para garantizar la utilización del método de índice de sitio como indicador de la productividad. Se derribaron y seccionaron 51 ejemplares para análisis troncal distribuidos en 15 localidades o parajes (Cuadro 1), de los que se obtuvieron 920 pares de observaciones altura-edad en total.

Cuadro 1. Distribución de las localidades (parajes) y árboles muestra por sistema fisiográfico.

Sistema Fisiográfico	Número de Parajes	Número de Árboles
Los Azufres	5	13
Agostitlán	10	38
Totales	15	51

Para la asignación de las clases de índice de sitio se trabajó con la dispersión de las observaciones altura-edad; se establecieron los 50 años como base para la especie y el área de estudio (Madrigal, 1995), que equivale al turno comercial; el rango de alturas fue de 25.63 a 42.07 m (Figura 2). A los 51 años se observaron alturas de hasta 44.53 m, por lo que se decidió fijar el intervalo de 26 y 44 m a la edad de 50 años y dividirlo en 5 de 4 m, como se muestra en el Cuadro 2.

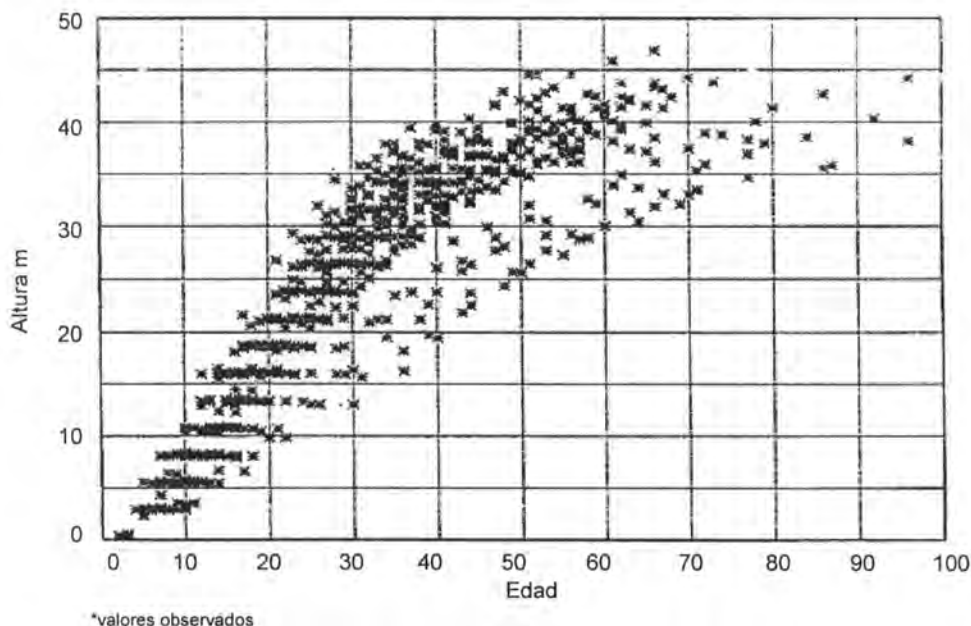


Figura 2. Dispersión de pares de observaciones altura-edad de *Pinus pseudostrobus* del área de estudio.

Cuadro 2. Índices de sitio e intervalos de altura.

Índice de sitio	Intervalos de altura m
26	24 - 28
30	28 - 32
34	32 - 36
38	36 - 40
42	> 40

Modelos para el Ajuste

Se realizó a partir de la aplicación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio a fin de seleccionar al de mejor desempeño estadístico y mayor capacidad para representar los datos. Asimismo, se comparó la bondad de ajuste de los modelos de Schumacher (1939) y Chapman-Richards (1959 y 1961) utilizando ambos métodos.

$$\text{Modelo Schumacher} \quad H = \beta_0 e^{-\beta_1 E^{-1}}$$

$$\text{Modelo de Chapman-Richards} \quad H = \beta_0 \left[1 - e^{(-\beta_1 E)} \right]^{\beta_2}$$

Donde:

H = altura de los árboles dominantes y codominates

e = base de los logaritmos naturales.

E = edad

$\beta_{0,1,2}$ = parámetros a ser obtenidos por regresión no lineal.

Para el método de predicción de parámetros, la secuencia empleada del proceso consistió de tres fases generales: 1) ajuste de modelos por mínimos cuadrados y cálculo de un Índice de Sitio (IS) a cada árbol y sitio en forma individual; 2) identificación de las relaciones funcionales entre parámetros e IS y 3) sustitución de las funciones en (2) en el modelo original para obtener las expresiones con los parámetros de dicho modelo y proceder a su ajuste final. Los criterios de evaluación de los modelos fueron: suma de cuadrados de los residuales (reducidos), coeficientes de variación e intervalos de confianza de los parámetros de regresión, los valores de la pseudo r^2 (cercano a uno) y el mayor valor de F calculada.

En el caso del método de la diferencia algebraica, el proceso es más simple, ya que solamente se requirió obtener las formulaciones polimórficas de los modelos mencionados con anterioridad, a partir de procedimientos algebraicos. Dichas expresiones fueron ajustadas a la totalidad de datos altura-edad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Método de predicción de parámetros

En la primera fase, los resultados del análisis de regresión mostraron un buen ajuste del modelo de Chapman-Richards para los datos agrupados por árbol y sitio (Cuadro 3); en contraste, el modelo de Schumacher indicó bajo ajuste estadístico, por lo que se eliminó de las siguientes etapas del proceso.

Posteriormente, con los parámetros β_0 , β_1 , β_2 del modelo original, específicos a cada árbol y sitio, y los índices de sitio calculados, se determinaron las funciones que indicaron en forma adecuada la relación entre ambos conjuntos de variables. Éstas se incluyeron en la ecuación original del primer modelo de modo que cada característica quedó redefinida y manifiesta en términos del índice de sitio.

Con lo anterior se obtuvieron dos expresiones 'reparametrizadas', una para el tipo de ajuste por árbol y otra por sitio, mismas que se incorporaron a la totalidad de datos altura-edad-índice de sitio mediante el procedimiento NLIN (no lineal) y método DUD (no uso de derivadas) del sistema de cómputo estadístico SAS (Statistical Analysis System).

Los modelos derivados del ajuste por árbol, presentaron valores más bajos en las sumas de cuadrados de los residuales, pseudo r^2 más altos, al igual que las F calculadas. Así mismo, los intervalos asintóticos de confianza y los coeficientes de variación de los parámetros fueron menores para los modelos derivados del ajuste por árbol, por lo que se consideró el más adecuado para los datos de este trabajo. El modelo para las curvas polimórficas de índice de sitio bajo este método fue el siguiente:

$$H = (32.97515 + 0.335788IS) \left[1 - e^{-(0.016713 + 0.001741IS)E} \right]^{(1.05291 + 0.025547IS)}$$

Donde:

H = altura dominante

IS = índice de sitio

e = base de logaritmos naturales.

Método de la diferencia algebraica

Las formulaciones polimórficas de los modelos de Schumacher y Chapman-

Cuadro 3. Resultados de la reparametrización final del modelo Chapman-Richards con ajustes por árbol y sitio.

Tipo de ajuste	GL	SCR	Pseudo r^2	F calc.	Parámetro	Valor	Intervalo de confianza asintótico		CV %
							Inf.	Sup.	
árbol	869	2884.42	0.979	28025.43	β_1	32.975	27.91726	38.03304	7.81
					β_2	0.3358	0.201124	0.470450	20.43
					β_3	-0.0017	-0.027660	-0.005766	33.36
					β_4	0.0017	0.001429	0.002053	9.07
					β_5	1.0529	0.506497	1.599323	26.44
					β_6	0.0255	0.010681	0.040413	29.63
sitio	869	4509.42	0.968	17874.42	β_1	26.9969	18.54189	35.452099	15.96
					β_2	0.47058	0.248310	0.692855	24.06
					β_3	-0.0171	-0.037990	0.003826	62.39
					β_4	0.00182	0.001262	0.002373	15.51
					β_5	0.66133	-0.232767	1.595417	68.35
					β_6	0.03713	0.012590	0.012411	33.91

GL = Grados de libertad, SCR = Suma de cuadrados residual, CV = Coeficiente de variación.

Richards también fueron ajustadas por el mismo procedimiento seguido en las ecuaciones parametrizadas. Los resultados de la regresión indican ajuste excelente de ambos modelos, aunque con el segundo se alcanzaron valores más altos del pseudo r^2 y F calculada, así como una menor suma de cuadrados residual (Cuadro 4).

Las ecuaciones generadas con ambos modelos se indican a continuación:

Schumacher:

$$H = 45.750588 \left[\frac{IS}{45.750588} \right]^{Eb / E}$$

Chapman-Richards:

$$H = 46.05691 \left[\frac{IS}{46.05691} \right]^{\left[\frac{\ln(1 - e^{(-0.034557/E)})}{\ln(1 - e^{(-0.037557/Eb)})} \right]}$$

Donde:

H = altura dominante

IS = índice de sitio

Eb = edad base

E = edad

\ln = logaritmo natural

e = base de logaritmo natural.

Comparación de los métodos de ajuste y selección del mejor modelo

La comparación de ambos métodos de ajuste se realizó con base en dos criterios: 1) el ajuste estadístico mostrado por los modelos y 2) la fidelidad con que éstos representaron los valores observados (Cuadro 5).

Tomando en cuenta únicamente los valores obtenidos de los pseudo r^2 , no se advierten diferencias considerables entre ambos métodos. Sin embargo, la varianza atribuida a la regresión (CME) es menor en los modelos de la diferencia algebraica; los valores de F resultaron más elevados para este último método. Por otra parte, para el modelo del método de predicción de parámetros se tienen mayores coeficientes de variación e intervalos de confianza asintóticos.

Cuadro 4. Resultados del ajuste por la diferencia algebraica de los modelos de Chapman-Richards y Schumacher.

Modelo	GL	SCR	Pseudo r^2	F cal.	Pará metro	Valor	Intervalo de confianza asintótico		CV %
							Inf.	Sup.	
Schumacher	809	1772.44	0.984	.256045	β_0	45.751	44.3016	47.1996	1.61
Chapman	809	691.18	0.994	328522	β_0	46.057	45.0273	47.0865	1.14
Richards					β_1	0.035	0.0319	0.0372	3.85

GL = grados de libertad, SCR = suma del cuadrado de residuales, CV = coeficiente de variación.

Cuadro 5. Comparación de los ajustes de regresión de los métodos de predicción de parámetros (MPP) y diferencia algebraica (MDA).

Tipo de ajuste	Método	GL ¹	CME ²	Pseudo r ²	F calc.	Parámetro	Valor	Intervalo de confianza asintótico		CV ³
								Inf.	Sup.	
MPP	Ch-R ⁴	869	3.342	0.978	28025.4	β_0	32.975	27.917	38.033	07.81
						β_1	0.3358	0.2011	0.4705	20.43
						β_2	-0.167	-0.0277	-0.0058	33.36
						β_3	0.0017	0.0014	0.0021	09.07
						β_4	1.0529	0.5064	1.5993	26.44
						β_5	0.0256	0.0107	0.0404	29.63
MDA	Sch ⁵	809	2.1936	0.984	256045	β_0	45.057	44.302	47.099	01.61
MDA	Ch-R	809	0.8565	0.994	328522	β_0	46.037	45.027	47.086	01.14
						β_1	0.0346	0.0319	0.0372	03.85

¹ = Grados de libertad (el número de observaciones difiere entre los dos métodos, debido a que en el MDA se elimina la última observación de cada árbol); ² = Cuadrado medio del error; ³ = Coeficiente de variación; ⁴ = Chapman-Richard; ⁵ = Schumacher.

Con base en los estadísticos obtenidos, puede considerarse que los modelos desarrollados bajo el método de la diferencia algebraica presentaron un ajuste estadístico superior.

Para cumplir con el segundo criterio de comparación, se graficaron las curvas de índice de sitio obtenidas con cada uno de los modelos que reflejan al mismo tiempo la totalidad de observaciones altura-edad (Figuras 3, 4 y 5).

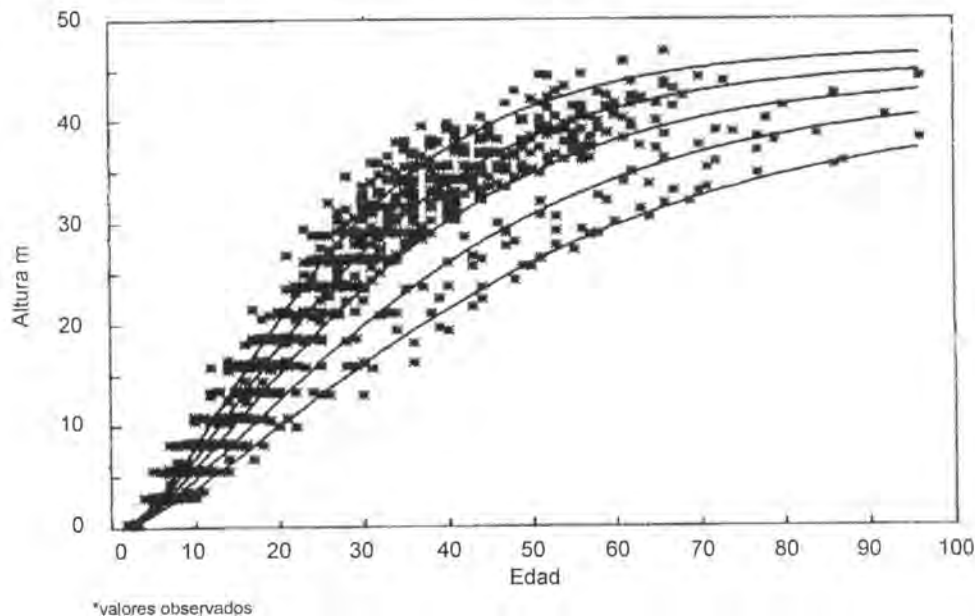


Figura 3. Curvas polimórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus*, modelo Chapman-Richards, método predicción de parámetros.

El modelo de Chapman-Richards desarrollado bajo el método de predicción de parámetros representa en forma conveniente la tendencia de los valores observados. Además, las curvas muestran un polimorfismo evidente y tienden a valores asintóticos diversos para cada índice de sitio. En contraste, la diferencia más notable del modelo es que las alturas predichas no coinciden exactamente con los valores del índice de sitio a la edad base, y presentan una diferencia de 0.7 m.

Respecto a los modelos del método de la diferencia algebraica, se pudo apreciar que para el modelo de Schumacher los patrones de crecimiento producidos presentan diferencias notables respecto a los valores observados, específicamente

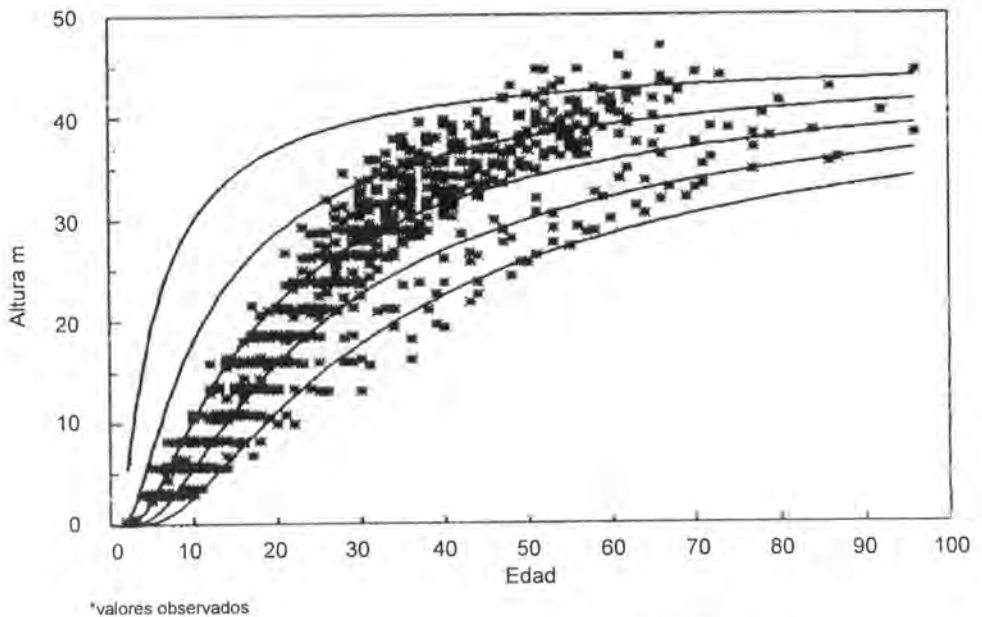


Figura 4. Curvas polimórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus*, por el modelo de Schumacher y el método de la diferencia algebraica.

en las dos mejores calidades de sitio; además en la principal, se predice a la edad de 2 años una altura de 5 m, a lo que se continúan predicciones muy elevadas. El modelo de Chapman-Richards tuvo un comportamiento similar (Figura 5); éste pronostica alturas de cero hasta una edad de 5 años en dos de las calidades de estación de menor productividad, mientras que las mayores lo hacen a los 2 años, una altura inicial de 12 m, a lo que prosiguen las predicciones semejantes a las del otro modelo.

Al tratar de encontrar respuesta a lo anterior, se revisaron los resultados obtenidos por Pérez (1990), Acosta (1991), Madrigal (1995) y Madrigal y Ramírez (1995), que fueron similares para *P. arizonica*, *Abies religiosa*, *P. montezumae* y *P. douglasiana* y *P. lawsonii* Roetz ex Gord. respectivamente. El ajuste estadístico que un modelo pueda mostrar es válido solamente para el promedio de la totalidad de los datos considerados; sin embargo, los modelos desarrollados bajo este método, al incluir los índices de sitio para obtener curvas que representen diversos patrones de crecimiento es cuando se producen las diferencias reconocidas en este estudio.

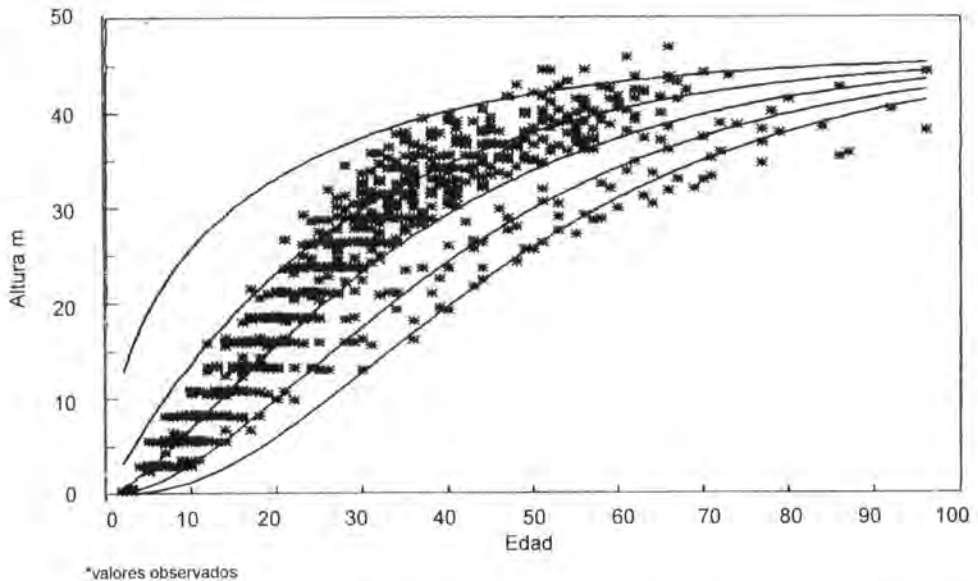


Figura 5. Curvas polimórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus*, por el modelo de Chapman-Richards y el método de la diferencia algebraica.

CONCLUSIONES

El método de predicción de parámetros ofrece flexibilidad, ya que puede aplicarse a través del ajuste inicial por árbol o por sitio. Para este trabajo, los mejores resultados se lograron mediante el ajuste por árbol.

Los modelos utilizados tuvieron desempeño distinto de acuerdo al método de ajuste. Schumacher presentó un ajuste estadístico deficiente bajo el método de predicción de parámetros, en comparación con el alcanzado con el método de la diferencia algebraica. Chapman-Richards mostró un buen ajuste en ambos métodos, pero mayor eficiencia para representar los datos con el método de predicción de parámetros. Por lo tanto, éste último fue seleccionado como el más conveniente para desarrollar el sistema de curvas polimórficas de índice de sitio, con base en su mayor valor predictivo y ajuste estadístico aceptable.

Con el método de la diferencia algebraica, los modelos de Schumacher y Chapman-Richards tuvieron un excelente ajuste estadístico; sin embargo, manifestaron deficiencias al incluir los índices de sitio para obtener curvas que representen distintos patrones de crecimiento, tales como una acusada sobreestimación de la altura para las últimas clases de sitio así como una subestimación para las primeras clases.

REFERENCIAS

- Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Avery, T. E. y H. E. Burkhart. 1983. Forest measurements. McGraw-Hill Co. New York. 331 p.
- Bailey, R. L. y J. L. Clutter. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. *Forest Science* 20(2):155-159.
- Beck E., D. 1971. Height-growth patterns and site index of white pine in the Southern Appalachians. *Forest Science* 17(2):253-261.
- Carmean, W. H. 1970. The height-growth patterns in relation to soil and site. *Proceedings of the 3rd. North American Forest Soils Conference*. Oregon State University Press. pp. 499-509.
- Carmean, W. H. 1972. Site index curves for upland oaks in the Central States. *Forest Science*. 18(2):109-119.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson; L. V. Pienaar; G. H. Brister y R. L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 333 p.
- Curtis, R. O. 1964. A stem-analysis approach to site index curves. *Forest Science* 10(2):241-256.
- Chapman, D. G. 1961. Statistical problems in population dynamics of exploited fisheries population. *In: Proc. of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California Press, Berkeley, CA. pp. 153-167.
- De la Fuente E., A. 2001. Determinación de índices de sitio para *Pinus rudis* Ende de Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. *In: V Congreso Mexicano de Recursos Forestales*, Guadalajara, Jalisco. Universidad de Guadalajara. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales A.C. pp. 51-52.
- Madrigal H., S. 1995. Determinación de la productividad de dos especies de pino considerando características físicas y químicas del suelo en Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 115 p.
- Madrigal H., S. y H. Ramírez M. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos para la determinación del índice de sitio en Michoacán. *Rev. Cien. For. en Méx.* Vol. 20(78):35-57.
- Madrigal H., S. 2002. Evaluación del potencial productivo de sitio forestal para *Pinus oocarpa* en el Ejido "Patuan" Municipio de Ziracuaretiro, Michoacán. *In: IV Congreso Forestal Mexicano*. Morelia, Michoacán. Asociación de Profesionales Forestales A. C. pp. 35-36.

- Pérez V., G. 1990. Determinación de índices de sitio para *Pinus arizonica* Engelm. en la región noroeste del Estado de Durango. Tesis. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 96 p.
- Ramírez M., H. 1994. Construcción de modelos de crecimiento y su aplicación en el diseño de regímenes silvícolas. *In: Memoria del Simposio de Manejo y Silvicultura*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 25-31.
- Quiñónez Ch., A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del estado de Durango. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 129 p.
- Quiñónez Ch., A., R. Alemán, V. R. Trujillo R. 2001. Determinación de la calidad de sitio para *Pinus cooperi* Blanco en Durango. *In: V Congreso Mexicano de Recursos Forestales*, Guadalajara, Jalisco. Universidad de Guadalajara. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales A.C. pp. 53-54.
- Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. *Journal of Forestry*. 37:819-820.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal (SDAF). 1995. Inventario Forestal del Estado de Michoacán. Memoria de la Región Oriente. Talleres de la Dirección Forestal. Morelia, Mich. México. 40 p.
- Spurr, H. S. y B. V. Barnes. 1980. *Forest ecology*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 670 p.
- Spurr, H. S. 1952. *Forest inventory*. The Ronald Press Company. New York. 476 p.
- Stage, A. R. 1963. A mathematical approach to polymorphic site index curves for grand fir. *Forest Science* 9(2):67-180.
- Zepeda E., M y P. Rivero B. 1990. *Principios básicos de regulación forestal*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 261 p.

ECUACIONES DE ADITIVIDAD PARA ESTIMAR COMPONENTES DE VOLUMEN DE HULE (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg., EN VERACRUZ, MÉXICO

Carlos Monroy Rivera¹ y José de Jesús Návar Cháidez¹

RESUMEN

Un mejor conocimiento del potencial de los productos maderables derivados de los árboles es importante desde el punto de vista económico y ambiental. El presente estudio se realizó en el Municipio de Tezonapa, Veracruz, México, con el objetivo de estimar ecuaciones aditivas con coeficientes de menor varianza para componentes de volumen y total para el clon de hule (*Hevea brasiliensis*) IAN-710 de plantaciones comerciales para la producción de látex. Los datos de campo proceden de la medición directa de escalado en pie de diámetros y longitudes de trozas y ramas de 66 árboles de 8, 14 y 31 años de edad. Se probaron cuatro formas de estimación de parámetros de ecuaciones de regresión previamente seleccionadas: 1) regresión lineal convencional, 2) regresión lineal ponderada, 3) regresión lineal generalizada y 4) regresión lineal generalizada ponderada. Los resultados mostraron que los coeficientes con menor varianza se obtuvieron por conducto de la última. Esta forma de evaluación de parámetros reduce la variación total hasta un 30%, en contraste con el uso de otros métodos similares. Por esta razón se recomienda utilizar la regresión desarrollada en procedimientos de regresión lineal generalizada ponderada en la determinación de componentes de volumen para el clon del hule IAN-710.

Palabras clave: Coeficientes, componentes de volumen, *Hevea brasiliensis*, hule, plantaciones, Veracruz.

Fecha de recepción: 21 de mayo de 2004.

Fecha de aceptación: 22 de junio de 2005.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo e: carlosmonroyri@hotmail.com; jnavar@ccr.dsi.uanl.mx

ABSTRACT

A better understanding of the potential of wood products from harvested trees is important from an economic and environmental point of view. This study was made in the municipio of Tezonapa in the State of Veracruz, Mexico, with the purpose of estimating additive equations with least variance coefficients for total volume and individual components for the IAN-710 *Hevea brasiliensis* clone for commercial plantations, primarily focused on latex production. Field data were collected by measuring stem and branch diameter on 66 standing trees of 8, 14 and 31 years old. Four procedures of fitting coefficients for previously selected equations were tested: 1) conventional linear regression, 2) weighted linear regression, 3) seemingly unrelated linear regression, and 4) weighted seemingly unrelated linear regression. Results showed that equations with the least variance equations came from the last one. The reduction of the coefficient variance was around 30% in contrast to similar procedures. Therefore, this equation is recommended for estimating coefficients and volume components for the latex IAN-710 clone.

Key words: Coefficients, volume components, *Hevea brasiliensis*, rubber tree, plantations, Veracruz.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) en el mundo cubrieron 187 millones de ha en el año 2000, 67% de las cuales se distribuyen en Asia. Éstas presentaron un incremento significativo a partir de 1995 cuando se estimaron existencias de 124 millones de ha; a partir de entonces, se ha registrado una mayor superficie destinada a este propósito del orden de 9 885 000 ha, con 9 058 000 ha plantadas en Asia, 180 000 ha en Sudamérica y 52 000 ha en Norte y Centroamérica (FAO, 2001). En México existen alrededor de 17 000 ha de *Hevea* cultivada, principalmente en los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas y Veracruz. En esta entidad los municipios productores más importantes son Acayucan, Las Choapas, Playa Vicente, Tezonapa y Uxpanapa, que reúnen un total de 9000 ha de plantaciones en desarrollo y producción de látex, lo que representa su propósito inicial.

En la actualidad, a las plantaciones de hule se les dan otros usos también; por un lado, en forma de fustes para obtener madera aserrada, triplay y postes, y por otro, en ramas para leña, material con fibra de celulosa u otros usos que requieren pequeñas dimensiones de madera. En 1990, el volumen total anual de madera de hule disponible en el área de la Asociación de Naciones del Sureste de Asia (ASEAN) fue alrededor de 17 millones de m³ (Ser, 1990). En Malasia, de 1982 a 1992 la producción de madera de esta especie se incrementó de 30 000 a 1 872 000 m³ (Malaysian Ministry of Primary Industries, 1993). El volumen

disponible de troncos de madera de hule cortado en el corto plazo, se equipara a la cantidad de madera tropical nativa extraída anualmente de un área de alrededor de 0.6 millones de ha. Por lo tanto, se considera que este producto puede reducir la presión sobre los bosques tropicales naturales y contribuir de manera positiva a su conservación (Killmann y Hong, 2000).

Por este motivo, la cuantificación del volumen maderable de los árboles de hule es importante; en la determinación del volumen de madera de un rodal a través del conocimiento del volumen de los árboles individuales, se ha realizado mediante ecuaciones como las de Schumacher y Hall (1933), Spurr (1952), Alder (1980), Clutter *et al.* (1983), que han sido ampliamente utilizadas en las especies maderables en distintas localidades; al respecto, también han trabajado Andenmatten y Letourneau (1995), Rey *et al.* (1995), Da Silva *et al.* (1993), Castellanos *et al.* (1995), Nájera (1999), Armendáriz *et al.* (2003), Contreras y Nívar (2002) y Zepeda *et al.* (1994).

En particular para los taxa tropicales, la elaboración de ecuaciones de volumen ha sido limitada, ya que se ha otorgado una mayor atención a especies forestales maderables de uso industrial tradicional (Ladrach, 1978; Da Silva *et al.*, 1993).

Una característica deseable de las ecuaciones de regresión de las partes del árbol (fustes, ramas, etc.), es que la suma de las predicciones para los componentes sea igual a la del total de los árboles (Chiyenda y Kozak, 1984; Cunnia y Briggs, 1984; Reed y Green, 1985; Parresol, 1999; Méndez, 2001; Contreras y Nívar, 2002; Nívar *et al.*, 2004a). Se ha discutido el problema de forzar la aditividad de las funciones de biomasa y volumen; de ésto se desprenden tres procedimientos de acuerdo a como se incluyen los elementos individuales: 1) suma de estimadores de las mejores funciones de regresión de cada componente; 2) uso de las mismas variables independientes para la estimación de cada componente y 3) forzando los coeficientes de regresión para estimar el componente total, con regresiones lineales generalizadas o regresiones aparentemente no relacionadas (SUR siglas en inglés, Seemingly Unrelated Regressions) (Cunnia y Briggs, 1984; Parresol, 1999; Nívar *et al.*, 2004b). Estos procedimientos de reciente aplicación en la evaluación cuantitativa de bosques templados (Cunnia y Briggs, 1984; Rose y Linch, 2001; Brooks *et al.*, 2002; Nívar *et al.*, 2004a) y semiáridos (Méndez, 2001), requieren ser probados en árboles y arbustos de otros ecosistemas terrestres. Un ejemplo reciente fue reportado para *Eucalyptus globulus* Labill. de Portugal y España por Yuancai *et al.* (2001).

La base de datos para ajustar las ecuaciones de volumen generalmente presenta varianza heterogénea o heterocedasticidad, es decir la varianza del error no es constante sobre todas las observaciones, con el incremento en la variable independiente (Contreras y Nívar, 2002). En consecuencia, se ha sugerido el uso de la regresión ponderada en la estimación del volumen (Bailey, 1994; Pece

et al., 1997; Schreuder y Williams, 1998; Parresol, 1999). Se ha propuesto el uso del logaritmo natural para transformar las variables y contribuir a disminuir el problema de la heterocedasticidad (Schumacher y Hall, 1933; Bailey, 1994). Estas ecuaciones requieren de un factor adicional de corrección. Los principales factores de ponderación son el inverso o recíproco de la varianza del volumen, en función del diámetro a 1.3 m y la altura (Barrena, 1988).

Se han realizado pocos intentos para generar ecuaciones que describan simultáneamente los componentes de los árboles, cuando existen ecuaciones aditivas para describir elementos de biomasa. Un ejemplo reciente en la literatura científica corresponde a Contreras y Návar (2002), quienes trabajaron con árboles de clima templado-frío; sin embargo, no se tienen experiencias para especies tropicales mexicanas y para el árbol del hule no existen muchas ecuaciones de volumen.

El objetivo del presente estudio fue desarrollar ecuaciones para describir simultáneamente los componentes de volumen, fuste, ramas y del total en árboles del clon de hule IAN-710, en Tezonapa, Veracruz, mediante diferentes técnicas de ajuste de parámetros.

El clon de hule IAN-710 es de origen brasileño y ha sido establecido en plantaciones monoclonales para la producción de látex sobre terrenos sensiblemente planos del trópico húmedo de México, en particular en rodales de los Valles de Tezonapa y Uxpanapa, ubicados en la misma entidad (Figura 1). La densidad de plantación inicial es 556 árboles por ha (3 x 6 m), con arreglo marco real, sin podas ni aclareos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó con plantaciones comerciales del clon de hule IAN-710, ubicadas en terrenos del Campo Experimental "El Palmar", del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que se localiza en el km 16 de la Carretera Tezonapa-El Palmar Grande, Mpio. de Tezonapa, Ver., a una altitud de 180 msnm (Figura 2). El clima es cálido-húmedo, con una precipitación total anual de 2885 mm y una temperatura media de 24.4°C. La fisiografía es de terrenos planos y lomeríos con pendientes que van de 5 a 29%. Los suelos son acrisoles y vertisoles, profundos y de buen drenaje natural con textura migajón arcillo-arenosa y pH de 4.8 a 6.1.

Muestreo y selección de árboles

Para seleccionar los árboles a cubicar, se llevó a cabo un muestreo al azar en



Figura 1. Plantación comercial del clon de hule (*Hevea brasiliensis*) IAN-710 para producción de látex en el Municipio de Tezonapa, Ver.



Figura 2. Regiones del Estado de Veracruz, México y localización del Municipio de Tezonapa.

tres edades de plantación 8, 14 y 31 años. La medición directa se hizo mediante escalado en pie, de diámetros y longitudes de trozas y ramas de 22 árboles por cada edad de plantación, en un total de 66 árboles. De cada árbol evaluado se le registraron las siguientes variables: diámetro al nivel del suelo (DB); diámetro normal ($D_{1.3m}$), diámetro al inicio de la copa (Dic), altura del fuste limpio (AF) y altura total (A). El volumen de cada troza y de cada rama se determinó por medio de la fórmula de Smalian (Clutter *et al.*, 1983) a partir del diámetro en ambas secciones, desde la base, a 1.30 m, y a cada 2.50 m, hasta la parte distal del fuste limpio; el volumen de la punta se estimó con la fórmula del cono (Clutter *et al.*, 1983).

Análisis estadístico

Las variables independientes usadas fueron Diámetro normal ($D_{1.3m}$), Diámetro al cuadrado ($D_{1.3m}^2$), Diámetro al cuadrado por altura (D^2A), Diámetro y altura al cuadrado (DA^2) y Diámetro al cuadrado por altura del fuste (D^2AF) (Clutter *et al.*, 1983; Bailey, 1994). Como variables dependientes se usaron: el volumen de fuste con corteza, volumen de ramas con corteza y volumen total (variables dependientes); además de los datos de diámetro normal ($D_{1.3m}$) y altura total (A) de los 66 árboles, fueron usados para el ajuste de las ecuaciones de volumen mediante procedimientos Stepwise (SAS, 1999). Éste se ha definido como un método de regresión paso a paso, en el cual las variables se agregan una a una; si no incorporan una parte importante de la variación, se eliminan; por el contrario, si incorporan parte de la variación, se agregan, siempre y cuando expliquen significativamente tal variación en el modelo completo. El mejor modelo de regresión se seleccionó al considerar los estadísticos de bondad de ajuste siguientes: 1) el coeficiente de determinación (r^2), 2) el error estándar (Sx) y 3) el error en porcentaje [S (%)]. No se consideraron otros estadísticos de ajuste porque se complica su estimación en modelos de regresión ponderada generalizada.

Una vez que se escogió el mejor modelo de regresión, se procedió a calcular los coeficientes provenientes de procedimientos de aditividad.

Los coeficientes de cada uno de los tres tipos de modelos se calcularon de cuatro formas diferentes: 1) regresión lineal convencional sin ponderar, 2) regresión lineal ponderada, 3) regresión lineal generalizada y 4) regresión lineal generalizada ponderada. Los dos últimos también denominados modelos aditivos. El uso de la ponderación se realizó con el fin de modelar la estructura del error.

La selección de la mejor técnica para estimar los coeficientes estadísticos resultó de comparar: 1) estadísticos de ajuste y 2) valores de "t" de los parámetros y su respectivo nivel de probabilidad. Los valores de "t" de los parámetros resultan de la división del estimador entre su error estándar. Este es un procedimiento

recomendado por Parresol (1999) y Nívar *et al.* (2004a) para el desarrollo de ecuaciones de biomasa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dasométricas del arbolado

En el Cuadro 1 se reúnen los elementos utilizados para el cálculo de las ecuaciones de volumen.

Cuadro 1. Características promedio de las variables dasométricas del clon IAN-710 en Tezonapa, Ver.

Edad (años)	DB (cm)	D _{1.3m} (cm)	A (m)	AF (m)	CB (m ²)
8	24.8	22.5	16.0	6.20	30.7
14	29.2	25.6	21.3	11.4	21.5
31	43.8	41.0	27.6	18.0	59.7

DB = Diámetro basal, D_{1.3 m} = Diámetro a 1.30 m, A = Altura total, AF = Altura del fuste limpio, CB = Cobertura.

De manera análoga, los intervalos de confianza de las variables dasométricas y el volumen de los 66 árboles evaluados se ordenan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticos promedio e intervalos de confianza (P = 0.05) de las variables dasométricas y volumen de la muestra de trabajo de 66 árboles del clon de hule IAN-710 en Tezonapa, Ver.

Edad (Años)	Variables Dasométricas		Volumen Promedio (m ³)		
	D _{1.3m}	A	Fuste	Ramas	Total
8	22.48 (0.87)	16.02 (0.46)	0.24	0.22	0.47
14	25.61 (0.96)	21.36 (1.38)	0.51	0.09	0.60
31	41.00 (2.18)	27.66 (1.65)	1.38	0.20	1.59

D_{1.3m} = Diámetro a 1.30 m, A = Altura total.

Los parámetros de altura y diámetro de la población y de la muestra para la estimación del volumen de las plantaciones son similares estadísticamente, de acuerdo con los intervalos de confianza de la muestra de los 66 árboles. Los volúmenes fustales y totales promedio de los árboles se incrementan con la edad; en contraste con el correspondiente a las ramas, este incremento es menos predecible. La densidad de la plantación permanece más o menos constante, con baja mortalidad y el volumen de las ramas se modifica de forma substancial con el crecimiento. Este cambio se debe a una mayor competencia por espacio entre los nutrimentos, árboles, etc.

El promedio en porcentaje de los componentes del volumen medido para el fuste y ramas fue de 80.51 y 19.42% (Cuadro 2), que son similares para *Pinus cooperi* Blanco, *P. durangensis* Mart. y *P. teocote* Schl. et Cham (Contreras y Návar, 2002). Los componentes de volumen variaron con la edad de la plantación: a los 8 años, el volumen medido del fuste fue de 70.11% y de las ramas de 29.88%; a los 14, el primer valor fue de 85.42% y el segundo de 14.57%, finalmente a los 31, el del fuste fue de 80.48% y el de ramas de 19.51%.

En la estimación del volumen de ramas se probaron diferentes índices, debido a la dificultad de encontrar parámetros apropiados que explicaran la mayor proporción de la variación total. Se seleccionó un índice en el que la edad de plantación funciona como ponderador de las variables independientes: $D_{1.3\text{ m}}$, D_{ic} , AF , A y $D_{1.3\text{ m}}^2 h$. La edad no se incluyó como variable explicatoria en la ecuación del volumen del fuste y no se consideró como independiente ni como factor de ponderación. Ambas ecuaciones de componentes de volumen de ramas y fustes son aditivas algebraicamente por su expresión. Del programa Syslin (SAS, 1999) se obtuvieron los valores "t" de los parámetros. Estas ecuaciones se asemejan a las desarrolladas por Naslund o Australiana (Clutter *et al.*, 1983).

Los parámetros de ajuste de las mejores ecuaciones para el volumen total que resultan de la aplicación del programa Stepwise en cuadrados mínimos simples y ponderados, así como la regresión lineal generalizada simple y ponderada para estimar componentes de volumen de los árboles estudiados, se muestran en el Cuadro 3. Los procedimientos de estimación de parámetros dieron origen a diferentes coeficientes. Las variaciones más notorias se manifiestan cuando se ponderan o no se ponderan las ecuaciones. Por esta razón, los parámetros estadísticos de ajuste r^2 , S_x y S de las ecuaciones, cambian, aunque lo hacen de una forma no muy notoria. De acuerdo con los estadísticos de ajuste de las cuatro ecuaciones, se recomendaría el uso de cuadrados mínimos simples para esta evaluación.

En particular, la regresión simple sin ponderar sería la más adecuada para determinar el volumen de fuste, ramas y total de *H. brasiliensis*. La reducción en los estadísticos de ajuste es la consecuencia de la estimación de los parámetros

Cuadro 3. Parámetros de ajuste de ecuaciones de volumen del procedimiento Stepwise y estadísticos de bondad de ajuste para estimar componentes de volumen de 66 árboles de hule.

Ecuación	Estadísticos de bondad de ajuste		
	r^2	Sx	S (%)
Ecuación Sin Ponderar	0.953	0.1315	14.67
Ecuación Ponderada	0.902	0.1959	21.86
Ecuación Lineal Generalizada	0.900	0.1977	22.06
Ecuación Lineal Generalizada Ponderada	0.901	0.1966	21.93

r^2 = Coeficiente de determinación, Sx = Error estándar, S (%) = Error en porcentaje.

por procedimientos de regresión lineal generalizada. La regresión ponderada también disminuye los parámetros r^2 , Sx y S, pero incrementa la precisión de los parámetros de la ecuación (Návar *et al.*, 2004a); para los géneros *Quercus* y *Picea*, Palm (1981) reportó que el método de cuadrados mínimos ponderados con factor de ponderación mostró la mayor precisión al compararse con regresiones sin ponderar y regresiones segmentadas.

Los valores de "t" de coeficientes de regresión de las ecuaciones para componentes de volumen y total muestran que la regresión lineal generalizada ponderada son los más altos (Cuadro 4). Todos ellos son estadísticamente significativos (*P = 0.10, **P = .05, ***P = 0.0001). En general, se incrementaron en 20, 30 y 5% en los coeficientes estimados, con regresión lineal generalizada ponderada; en contraste con la regresión lineal simple sin ponderar, regresión lineal simple ponderada y regresión lineal generalizada, respectivamente. Esto es indicativo del incremento en la precisión de la estimación de los parámetros, es decir, los parámetros estimados en la regresión lineal generalizada ponderada contienen una menor varianza y los hace más deseables como estimadores de los coeficientes de regresión.

Mediante el procedimiento de la ecuación lineal generalizada ponderada se obtuvieron los coeficientes estadísticos más confiables, en particular para el modelo de estimación del volumen total. Los modelos aditivos para el cálculo del volumen total se caracterizan por registrar la mayoría de los coeficientes con alta significancia estadística. La opción lineal generalizada sin ponderar,

Cuadro 4. Valores de "t" y nivel de probabilidad de los coeficientes estadísticos de cuatro formas de estimación de parámetros de ecuaciones de volumen del clon de hule IAN-710 en Tezonapa, Ver.

Componente	Parámetros estadísticos						
	Ecuación sin Ponderar	α	Dic	D ² A	Dn	Afl	At
$V_{\text{fuste}} = -0.08885 + 0.01161\text{Dic} + 0.00002570\text{D}^2\text{A}$	1.91 **	3.84 **	35.5 ***				
$V_{\text{rama}} = -0.17166 + 0.01310\text{Dn} - 0.01348\text{Afl} - 0.00559\text{At} - 0.00713\text{Dic}$	2.95 **	2.28 **		4.81 **	3.45 **	1.27	
$V_{\text{total}} = 0.43653 + 0.00950\text{Dic} + 0.000032\text{D}^2\text{A} - 0.00597\text{Dn} + 0.00388\text{Afl} - 0.01628\text{At}$	1.87 *	1.97 *	6.56 **	0.55 n. s.	0.69 n. s.	2.27 **	
Ecuación Ponderada							
$V_{\text{fuste}} = -0.10063 + 0.001258\text{Dic} + 0.00002548\text{D}^2\text{H}$	2.07 **	4.26 **	36.84 ***				
$V_{\text{rama}} = 0.15918 + 0.01286\text{Dn} - 0.01286\text{Afl} - 0.00575\text{At} - 0.00627\text{Dic}$	2.56 **	2.08 **		4.71 **	3.4 **	1.26	
$V_{\text{total}} = 0.67751 + 0.01188\text{Dic} + 0.00003702\text{D}^2\text{A} - 0.01625\text{Dn} + 0.00674\text{Afl} - 0.0219\text{At}$	2.75 **	2.26 **	7.41 **	1.43 n. s.	0.99 n. s.	2.73 **	

continúa...

continuación Cuadro 4

Componente	Parámetros estadísticos						
	α^∞	Dic	D ² A	Dn	Afl	At	
Ecuación Lineal Generalizada							
$V_{\text{fuste}} = -0.08892 + 0.011619\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{H}$	2.15 **	4.31 **	39.86 ***				
$V_{\text{rama}} = 0.169244 + 0.013309\text{Dn} - 0.01408\text{Afl} - 0.00537\text{At} - 0.00723\text{Dic}$	2.91 **	2.31 **		4.89 **	3.61 **	1.22 n. s.	
$V_{\text{total}} = 0.080328 + 0.004391\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{A} - 0.013309\text{Dn} - 0.01408\text{Afl} - 0.00537\text{At}$	1.11 n. s.	1.05 n. s.	39.8 ***	4.89 **	3.61 **	1.22 n. s.	
Ecuación Lineal Generalizada Ponderada							
$V_{\text{fuste}} = -0.06399 + 0.009682\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{H}$	1.72 *	3.52 **	35.2 ***				
$V_{\text{rama}} = 0.143297 + 0.012488\text{Dn} - 0.01228\text{Afl} - 0.00447\text{At} - 0.00635\text{Dic}$	3.31 **	2.18 **		5.63 **	2.96 **	1.08 n. s.	
$V_{\text{total}} = 0.079311 + 0.003329\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{A} - 0.012488\text{Dn} - 0.01228\text{Afl} - 0.00447\text{At}$	1.50 n. s.	0.92 n. s.	35.2 ***	5.63 **	2.96 **	1.08 n. s.	

α^∞ = alfa, Dic = diámetro a base de copa, D²A = diámetro a 1.3 m al cuadrado por altura, Dn = diámetro a 1.3 m, Afl = altura fuste limpio, At = altura total. * = Pr > 0.10, ** = Pr > 0.05, *** = Pr > 0.0001, n. s. = no significativo.

indicó elevados coeficientes estadísticos, en comparación con los derivados de métodos convencionales.

Se confirma que los sistemas lineales generalizados ponderados aumentan la precisión de los parámetros, al utilizar de manera simultánea el número de árboles por el número de compartimentos en la estimación de la varianza total. Para el caso de este estudio, el cálculo de las ecuaciones fue sobre 132 valores (datos de fuste + datos de ramas), mismo que es de carácter novedoso y no aplicado hasta ahora en la mayoría de las especies tropicales.

Asimismo, la ponderación aumenta la confiabilidad en la estimación de parámetros, cuando se compara con el proceso convencional (ecuaciones sin ponderar), en consecuencia, incrementa la precisión en la estimación de parámetros, al analizar la estructura del error, al contribuir a minimizar el comportamiento de la varianza heterogénea o heterocedasticidad, una característica implícita de las variables dasométricas (Bailey, 1994) que calculan la biomasa o volumetría de recursos maderables ($D_{1.3}$, A, etc.,).

La ecuación para ramas parece mostrar un sesgo por su comportamiento cuadrático (Figura 3). Es decir, el volumen de ramas crece hasta alcanzar un máximo para después reducir su valor en árboles de mayores dimensiones. A este respecto, es claro que la ecuación es válida para árboles con diámetro de hasta 50 cm, dimensión superior a la distribución del diámetro de los árboles sujetos a muestreo (Cuadro 5). Para árboles de mayor diámetro, se sugiere observar si el volumen de las ramas disminuye por efectos de aclareos y, si es así, utilizar la ecuación con cierta reserva para árboles más grandes. Si el volumen de las ramas continúa creciendo de forma proporcional con las dimensiones del árbol, entonces se recomienda utilizar la ecuación hasta el valor máximo y dejar este valor estimado como constante. Finalmente es conveniente incorporar otra fuente adicional de árboles de mayores dimensiones en el cálculo de los coeficientes estadísticos para la medición y estimación del volumen de ramas. Las implicaciones biológicas, ecológicas y silvícolas de este comportamiento del volumen de ramas, merece atención especial en futuras investigaciones. Es posible que la producción de látex y otros compuestos esté en función del volumen de ramas, del fuste o de una combinación de ambos componentes.

CONCLUSIONES

Los resultados de pruebas de bondad de ajuste de cuatro formas de estimación de parámetros de ecuaciones de componentes de volumen (fuste, ramas y total) del clon de hule IAN-710 permiten la recomendación del procedimiento lineal generalizado ponderado para los efectos señalados.

Los parámetros estimados con el procedimiento de regresión lineal generalizada con ponderación, registraron la mayor precisión, comprobado por sus valores de "t".

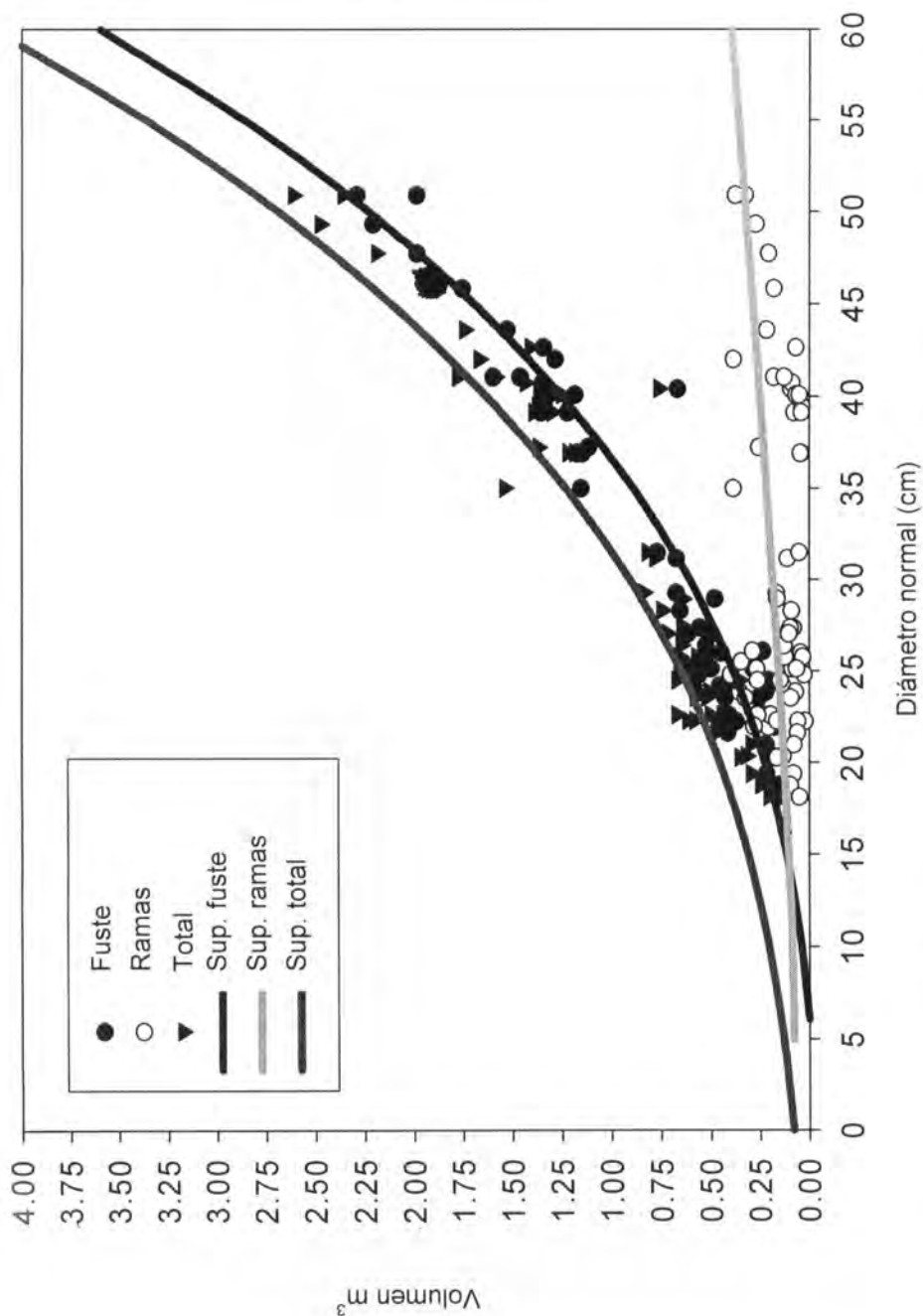


Figura 3. Las ecuaciones aditivas de los componentes de volumen de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. de Tezonapa, Veracruz, México.

Cuadro 5. Número de árboles seleccionados por categoría diamétrica para ajustar las ecuaciones aditivas de volumen de plantaciones de hule en estudio en Veracruz., México.

$D_{1.3m}/A$	5	10	15	20	25	30	Total
5							
10							
15							
20			11	3			14
25			11	12	2		25
30			1	3	2		6
35					1	3	4
40					3	7	10
45					2	1	3
50						4	4
55							
Total			23	18	10	15	66

$D_{1.3m}$ = Diámetro (cm), A = Altura (m)

La mayor parte de los coeficientes de los modelos aditivos para estimar volumen total presentaron evidencia estadística altamente significativa al compararse con los procedimientos de estimación convencionales.

Las ecuaciones estadísticas generadas permiten garantizar una estimación confiable del volumen, a nivel individual y rodal de plantaciones comerciales del clon de hule IAN-710 en el Municipio de Tezonapa, Ver.

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.
- Andenmatten, E. y F. Letourneau. 1998. Estimación de alturas para su empleo en tablas de volumen de árbol individual. *Quebracho* 6: 27-34.
- Armendáriz, O., R., A. Quiñónez Ch., T. Juárez P., M. Cano R., H. A. Rubio A. y J. Rentería A. 2003. Elaboración de tablas de volúmenes mediante análisis troncales, en cinco regiones forestales del estado de Chihuahua. Resumen. *In: VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Memoria. Noviembre 5-7 de 2003. San Luis Potosí, SLP.* pp. 45-46.
- Bailey, L. R. 1994. A compatible volume taper model based on the Schumacher and Hall generalized constant form factor volume equation. *Forest Science* 40 (2): 303-313.
- Barrena A., V. M. 1988. La regresión ponderada en la elaboración de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú* 15(2): 21-28.
- Brooks, J. R., S. Martin, J. Jordan and Ch. Sewell. 2002. Interim taper and cubic-foot volume equations for young longleaf pine plantations in Southwest Georgia. Gen. Tech. Rep. SRS-48. Asheville, NC. U.S. Forest Service, Southern Research Station. pp. 467-470.
- Castellanos B., J. F., M. Ruiz M., M. Gómez C. y L. Santiago P. 1995. Tablas de volúmenes para siete especies de pinos en la Sierra Norte de Oaxaca. *In: II Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Memoria. Texcoco, México.* 150 p.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Piennar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach.* John Wiley and Sons Inc., New York. 333 p.
- Chiyenda, S. S. and A. Kozak. 1984. Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear. *Can. J. For. Res.* 14: 441-446.
- Contreras A., J. C. y J. J. Nívar Ch. 2002. Ecuaciones aditivas para estimar componentes de volumen para *Pinus teocote* Schl. et Cham. de Durango, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* Vol. 27 (91):67-81.
- Cunnia, T. and R. D. Briggs. 1984. Forcing additivity of biomass tables: use of the generalized least squares method. *Canadian Journal of Forest Research.* 14:376-384.
- Da Silva J., A. A., M. R. De Melo C. S. and B. E. Borders. 1993. A volume equation for mangrove trees in northeast Brazil. *Forest Ecology and Management.* 58:1-2, 129-136.
- FAO. 2001. Global forest resources assessment 2000 (FRA 2000) Main report. FAO Forestry Paper 139. FAO. Rome. In press.

- Killmann, W. and L. T. Hong. 2000. El caucho: el éxito de un subproducto agrícola. *Unasyuva* 51 (201):66-72.
- Ladrach, W. E. 1978. Volume, green weight and dry weight tables for *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis*. Investigación Forestal Colombia 30. 16 p.
- Malaysian Ministry of Primary Industries. 1993. Statistics on commodities. Kuala Lumpur, Malaysia. 12 p.
- Méndez G., J. 2001. Ecuaciones de biomasa para especies de matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Datos con aplicaciones para inventarios de biomasa. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 60 p.
- Nájera J., A. 1999. Ecuaciones para estimar biomasa, volumen, crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 93 p.
- Návar Ch., J. de J., P. A. Domínguez C., J. C. Contreras A. y C. Estrada M., 1997. Ajuste de siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus hartwegii* Lindl., del Nordeste de México. *Agrociencia* 31 (1):73-81.
- Návar Ch., J. J., N. González B., J. J. Graciano L., V. Dale and B. Parresol. 2004a. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 10(2):17-28.
- Návar Ch., J. J., E. Méndez G., E. Graciano L., J. V. Dale and B. Parresol. 2004b. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. en *Journal of Arid Environments*. En prensa.
- Palm, R. 1981. Computation and choice of tree volume equations. *Bulletin-des-Recherches-Agronomiques-de-Gembloux* 16(4): 351-370.
- Parresol, B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45 (4): 573-593.
- Pece, M. G., C. Gaillard de Benítez y N. Ríos. 1997. Tabla de volumen para quebracho colorado santiaguense (*Schinopsis quebracho*) utilizando el método de mínimos cuadrados ponderados, *Quebracho* 5: 41-50. Argentina.
- Reed, D. and E. Green J. 1985. A method of forcing additivity of biomass tables when using nonlinear models. *Can. J. For. Res.* 15: 1184-1187.
- Rose, Ch. E. and T. Linch B. 2001. Estimating parameters for tree basal area growth with a system of equations and seemingly unrelated regressions. *Forest Ecology and Management* 148:51-61.
- Rey, M., E. Andenmatten y F. Letourneau. 1995. Tarifa de volumen para pino de Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la región andina de las provincias de Río Negro y Chubut. *Actas IV Jornadas Forestales Patagónicas*. San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina: 306-311.

- Statistical Analysis System (SAS). 1999. User's Guide. Cary, NC. 584. p.
- Schreuder, H. T. and M. Williams S. 1998. Weighted linear regression using D^2h and D^2 as the independent variables. Research Paper. Rocky Mountain Research Station. USDA Forest Service. Fort Collins, CO. RMRS-RP:6. 10 p.
- Schumacher, F. X. and E. Hall S. 1933. Logarithmic expression of tree volume. *Journal of Agricultural Research* 47(9): 719-734.
- Ser, C. S. 1990. Rubberwood resource in ASEAN and the potential for its wider utilization. *In*: L. T. Hong, K. S. Ho, W. C. Wong, M. D. Jantan, M. A. Mazimizing value-added rubberwood products. Proceedings of the International Rubberwood Seminar, Forest Research Institute Malaysia. Kuala Lumpur, 21-22 may 1990. Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 27-39.
- Spurr, S. H. 1952. *Forest Inventory*. The Ronald Press Co. New York, NY. 476 p.
- Yuancai, L., C. Marques P. and J. Bento M. 2001. Simultaneous modeling of stand volume yield, dominant height and basal area growth models. *Journal of Forest Science* 47 (7):285-293.
- Zepeda B., M., S. Veruete B. y S. Esparza P. 1994. Ecuaciones para estimar volumen fuste total, rollo total árbol, ramaje y coeficientes mórficos de tres especies de pino del noreste de Chihuahua. Serie de apoyo académico No. 49. División de Ciencias Forestales. U.A.Ch. Texcoco, Méx. 14 p.

MODELADO BIOCLIMÁTICO COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO FORESTAL: ESTUDIO DE CUATRO ESPECIES DE *Pinus*

Oswaldo Téllez Valdés¹, Yolanda M. Chávez Huerta²,
Alberto Gómez-Tagle Chávez³ y Marcela V. Gutiérrez Garduño⁴

RESUMEN

En este estudio se incorpora información florística actualizada y un método de modelado bioclimático (BIOCLIM) para evaluar 19 parámetros climáticos y generar los patrones de distribución potencial de cuatro especies de *Pinus* de valor económico en México. Los modelos obtenidos reflejan la ubicación de los taxa como han sido registrados en la literatura. Sin embargo, la extensión de su disposición territorial puede estar en ocasiones sobrestimada. Los resultados destacan la importancia de tener datos climáticos con resolución espacial alta (1 km²), así como de conocer las características biológicas de las especies localizadas con precisión mediante coordenadas y altitud, ya que permiten establecer una correlación con aquellas variables que son relevantes para explicar las limitantes relacionadas con la distribución y productividad de especies vegetales de interés comercial. Se discuten las aplicaciones que este tipo de resultados pueda tener para definir el uso potencial de los bosques, el establecimiento de plantaciones forestales y la identificación de las variables climáticas asociadas con la ubicación geográfica de las especies y con una mejor producción de madera. Se concluye que el conocimiento preciso de los parámetros de clima que determinan la respuesta de las plantas, adquiere trascendencia para el diseño de estrategias, tanto para las de manejo y aprovechamiento de especies económicamente importantes, como para la conservación de los recursos naturales.

Fecha de recepción: 21 de agosto de 2003.

Fecha de aceptación: 29 de julio de 2005.

¹ Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM: Correo-e: tellez@servidor.unam.mx

² Campo Experimental Morelia, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.

³ Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁴ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP.

Palabras clave: Distribución, modelos, parámetros climáticos, perfiles bioclimáticos, pinos, reforestación.

ABSTRACT

A bioclimatic modelling approach (BIOCLIM) along with updated floristic information, is used to assess 19 climatic parameters and generate models of potential distribution of four economically relevant species of *Pinus* (Pinaceae) in Mexico. Models of potential distribution reflect the current distribution found in the literature; however, potential distribution can be sometimes overestimated. The results bring up the relevance of high resolution (1 km²) climatic surfaces as well as biological data precisely geocoded (latitude, longitude and elevation). These data sets support the establishment of a correlation between climatic and biological variables, that allow the understanding of the limiting factors which are related to the distribution and productivity of plants. The application of this type of results related to the spatial distribution of potential forest landuse, plantation establishment and climatic controls associated to species distribution and better timber production is discussed. Precise knowledge of climatic variables or parameters, which determine the biologic response, is relevant to management strategies designed for economically relevant species, as well as natural resources preservation.

Key words: Distribution, models, bioclimatic profiles, climatic parameters, pines, reforestation.

INTRODUCCIÓN

La extensión territorial de México es de alrededor de 195.8 millones de ha, de las cuales 73.3% (143.6 millones de ha) tiene vocación forestal; en la actualidad sólo 19.9% está arbolada, y de ellas 14.1% corresponden a bosque mixto de coníferas y latifoliadas (Villarreal *et al.*, 1993). No obstante que es el país con mayor riqueza de especies del género *Pinus* en el mundo (Farjon *et al.*, 1997), poco se sabe acerca de sus 47 taxa (40% del total mundial) como recursos forestales. Paradójicamente, 80% de los productos a escala nacional, entre las que destacan la madera, resina, papel, los recursos escénicos, servicios ambientales y recreativos, proceden de los bosques en donde los pinos son dominantes (Eguiluz, 1977; Farjon *et al.*, 1997).

Diversos autores concuerdan en que las variables climáticas y topográficas determinan en gran medida la distribución del género *Pinus* en el territorio nacional (Martínez, 1953; SAG y FAO, 1962; Perry, 1991). De las 32 entidades de la República, sólo en Campeche, Tabasco y Yucatán, no existen registros de *Pinus*, mientras que en los estados restantes, el número varía de una especie en

Quintana Roo, hasta 18 en Jalisco (Farjon y Styles, 1997). Su distribución ocurre entre 15°00' y 32°05' de latitud norte, 89°00' y 118°10' de longitud oeste, a una altitud que varía de 50 a 4000 m de altitud (Eguiluz, 1982; Farjon y Styles, 1997; Farjon, Pérez de la Rosa y Styles, 1997).

Los recursos forestales proporcionan múltiples satisfactores al hombre; sin embargo, han sido concebidos como fuentes inagotables, de manera que al disminuir o agotarse en una región, las comunidades humanas cambian de lugar, lo que favorece el proceso de explotación en otro sitio, lo cual ha sido una de las causas principales del deterioro vigente en los ecosistemas (Villarreal *et al.*, 1993). Una de las medidas que se han adoptado para contrarrestarlo o revertirlo es la reforestación. Sin embargo, no existen datos acerca de los requerimientos ambientales de las especies potencialmente importantes para ser usadas con este fin, salvo algunas excepciones.

Al respecto, Eguiluz (1977) ha descrito la relación entre la altitud y la distribución de las especies de pinos. El mismo investigador (1982) asoció la presencia de estas coníferas con las latitudes y longitudes mínimas y máximas, así como con algunos factores ambientales, como el tipo de clima, el gradiente térmico, las temperaturas mínima y máxima y la precipitación. En la última década del siglo XX algunos autores han discutido acerca de la utilidad de determinadas variables climáticas, en especial los promedios mensuales, porque permiten definir la ubicación geográfica potencial de una planta, bajo el argumento de que los valores extremos asociados, por ejemplo las heladas o las sequías, tienen mayor importancia ya que limitan la funcionalidad fisiológica de la especie y, por ende, su distribución geográfica (Lindenmayer *et al.*, 1994).

Para los taxos considerados en este estudio existen datos relativos a sus preferencias climáticas. Por ejemplo, Sánchez y Huguet (1959 citados en SAG-FAO, 1962), Vázquez *et al.* (1962), Verduzco *et al.* (1962) y Perry (1991) señalan que *Pinus arizonica* Engelm. ha sido registrada en sitios con una temperatura promedio anual entre 10 y 17°C, máxima absoluta de 38°C y mínima absoluta de -18°C, con una precipitación inferior a 1000 mm, (508 - 890 mm al año). Por otra parte, se ha documentado a *Pinus durangensis* Martínez en lugares con una temperatura promedio anual que oscila de 13 y 15°C, tolerante a las heladas, una precipitación que varía de 800 - 1200 mm al año. En el caso de *Pinus devoniana* Lindl., los autores previos y Loock (1950, en SAG-FAO, 1962) la ubican en áreas con una precipitación superior a 890 mm, pero con mayor frecuencia entre 1000 y 1700 mm por año, una temperatura promedio anual de 16 a 21°C; mientras que *Pinus pseudostrobus* Lindley, habita en sitios con 15 y 16°C de temperatura promedio anual, una precipitación de 890 - 1600 mm por año, en sitios con lloviznas y neblinas en invierno; además tolera heladas suaves.

Las especies de pino de uso maderable con mayor valor económico en México son: *Pinus engelmannii* Carr., *P. montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* Ehrenberg et Schldl., *P. durangensis* y *P. arizonica*. Por mayor frecuencia e importancia de su aprovechamiento y uso global, se pueden citar a: *Pinus arizonica*, *P. durangensis*, *P. pseudostrobus*, *P. patula* Schiede ex Schldl. et Cham., *P. montezumae*, *P. teocote* Schiede ex Schldl. et Cham. y *P. maximinoi* H. E. Moore (SFF, 1994).

Farjon y Styles (1997), quienes hacen una revisión detallada de los pinos mexicanos, señalan que los más sobresalientes desde el punto de vista productivo son: *Pinus patula*, *P. oocarpa* Schiede ex Schldl., *P. pseudostrobus*, *P. herrerae* Martínez, *P. leiophylla* Schiede & Deppe y *P. arizonica*. Como ejemplo, señalan que durante 1986 se produjeron 7.5 millones de metros cúbicos de madera de diversas especies.

De acuerdo con lo anterior, el presente estudio pretende cumplir con los siguientes objetivos: (1) usar la información taxonómica y fitogeográfica actual disponible de cuatro especies de *Pinus* y 19 diferentes parámetros bioclimáticos, para generar perfiles cualitativos de este tipo y los modelos de distribución potencial de especies económicamente relevantes y (2) discutir algunas aplicaciones en donde los resultados obtenidos pueden ser útiles, en particular en el desarrollo de estrategias para el manejo forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las cuatro especies seleccionadas fueron: *Pinus arizonica*, *P. devoniana*, *P. durangensis* y *P. pseudostrobus*, lo que obedece a que ellas destacan entre las más cotizadas para la producción de madera, resina y pulpa para la fabricación de papel; para efectos de reforestación y el establecimiento de plantaciones forestales con diferentes fines constituyen opciones interesantes.

La información relacionada con su distribución geográfica fue tomada de las bases de datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de la Red Mexicana de Información Biótica (REMIB) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Los registros de las cuatro especies con sus localidades georreferenciadas se tomaron de dichas fuentes. Entre 33 y 124 de ellos por taxón fueron usados para elaborar los modelos; en forma general, cubren tanto el intervalo geográfico de los taxa, como el altitudinal conocido. Los nombres científicos y los descriptores corresponden a la nomenclatura de Farjon *et al.* (1997).

El método bioclimático empleado es el del programa ANUCLIM (Houlder *et al.*, 2000), que se basa en superficies climáticas (en formato *raster*) interpoladas matemática y estadísticamente a partir de datos registrados en una red de

estaciones meteorológicas estándar. Los archivos digitales se generaron mediante el método "*thin plate smoothing spline*" del paquete ANUSPLIN (Hutchinson 1991, 1995a, 1995b, 1997, 1998; Hutchinson y Gessler, 1994). Esas superficies consideran valores mensuales promedio de precipitación y temperatura para periodos mayores de 15 años en más de 6200 estaciones meteorológicas, de las cuales 4000 incluyen los de temperatura y 6218 los de precipitación, todas del mismo conjunto de estaciones. Los errores promedio estimados para las áreas variaron de 8 a 13% para los valores mensuales de precipitación y alrededor de 0.4 y 0.5°C para los de temperatura, semejantes a los presentes en los instrumentos meteorológicos estándar.

BIOCLIM asocia los registros conocidos con sus coordenadas a las coberturas climáticas referidas, con lo que se genera un perfil con base en la acumulación de frecuencias de los valores de las celdas en que éstos ocurren, para cada uno de los 19 parámetros considerados (Cuadro 1) y son el fundamento para generar los perfiles bioclimáticos usados para elaborar los modelos de distribución potencial de las especies involucradas.

Se diseñó un perfil bioclimático para cada taxón seleccionado y por medio del principio de homoclima, se generaron los modelos, con el fin de definir sitios con climas semejantes. El método fue usado para identificar aquellos puntos en los archivos *raster*, en donde las condiciones climáticas fueran las que estuvieran dentro de los límites de los perfiles bioclimáticos de las especies (Booth *et al.*, 1987). Esta búsqueda homoclimática se condujo a todos los niveles posibles, por lo que se utilizaron cinco rangos porcentuales del perfil bioclimático: valores extremos mínimos y máximos (entre 0 y 100%) y menos extremos en el mismo (de 2.5 - 97.5%, 5 - 95%, 10 - 90% y de 25 a 75%). Lo anterior significa una reducción de los registros extremos hacia los más propicios para el establecimiento y desarrollo de los individuos y poblaciones; normalmente uno de tales intervalos coincide con el grueso de los datos usados para generar el modelo, que es interpretado como el intervalo "preferido" de la especie bajo análisis, aunque en los otros rangos pueda estar presente la especie.

La frecuencia acumulada de los puntos de distribución para cada parámetro bioclimático fue graficada e inspeccionada para detectar valores significativamente fuera de lo normal.

Los errores de georreferenciación se identificaron con el programa ArcView 3.2 y una evaluación más detallada de anomalías y errores potenciales en los perfiles bioclimáticos se hizo con el programa BIOCLIM (Houlder *et al.*, 2000). Cuando fue posible, dichas imprecisiones fueron corregidas con ayuda de las cartas de INEGI escala 1:50,000; algunos registros anómalos tuvieron que ser omitidos.

Las áreas de distribución susceptibles de ser ocupadas por las cuatro

Cuadro 1. Parámetros utilizados en el modelado bioclimático (BIOCLIM).

No.	Parámetros
1	Temperatura promedio anual
2	Oscilación diurna de la temperatura
3	Isotermalidad
4	Estacionalidad de la temperatura
5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido
6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío
7	Oscilación anual de la temperatura
8	Temperatura promedio del trimestre más lluvioso
9	Temperatura promedio del trimestre más seco
10	Temperatura promedio del trimestre más cálido
11	Temperatura promedio del trimestre más frío
12	Precipitación anual
13	Precipitación del periodo más lluvioso
14	Precipitación del periodo más seco
15	Estacionalidad de la precipitación
16	Precipitación del trimestre más lluvioso
17	Precipitación del trimestre más seco
18	Precipitación del trimestre más cálido
19	Precipitación del trimestre más frío

especies fueron mapeadas (figuras 1 a 4) y para cada uno de los taxa se produjo un archivo en formato ARCINFO ASCII GRID, con ayuda del programa BIOMAP del paquete ANUCLIM y el Modelo Digital de Elevación (MDE). La cartografía digital a la resolución deseada se generó con el modelo digital de elevación con 30 segundos (0.0083° o aproximadamente 1 km^2) de resolución espacial. La superficie cubierta por los ambientes climáticos adecuados en donde actualmente prosperan las especies y la distribución potencial por taxón fue calculado con ayuda del programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000).

RESULTADOS

Se obtuvieron los valores climáticos para cada uno de los 19 parámetros bioclimáticos del perfil por especie (cuadros 2, 3, 4 y 5); se presentan los diferentes intervalos en los que fue fraccionado y que facilitan la explicación de las distintas posibilidades de predicción del modelo, ya que están relacionados con su representación gráfica en la cartografía digital, lo que permite mostrar de manera gráfica los lugares en donde estas condiciones ambientales ocurren.

Las áreas de distribución conocida de las especies consideradas en este estudio, coinciden con los modelos de distribución potencial generados (figuras 1 a 4).

En el caso de *Pinus arizonica* (Cuadro 2), se cuenta con registros documentados a través de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua y el sur de Durango; además de colectas dispersas en Coahuila, Zacatecas, sur de Nuevo León y occidente de Tamaulipas. Una parte importante del modelo de distribución potencial obtenido coincide con todas aquellas áreas en donde existen datos de ubicación actual (Figura 1). Sin embargo, la superficie se extiende a porciones menos montañosas o bajas dentro del Altiplano Mexicano, en Coahuila y Chihuahua hasta muy al sur, en Aguascalientes, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato e incluso Hidalgo, zonas en las que básicamente se tienen los valores mínimos y/o máximos del perfil bioclimático de la especie.

P. devoniana está presente en una amplia extensión de México, cuenta con numerosos registros botánicos en el occidente del país, en estados como Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán y Guerrero. En el oriente, se ha recolectado en Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Puebla, así como en el centro en Zacatecas, Aguascalientes y Guanajuato; hacia el sur del país en el Estado de México, Distrito Federal, Tlaxcala y Morelos, penetrando en Oaxaca y Chiapas, e incluso hasta Guatemala. El modelo obtenido coincide con casi todas las localidades en las se ha consignado *P. devoniana* (Figura 2 y Cuadro 3).

Cuadro 2. Valores de los componentes del perfil bioclimático para la especie *Pinus arizonica*.

Parámetros bioclimáticos	Intervalos				
	Mínimo - máximo	2.5-97.5%	5-95%	10-90%	25-75%
1	8.7-18.8(12.5±2.84)	9.1-18.7	9.4-18.4	9.8-17.8	10.5-13.7
2	13.3-19.5(17±1.32)	14.1-19.5	14.5-18.7	15.2-18.4	16-18
3	0.47-0.73(0.57±0.05)	0.48-0.73	0.49-0.67	0.50-0.64	0.54-0.61
4	0.81-2.27(1.52±0.33)	0.89-2.27	0.96-2.12	1.13-2.01	1.30-1.77
5	22.7-34.2(27.3±2.86)	23.1-34.1	23.5-33.7	24.1-31.9	25.2-29.6
6	-5.9-4.4(-2.4±2.97)	-5.7-4.4	-5.6-4.2	-5.3-3.5	-4.6-0.5
7	23.3-36.1(29.7±3.04)	24-36.1	24.6-35.4	26.1-34.2	27.3-31.9
8	12.6-24(17.4±2.85)	13.5-23.9	13.9-23.5	14.4-22.6	15.4-18.8
9	7.6-14.9(10.9±1.83)	8.2-14.9	8.6-14.7	9.1-14.3	9.5-11.7
10	12.8-25.2(17.8±3.1)	13.8-25.2	14.2-24.8	14.6-23.5	15.6-19.3
11	3.10-14(7±2.74)	3.3-13.5	3.6-12.7	4.2-12.1	5.4-8.5
12	280-1236(741±235)	328-1236	375-1188	433-1076	555-917
13	13-74(45±16.75)	16-74	19-73	21-69	28-57
14	0	0	0	0	0
15	51-118(87±14.76)	53-118	56-114	72-108	78-99
16	152-728(437±154)	169-719	186-690	216-642	296-562
17	0-69(44±15.76)	3-69	5-67	30-63	38-54
18	122-697(395±152)	140-688	157-659	186-601	252-513
19	28-200(100±47)	31-197	34-189	39-176	62-139

Cuadro 3. Valores de los componentes del perfil bioclimático para la especie *Pinus devoniana*.

Parámetros bioclimáticos	Intervalos				
	Mínimo - máximo	2.5-97.5%	5-95%	10-90%	25-75%
1	9.7-23.8(18.2±3.4)	10.9-23.8	12.8-23.6	13.6-23.2	16.9-20.5
2	10.2-18.1(13.9±1.81)	10.8-18.1	11.5-18.1	12-17	12.7-15
3	0.60-0.73(0.66±0.04)	0.60-0.73	0.61-0.73	0.61-0.72	0.63-0.70
4	0.30-1.21(0.62±0.21)	0.37-1.21	0.39-1.21	0.41-1.01	0.45-0.77
5	22.1-37.4(28.8±3.82)	22.5-37.4	22.9-36.4	23.8-34.2	26.1-32.1
6	-4.9-15.2(7.6±4.11)	-3.2-15.2	1.8-15.2	3.3-14.2	5-10.7
7	15.5-29.4(21.2±3.33)	15.9-29.4	16.3-29.4	18.4-26.4	19.1-23.6
8	13.3-25.1(19.3±3.15)	13.8-25.1	14.3-25.1	14.9-23.7	17-22
9	8.5-24.3(17.5±3.97)	9.8-24.3	11.2-24.1	12.4-23.7	14.6-20
10	13.9-26.3(20.4±3.4)	14.5-26.3	15-26.1	15.7-25.6	17.9-23.2
11	5.5-22.2(15.8±3.67)	6.9-22.2	10-21.9	11.3-21.2	14-18.3
12	400-2071(1058±315.01)	542-2071	596-2071	667-1379	880-1294
13	19-85(58±15.33)	25-85	28-83	40-77	50-69
14	0	0	0	0	0
15	64-116(96±12.62)	69-116	73-116	77-114	91-107
16	198-937(614±171.42)	261-937	298-937	361-828	516-746
17	0-168(28±33.01)	1-168	2-168	4-61	11-44
18	140-695(310±117.04)	152-695	164-656	187-466	237-383
19	17-249(56±48.12)	18-249	20-233	23-124	32-61

Cuadro 4. Valores de los componentes del perfil bioclimático para la especie *Pinus durangensis*.

Parámetros bioclimáticos	Intervalos				
	Minimo - máximo	2.5-97.5%	5-95%	10-90%	25-75%
1	8.8-22.8(12.9±3.42)	9-22.8	9.1-22.3	9.4-18.1	10.3-15.5
2	13.8-18.4(16.8±1.25)	14-18.4	14.4-18.3	15-18.2	16-17.8
3	0.52-0.66(0.60±0.04)	0.52-0.66	0.52-0.66	0.53-0.65	0.59-0.63
4	0.68-1.96(1.32±0.31)	0.81-1.96	0.84-1.94	0.90-1.81	1.17-1.46
5	22.5-37.4(26.7±3.34)	22.7-37.2	22.8-35.4	23.1-31.1	24.1-28.6
6	-6.1-10.9(-1.4±4.21)	-5.9-10.6	-5.8-8.9	-5.5-5.5	-4.5-1.4
7	21.9-33.8(28.1±3.09)	22.4-33.8	22.8-33.4	23.6-32.7	25.9-30.6
8	13-24.9(17±2.69)	13.3-24.9	13.6-24.4	14.2-21.7	15.2-18.5
9	7.3-23.6(12.1±3.76)	7.6-23.5	7.8-22.5	8.4-17.6	9.4-14.3
10	13.2-26.3(17.4±2.93)	13.4-26.1	13.7-24.5	14.1-22.6	15.4-18.9
11	3.5-18.6(8.1±3.9)	3.8-18.6	4-18.1	4.5-15	5.5-10.7
12	412-1270(933±251.8)	463-1269	508-1259	575-1239	750-1177
13	20-76(57±14.35)	23-76	33-75	39-74	49-70
14	0	0	0	0	0
15	79-115(92±10.01)	79-115	80-111	81-107	85-101
16	204-748(562±143.35)	236-748	323-746	375-733	459-695
17	0-66(41±20.71)	1-66	2-65	4-63	31-57
18	149-708(481±160.13)	182-708	212-705	255-689	359-638
19	29-242(134±58.76)	34-241	39-235	49-223	90-176

Cuadro 5: Valores de los componentes del perfil bioclimático para la especie *Pinus pseudostrobus*.

Parámetros bioclimáticos	Intervalos				
	Mínimo - máximo	2.5-97.5%	5-95%	10-90%	25-75%
1	6-23.3(15.8±3.33)	9.8-22.7	10.7-21.8	11.7-20.3	13.5-18.3
2	8.1-19.8(13.7±2.35)	8.8-19.2	10-17.9	10.8-16.8	12-15.5
3	0.51-0.76(0.65±0.05)	0.56-0.76	0.57-0.73	0.59-0.72	0.62-0.68
4	0.25-1.84(0.65±0.23)	0.31-1.44	0.37-1.04	0.43-0.96	0.51-0.71
5	11.7-33.8(26.1±4.08)	18.8-33.6	20.2-33.1	21.1-32	23-29.6
6	-4.1-13.9(5.1±3.4)	-0.2-13.5	0.60-12.6	1.5-10	2.5-7.2
7	11.8-31.4(21±3.34)	15.7-28.8	16.1-27.1	17-25.4	18.6-23.4
8	6.1-24.2(16.9±3.51)	10.7-23.8	11.8-23.1	12.4-22	14.4-19.7
9	5-23.3(14.1±3.49)	8.8-22.9	9.2-21.7	10-18.5	11.4-16.6
10	7.1-25.4(17.9±3.55)	11.4-25	12.7-24.4	13.4-23.2	15.5-20.5
11	4.3-21.5(13.2±3.21)	7-20.9	8.7-20	9.8-17.5	11.2-15.1
12	400-2279(1070±369.69)	483-2084	566-1890	634-1608	793-1270
13	19-105(55±17.95)	23-94	27-87	31-80	44-68
14	0-12(0±2.22)	0-11	0-1	0-1	0-1
15	50-108(87±12.59)	63-107	65-106	70-103	77-98
16	198-1207(583±202.99)	233-1050	267-931	316-826	422-740
17	0-234(51±44.4)	4-179	7-159	15-113	29-67
18	144-743(316±107.81)	170-650	197-579	213-467	243-362
19	11-336(65±50.26)	13-201	15-187	19-146	31-75

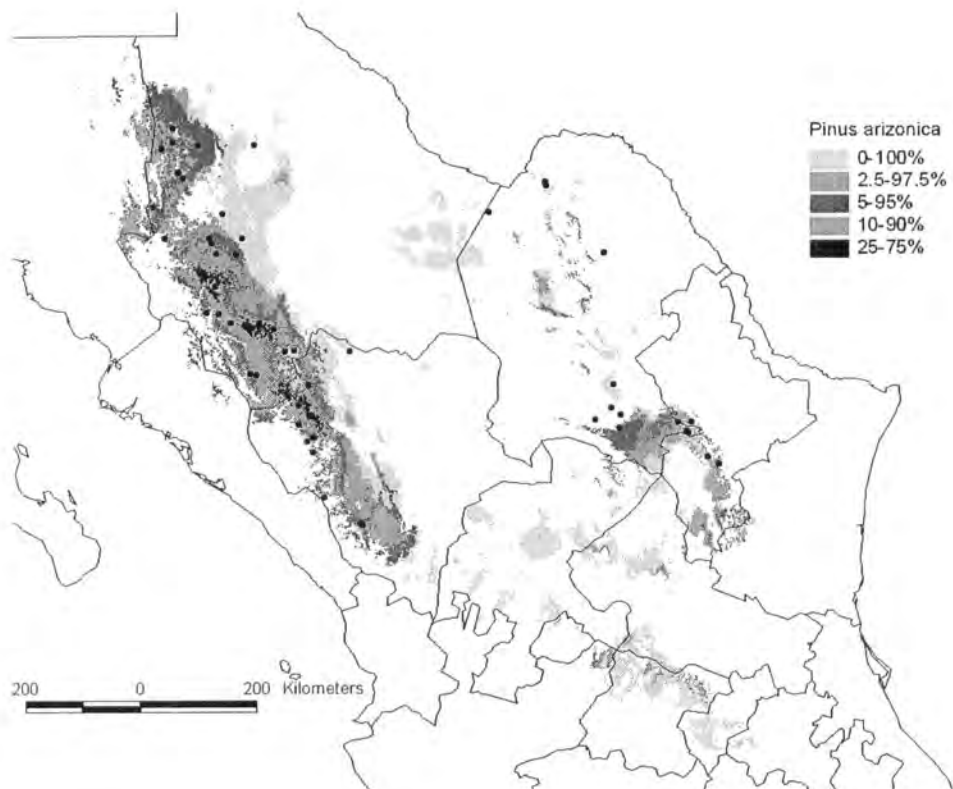


Figura 1. Distribución conocida (puntos) y potencial (áreas sombreadas) de *Pinus arizonica* en México.

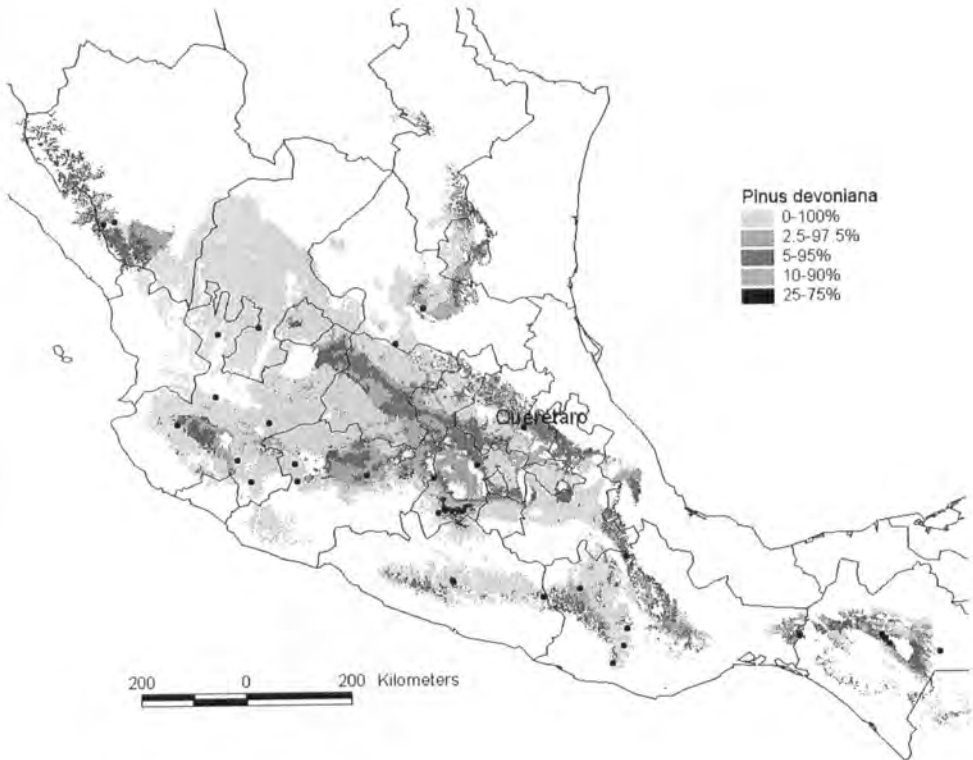


Figura 2. Distribución conocida (puntos) y potencial (áreas sombreadas) de *Pinus devoniana* en México.

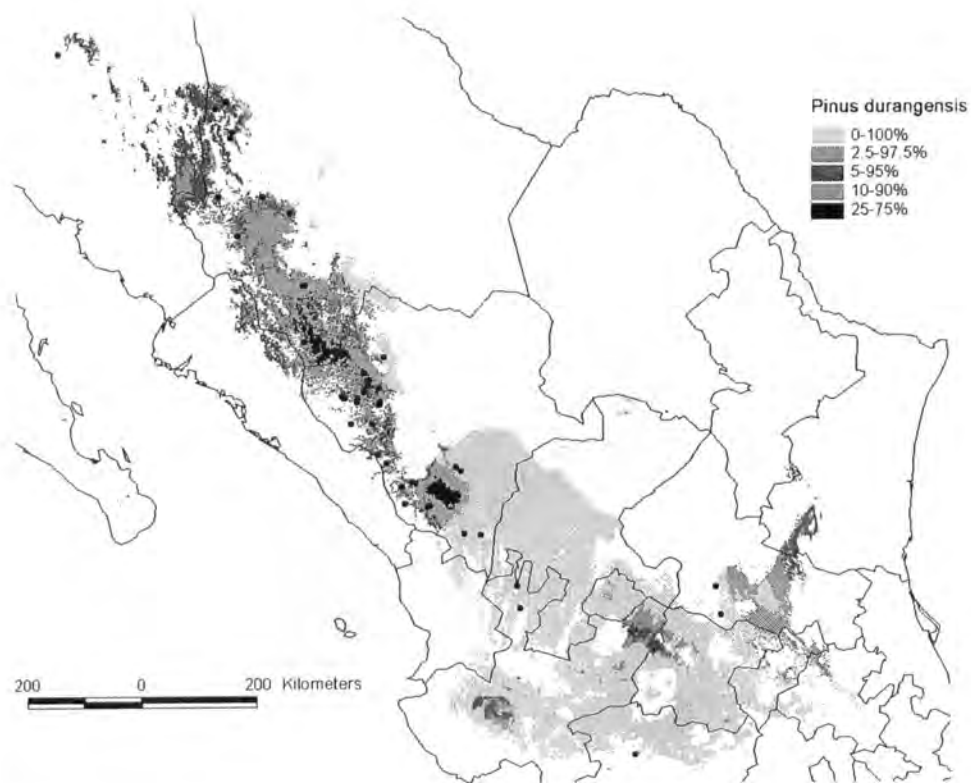


Figura 3. Distribución conocida (puntos) y potencial (áreas sombreadas) de *Pinus durangensis* en México.

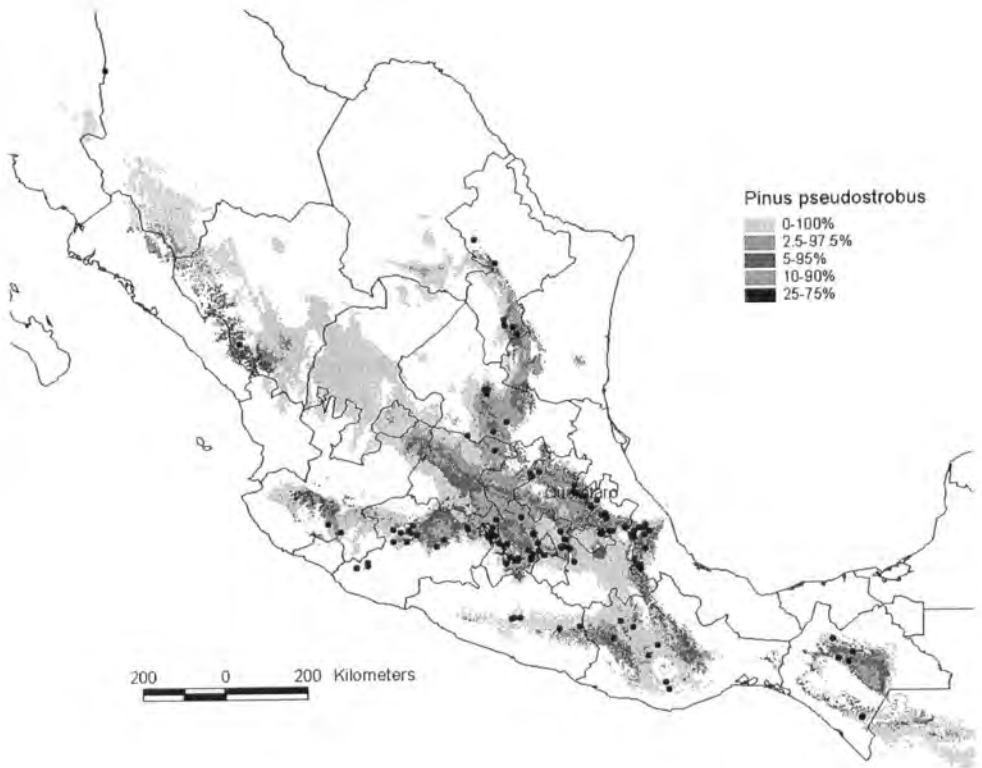


Figura 4. Distribución conocida (puntos) y potencial (áreas sombreadas) de *Pinus pseudostrabus* en México.

P. durangensis se restringe a la Sierra Madre Occidental, es raro encontrarla en el oriente de Sonora y occidente de Chihuahua; por el contrario, es común en Durango, Zacatecas y norte de Jalisco, con poblaciones dispersas y escasas en el sur de esta última entidad y en el norte de Michoacán. El modelo generado concuerda con las áreas registradas en los ejemplares de herbario (Cuadro 4). Sin embargo, la distribución potencial parece estar sobreestimada, hacia partes de Aguascalientes, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí e incluso Hidalgo (Figura 3).

P. pseudostrobus se localiza en el Eje Neovolcánico y en territorios aledaños; así, está presente en los estados como Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Se extiende hacia el norte, tanto por la Sierra Madre Occidental en Sinaloa, Durango y Chihuahua, como en la Sierra Madre Oriental en Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León. Al sur en la Sierra Madre del Sur en Guerrero, Oaxaca y en la Sierra Madre de Chiapas, e inclusive llega hasta El Salvador en Centroamérica. En este caso, el modelo de distribución potencial también corresponde en su totalidad con la información conocida (Figura 4 y Cuadro 5).

Con base en la distribución geográfica del perfil bioclimático correspondiente a cada especie, se obtuvo su área potencial (Cuadro 6)

Cuadro 6. Área potencial ocupada por las especies de pino estudiadas con respecto a los porcentajes de las condiciones climáticas (km²)

Especies	intervalos porcentuales					Superficie total
	0-100%	2.5-97.5%	5-95%	10-90%	25-75%	
<i>Pinus arizonica</i>	82,036	40,882	37,668	38,784	3,795	203,165
<i>P. devoniana</i>	278,371	61,560	68,545	33,158	1,347	443,071
<i>P. durangensis</i>	185,376	33,720	30,732	37,423	6,424	293,675
<i>P. pseudostrobus</i>	312,842	92,310	70,613	43,814	3,194	522,773

DISCUSIÓN

Uno de los aspectos más relevantes de este estudio es el relacionado con la confiabilidad de los datos y de las herramientas técnicas utilizadas. La fortaleza y

certeza del método de interpolación y de la cartografía climática digital misma han sido comprobadas de forma exitosa al compararlas con otros procedimientos; en la actualidad son los más reconocidos y efectivos (Price *et al.*, 2000). Las coberturas usadas han sido generadas de modo semejante a las otros países como Australia, Canadá (Price *et al.*, 2000), Nueva Guinea (Nix *et al.*, 1992) y los del Continente Africano (Hutchinson *et al.*, 1995, 1996). Existen dudas acerca de la seguridad de los modelos obtenidos por BIOCLIM, programa que se fundamenta en registros conocidos y georreferenciados con respecto a la cartografía digital ya señalada, que por medio de una asociación simple y la acumulación de frecuencias, calcula los parámetros para cada sitio, lo que permite elaborar tanto los perfiles, como los modelos. En ambos casos, todas las superficies referidas e incluso las aquí usadas para México, han sido sometidas a numerosas pruebas de confiabilidad. Hasta el momento, diversas comparaciones han demostrado gran coincidencia entre las coberturas de temperatura máxima, mínima y precipitación mensual con los parámetros bioclimáticos y la cartografía impresa y digital actual. Sin embargo, las coberturas *raster* muestran la variación celda tras celda, a diferencia de las vectoriales que sólo representan clases en polígonos con cambios cualitativos.

Es importante señalar que debido a la complejidad de los sistemas naturales ha sido difícil modelar la distribución geográfica de las especies de manera inobjetable (Anderson *et al.*, 2003; Pearson y Dawson, 2003). Las limitantes principales se relacionan con la incapacidad de estos procedimientos para explicar las interacciones bióticas, el cambio evolutivo y la dispersión, que son necesarios para manejar el concepto de nicho; lo anterior propicia que los errores en la predicción sean inevitables, independientemente del método utilizado. Así los modelos de distribución potencial tienden a incurrir en sobreestimaciones (Peterson, 2001).

Los modelos bioclimáticos también incluyen errores de omisión al no considerar el espacio que el nicho debe estar ocupando, o bien de comisión al aceptar una superficie que en realidad no llena o no debe llenar (Peterson y Vieglais 2001; Anderson *et al.*, 2003). Todos los algoritmos usados para modelar el nicho ecológico, involucran al menos una combinación específica de ambos tipos de errores. No obstante, los modelos bioclimáticos proporcionan un punto de partida útil para predecir la distribución, tanto para distintos grupos biológicos, como a diferentes escalas de trabajo (Peterson y Vieglais, 2001).

En el presente trabajo se sugiere que los datos intrínsecos de las coberturas climáticas empleadas, asociados con los de distribución de especies con valor económico, pueden ser de gran utilidad.

El punto central a discutir es la posibilidad de correlación de las variables o parámetros climáticos respecto a la distribución conocida de las cuatro especies; ésto ha permitido establecer de manera precisa los perfiles cuantitativos de cada

una de ellas, y sobre todo, la distribución espacial de las condiciones descritas por sus perfiles dentro del territorio nacional de manera gráfica por medio de cartografía digital.

Por lo anterior, es innegable la importancia de incluir el mayor conocimiento biológico disponible, además de ejercicios de modelado bioclimático como los que se presentan en este trabajo, a fin de contar con los datos para delimitar la distribución de especies de valor económico, así como los cuantitativos correspondientes a las variables climáticas de los sitios en donde cada taxa puede prosperar. Al respecto, las bases de datos utilizadas y la generación de observaciones climáticas a una resolución espacial relativamente alta, han demostrado ser invaluable para aplicarlas en estudios forestales.

La información cartográfica y de los perfiles cuantitativos es de gran relevancia, ya que permite reconocer las condiciones más favorables para el desarrollo de los individuos y poblaciones de las especies; detalla en dónde podrían darse esas características climáticas para una mejor producción maderera, o bien para establecer plantaciones forestales.

En la literatura existen numerosos estudios de investigación básica y aplicada, relacionados con el uso de los modelos para predecir la extensión geográfica de las especies; proponer acciones de conservación, revisar los efectos del cambio climático (Téllez y Dávila, 2003); para plantaciones tanto con especies nativas como exóticas (Booth, 1996; Fryer, 1996; Nghia, 1996; Samounry y Applegate, 1996) y programas de reforestación o el establecimiento de viveros especializados, entre otros, han confirmado su fortaleza y confiabilidad. Específicamente, en el caso de la restauración mediante la incorporación de plantas, es posible identificar con aquellas áreas que son susceptibles de ser reforestadas.

Otras aplicaciones de interés económico incluyen por ejemplo, la definición de las zonas de procedencia de semilla o propágulos vegetativos importantes comercialmente (Lindenmayer *et al.*, 1994). Así mismo, estos conceptos, métodos y herramientas han sido empleados para generar modelos del comportamiento y productividad de posibles plantaciones forestales con fines comerciales en Tasmania (Nix *et al.*, 1992), en el cual se correlaciona la producción en términos de volumen con diversas variables ambientales.

De manera tradicional sólo ha sido factible asociar la temperatura promedio anual, con la precipitación anual y alguna otra variable como las temperaturas absolutas con la distribución de las especies de *Pinus* (Eguiluz 1977), también se ha intentado correlacionarlas con la producción maderable (Eguiluz 1982). En el presente estudio las diferencias entre los datos publicados (Martínez, 1953; Perry, 1991) y los obtenidos resultaron muy contrastantes. Los valores de los 19 parámetros varían incluso, en varios grados y en centenas de milímetros de

precipitación. Los valores derivados de la investigación pudieran predecir la distribución espacial potencial de los sitios que ofrecieran una alta productividad, de manera cuantitativa y precisa, a partir de la resolución espacial a la que fue realizado este trabajo. Esta última sería una de las ventajas más convenientes para el aprovechamiento forestal, o para el establecimiento de plantaciones.

Además, debido a que existen otras aplicaciones más relacionadas con campos como la biogeografía (Nix, 1986), la ecología y la conservación (Lindenmayer *et al.*, 1991), este tipo de modelos hacen posible proponer estrategias útiles para la diversidad biológica en el contexto del desarrollo sostenible, al definir sitios viables para plantaciones, o zonas con gran riqueza de recursos para recomendarlas como áreas naturales protegidas.

De igual forma, es importante destacar que dichos métodos son valiosos desde el punto de vista del cambio climático global. Así, los pocos estudios sobre el particular están enfocados a especies silvestres con fines de conservación. Téllez y Dávila (2003) mencionan los posibles efectos de ese fenómeno ambiental sobre los patrones de distribución de cactáceas.

Con lo anterior, surge la necesidad de cambiar hacia estrategias de planificación y desarrollo de formas nuevas, flexibles y dinámicas de manejo a largo plazo de los recursos vegetales (Lindenmayer *et al.*, 1991). En esencia, se requiere de la generación de conocimiento que fomente programas, que a su vez, faciliten a los tomadores de decisiones conciliar las eternas diferencias entre la conservación y el desarrollo.

Por último, el presente estudio demuestra que los análisis bioclimáticos a una resolución espacial (1 km^2) son promisorios y muy útiles en investigaciones básicas aplicadas particulares. Pueden servir para identificar áreas específicas y con gran potencial para el aprovechamiento racional de especies maderables y establecimiento de plantaciones, para así asegurar la sobrevivencia presente y futura de estos recursos naturales en el territorio nacional.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten reconocer los patrones de distribución potencial de las especies silvestres bajo estudio y las áreas geográficas, así como la cuantificación de las características climáticas de los sitios (perfiles bioclimáticos) en donde prosperan o podrían desarrollarse, e incluso, para determinar la distribución del uso potencial forestal del país en términos de comunidades, géneros o especies.

REFERENCIAS

- Anderson R. P., D. Lew and A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological modelling*. 162:211-232.
- Booth, T. H., Henry A. Nix, M. F. Hutchinson and J. R. Busby. 1987. Grid matching: a new method for homocline analysis. *Agricultural and Forest Meteorology* 39:241-255.
- Booth, T. H. 1996. The development of climatic mapping programs and climatic mapping in Australia. *In*: T. H. Booth (Ed.). Proceedings of the International Workshop. Matching Trees and Sites. Bangkok, Thailand. March 27-30, 1995. Australian Centre for International Agricultural Research Proceedings 63:38-42.
- Eguiluz P., T. 1977. Los pinos del mundo. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. Publicación especial No. 1. 75 p.
- Eguiluz P., T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Revista Ciencia Forestal* 38(7):30-44.
- Environmental Scientific Research Institute (ESRI). 2000. ArcView 3.2. ESRI. Redlands, CA. USA.
- Farjon, A. and B. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monographs*. 75:1-291.
- Farjon, A., J. Pérez de la Rosa and B. Styles. 1997. A field guide to the pines of México and Central America. The Royal Botanical Gardens. Kew, Richmond. UK. 151 p.
- Fryer, J. H. 1996. Climatic mapping for *Eucalyptus* in Central America. *In*: Proceedings of the International Workshop. Matching Trees and Sites. T. H. Booth (Ed.). Bangkok, Thailand. March 27-30, 1995. Australian Centre for International Agricultural Research Proceedings 63:50-55.
- Houlder, D. J., M. F. Hutchinson, H. A. Nix and J. P. McMahon. 2000. ANUCLIM 5.1 User guide. Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, Canberra, Australia. 73 p.
- Hutchinson, M. F. 1991. The application of thin-plate smoothing splines to continent-wide data assimilation. *In*: Jasper, J. D. (Ed.). BMRC Research Report Series, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia. pp. 104-113.
- Hutchinson, M. F. 1995a. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of Geographic Information Systems* 9:385-403.
- Hutchinson, M. F. 1995b. Stochastic space-time weather models from ground-based data. *Agricultural and Forest Meteorology* 73:237-264.
- Hutchinson, M. F. 1997. ANUSPLIN. Version 4.1. User guide, Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University. Canberra, Australia.

- Hutchinson, M. F. 1998. Interpolation of rainfall with thin plate smoothing splines: I. Two dimensional smoothing of data with short range correlation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2:152-167.
- Hutchinson, M. F. and P. E. Gessler. 1994. Splines – more than just a smooth interpolator. *Geoderma* 62:45-67.
- Hutchinson, M. F., H. A. Nix., J. P. McMahon and K. D. Ord. 1995. Africa – A topographic and climatic database, version 1.0. Centre for Resources and Environmental Studies, The Australian National University. Canberra, Australia.
- Hutchinson, M. F., H. A. Nix, J. P. McMahon and K. D. Ord. 1996. The development of a topographic and climatic database for Africa. *In: Proceedings of the Third International Conference/Workshop, NCQFA. University of California, Santa Barbara, CA. pp. 1-6.*
- Lindenmayer, D. B., H. A. Nix, J. P. McMahon, M. F. Hutchinson and M. T. Tanton. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modelling. *Journal of Biogeography* 18:371-383.
- Lindenmayer, D. B., B. G. Mackey and Nix, H. A. 1994. The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from southeastern Australia. *Australian Forestry* 59(2):74-89
- Martínez, M. 1953. Las pináceas mexicanas. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Recursos Forestales y Caza. México, D. F. 361 p.
- Nix, H. A. 1986. A Biogeographic analysis of Australian elapid snakes. *In: R. Longmore (Ed.). Atlas of the elapid snakes of Australia. Flora and Fauna* 7: 4-15.
- Nix, H. A., J. A. Stein and J. L. Stein. 1992. Developing an environmental geographic information system for Tasmania: An application for assessing the potential for hardwood plantation forestry. Consultancy report to the Land Resources Division and Bureau of Rural Resources Department of Primary Industries and Energy. Centre for Resources and Environmental Studies. The Australian National University. Canberra, Australia. 174 p.
- Nghia, N. H. 1996. Current methods and future needs for tree growth prediction in Vietnam. *In: T. H. Booth (Ed.). Proceedings of the International Workshop. Matching Trees and Sites. Bangkok, Thailand. March 27-30, 1995. Australian Centre for International Agricultural Research Proceedings* 63: 65-67.
- Pearson, R. G. and T. P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361-371.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland, OR. 231 p.

- Peterson, A. T. 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103:599-605.
- Peterson, A. T. and D. A. Vieglais. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience* 51:363-371.
- Price, A., D. W. McKenney, I. A. Nalder, M. F. Hutchinson and J. L. Kesteven. 2000. Comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology* 101:81-94.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1962. Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. SAG-FAO. México, D. F. 229 p.
- Samouny, X. and G. Applegate. 1996. Tree growth predictions to support forest plantation development in Laos PDR. *In: Proceedings of the International Workshop. Matching Trees and Sites*. T. H. Booth (Ed.). Bangkok, Thailand. March 27-30, 1995. Australian Centre for International Agricultural Research Proceedings 63:68-70.
- Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre (SFF). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D. F. 81 p.
- Téllez V., O. and P. Dávila A. 2003. Protected areas and climate change: a case study of the cacti in the Tehuacan-Cuicatlan biosphere reserve, Mexico. *Conservation Biology* 17(3):846-853.
- Vázquez S., J., W. Barret y E. Little. 1962. Botánica. *In: SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)*. 1962. Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. Capítulo II. pp. 12-76.
- Verduzco J., B., R. Füller, R. Morandini, Y. Favre y J. Mahuive. 1962. Ecología y silvicultura. *In: SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)*. 1962. Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. Capítulo III. pp. 77-107.
- Villarreal C., R., B. R. Medina y O. E. A. Hernández. 1993. Los recursos forestales de México y su utilización. *In: Memoria del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera*. 2ª Ed. INIFAP. Publicación especial 63. pp. 15-36.

NOTA TÉCNICA

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LICORES DE SOTOL (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) EN DURANGO, MÉXICO

Eduardo C. Olhagaray Rivera¹, Gerardo Esparza Chávez²
y Federico Vega Sotelo³

RESUMEN

En México hay una gran necesidad de hacer estudios económicos de los aprovechamientos forestales, donde se destaque el tipo de información conveniente para evaluar y elaborar proyectos de inversión que involucren a plantas de uso industrial. Esto es especialmente importante para algunos taxas de zonas áridas, como *Dasyliirion cedrosanum* o sotol, ya que constituye un recurso muy apreciado por la diversidad de productos y usos que de ella se derivan; en la actualidad se le considera una especie de prioridad nacional, entre otras razones por la protección a la denominación de origen que se le ha otorgado al mezcal que con él se produce, a los estados de Durango, Chihuahua y Coahuila. En 1998, se realizó una investigación en el ejido de Torrecillas, Municipio de Cuencame, en el estado de Durango, con el propósito de caracterizar y analizar los esquemas de industrialización del sotol para obtener licor. Se aplicaron entrevistas a los productores y "quemadores", además se hicieron visitas bimestrales a la unidad de producción. Los resultados describen los métodos para la extracción del recurso natural, su transformación mediante una rudimentaria industrialización y por último, su comercialización; se puntualizan los precios alcanzados según la calidad del producto, y se indica su distribución mercantil.

Palabras clave: Agua vino, aprovechamiento, comercialización, *Dasyliirion cedrosanum*, recolector, sotol.

Fecha de recepción: 24 de julio de 2002.

Fecha de aceptación: 25 de julio de 2005.

¹ Campo Experimental La Laguna, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. Correo-e: Olhagaray.eduardo@inifap.gob.mx

² Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Ciudad Lerdo, Dgo.

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, UL.

ABSTRACT

Facing the need to perform economic studies of forest exploitation is important in Mexico, the kind of information to assess and elaborate investment projects that involve species with industrial use must be known. This is specially important for some dry land Mexican species such as *Dasyliirion cedrosanum* or "sotol", as it is a highly appreciated resource that satisfies diverse demands. At present it is considered a national priority species, among other reasons, due to the protection of the origin naming of the liquor that it produces in the states of Durango, Chihuahua and Coahuila. In 1998, a study was made in the Torrecillas "ejido" that belongs to the municipio of Cuencame in the state of Durango, with the aim to describe and analyze the sotol industrialization schemes to produce wine-water. Interview techniques were used with producers and burners, as well as bimonthly visits to the production units. 30% of the vegetation can be cropped, a practice that is regularly made all year long, in a deficient way. Plants come from different parts; each one weighs from 12 to 15 kg. Results describe the mechanism followed to extract the resource, as well as its transformation through a very simple industrial process as well as the commercialization of the product; prices according to the quality of the liquor are included as well as their distribution market.

Key words: Wine water, exploitation, marketing, *Dasyliirion cedrosanum*, harvester, sotol.

INTRODUCCIÓN

El sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) es un producto forestal no maderable de gran importancia económica y social en las zonas áridas y semi-áridas de México; su aprovechamiento representa una fuente de empleo temporal para los habitantes de dichas regiones, un ejemplo es la Comarca Lagunera, donde la recolección de las especies locales es constante y en los últimos años se ha venido incrementando. Esta práctica ha sido tan intensa, que para el caso de *D. cedrosanum* hay algunas áreas del estado de Durango como: Cuencame, Nazas, Simón Bolívar, San Juan de Guadalupe, y Viesca en Coahuila donde prácticamente ya no existe, entre otras razones por su delicada forma de propagación (Sánchez, 1984) por lo que sus poblaciones silvestres están en grave riesgo de conservación (Olhagaray, 1994).

La pérdida de un recurso en esos ecosistemas incide de manera directa sobre los productores, pues de ellos extraen una variedad de productos. Así, del taxón de interés se obtiene el licor conocido igualmente como "sotol", que constituye un mezcal o aguardiente del que se ha logrado la certificación de su denominación de origen (IMPI, 2002), de alto valor en el mercado y muy apreciado

por su sabor característico, que es importante para los productores locales porque les representa una ocupación y un ingreso, aunque variable, así como una alternativa de subsistencia, puesto que el precio del licor no está sujeto al control de calidad, sino por la oferta y la demanda, lo que es común en los productos no maderables.

Derivado de lo anterior, se planteó el trabajo que se describe a continuación con el objetivo general de hacer una descripción del proceso de transformación del agua vino de sotol en Torrecillas, Dgo., y en particular, de su comercialización.

Dasyliirion cedrosanum se distribuye en localidades áridas; en particular, el lugar de estudio presenta un clima tipo BSohw(w) (SPP, 1981) que corresponde al más seco de los BS, con un cociente P/T < 22.9; semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 y 45°C, con precipitaciones de 90 a 200 mm/año, lluvia invernal < 5 mm (García, 1973). Se desarrolla sobre terrenos de origen calizo, someros y profundos; de origen ígneo, arenosos y arcillosos.

Ha sido descrita en términos botánicos como una planta de hojas verde pálido, de 1.5-2.1 cm de ancho por 75-120 cm de largo; espinas gruesas, más del 90% curvadas hacia la base. Fascículos estaminados con 5-7 ramas sobre un eje de 1.7-3 cm; fascículos pistilados con 6-8 ramas sobre un eje central de 7-8 cm de largo (Melgoza y Sierra, 2003).

Las asociaciones propias de los tipos de vegetación de los que forma parte son: el matorral crasirosulifolio espinoso (INEGI, sf) en el que destacan *Agave* spp., *Agave lecheguilla* Torr., *A. falcata* Engelm., *Hechtia glomerata* Zucc., *Fouquieria splendens* Engelm., *Opuntia rastrera* F.A.C. Weber, *Yucca* spp; además de gramíneas como: *Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths, *B. curtipendula* (Michx.) Torr., *Panicum halli* Vasey, *Muhlenbergia* spp. y *Tridens pulchellus* (Kunth) A. S. Hitch. En el izotal, están presentes *Yucca carnerosana* auct.non (Trel.) McKelvey, *Y. filifera* Chabaud, *Pharteniumm incanum* Kunth, *Jatropha dioica* Sessé ex. Cerv; así como otros taxa pertenecientes a la asociación citada anteriormente.

El sotol se utiliza como alimento para el ganado en las épocas de sequía, ya que es muy resistente a la falta de agua; debido a ésto, una gran cantidad de animales ha sido salvada durante dichos periodos críticos. Desde un punto de vista nutrimental, su calidad es comparable con el maíz ensilado, pues contiene 39.4% de mst, 2.20% de proteína cruda, 0.60% de grasa y 10.40% de fibra (De la Cruz, 1980).

Las cabezas de sotol o piñas para la obtención del mezcal se seleccionan por su peso, que debe ser de entre 10 y 12 kg; su extracción se realiza mediante corte con machete y se obtienen a razón de 600 ejemplares por mes (Olivas y Rivera, 1984; Olhagaray, 1994). De 1980 al año 2000, el número de ejidos

destinados a su aprovechamiento se ha incrementado; entre ellos destacan Santa Rosa, Comunidad de San Juan de Guadalupe, Nuevo Nazas, Graciano Sánchez y Torrecillas, en donde se dedican a esta actividad entre 15 y 20 productores.

En el estado de Durango se seleccionó al ejido de Torrecillas como representativo del área de distribución de *Dasyliirion cedrosanum*, en la que se puede apreciar una regeneración irregular de la especie, aseveración que habrá de confirmarse en trabajos posteriores. En el lugar, se llevó a cabo un recorrido preliminar para localizar la zona con la vegetación susceptible de aprovechamiento y para identificar algunas características económicas y sociales del entorno. Adicionalmente, para definir el tipo de propiedad de la "vinata", su productividad, y conocer el proceso de extracción, industrialización y comercialización del sotol, se aplicó el método de la entrevista abierta tanto a los productores como, algunos intermediarios de la cadena productiva. Así, la población encuestada consistió en 15 trabajadores involucrados en las actividades de extracción y de transformación: 10 recolectores y cinco "quemadores", todos establecidos en un campamento fijo; también se obtuvo información de acopiadores y comerciantes de la localidad.

Las entrevistas se hicieron con base en un cuestionario estructurado en tres secciones: la primera consistió en las labores de recolección de la planta de sotol; la segunda, al proceso de transformación y la tercera a la comercialización del mezcal.

El trabajo tuvo una duración de 20 meses, considerados desde febrero de 1997 a octubre de 1998; se llevó un registro bimestral de la información. El material reunido por el medio descrito fue analizado por comparación con respecto a datos disponibles en la literatura.

Localización

La vinata estudiada de *Dasyliirion cedrosanum* está ubicada en el Km 80 de la carretera Torreón-México al norte del municipio de Cuencame, en el estado de Durango. Sus coordenadas geográficas corresponden a 24°41' latitud norte y 103°43' longitud oeste (SPP, 1981); su altitud es de 1687 m.

Recolecta

La planta de sotol puede formar masas puras o integrarse al matorral. Los recolectores seleccionan individuos cuya altura varía entre 1.50 y 2.00 m, de tamaño variable, pero se prefiere aquellos que en conjunto ofrezcan cierta uniformidad. Se estima que se extrae un promedio de 20 a 35 piñas o cabezas por día en un recorrido que abarcan de 4 a 5 Km, lo que arroja una producción mensual de 600 piezas, equivalente a la capacidad productiva normal de una

vinata; el precio que se paga a los recolectores es de \$5.00 (US\$0.45, base 2005) por piña.

La vinata es de propiedad ejidal, misma que se renta a un particular que se denomina Gerente Ejecutivo, quien celebra un contrato anual con el ejido en el que se marca la superficie, la colindancia, y la exposición donde se ubica el aprovechamiento del sotol. La estratégica ubicación del ejido Torrecillas permite a los habitantes de las poblaciones cercanas encontrar empleo temporal como jornaleros, que aportan la mano de obra para el corte de la planta y para la extracción del licor; la renta es de \$1.000.00 (US\$90.09, base 2005) mensuales, aproximadamente. A los trabajadores se les paga en efectivo por semana.

Cuando la aportación de cabezas disminuye, es necesario acudir a otros ejidos para lograr el suministro deseado, para lo cual se celebran convenios entre ellos; sin embargo, ésto resulta desventajoso para los recolectores.

Esquema de transformación y envasado

Para la obtención del licor de sotol, se prepara un horno subterráneo denominado "cocedor", que mide 1.40 m de diámetro por 1.20 m de profundidad, dimensiones que pueden variar. Al fondo del mismo y al centro, se coloca leña que se cubre con piedras. Una vez que están calientes por efecto de la leña, las piñas recolectadas se colocan sobre ellas, enseguida son tapadas con tierra para evitar la pérdida de calor, durante 72 horas. Antes del último día, a la cubierta de tierra se le aplica un riego ligero con el propósito de que se filtre un poco de agua, que al ponerse en contacto con las piedras calientes genera vapor y evita que el material se ablande por efecto del calor directo.

Posteriormente, las piñas cocidas se extraen del horno y se cortan en trozos de 2 a 3 cm, el centro se desecha. El producto picado se deposita en pilas de fermentación, que son fosas a ras de suelo. Para efectos de un mejor proceso, el diseño original consiste en revestir las paredes de madera; en la actualidad, lo más común es que sean de cemento. Una vez transcurridos ocho días, el material (líquido y sólido) es vertido en un perol, que consiste en un cazo de cobre que se instala en un horno clavado en el suelo, con un tiro al lado por donde se le proporciona fuego; lleva una rampa de madera o de cemento, constituida de tal manera que el borde superior del perol esté a su mismo nivel.

El material contenido en el perol se pone a hervir; cuando comienza la ebullición, se tapa el recipiente. La destilación del producto fermentado, se inicia con su paso por un "barrilón", cono hueco de madera con un orificio cerca del borde superior, al que se le acopla un tramo de tubo llamado "tarro", que se une al barrilón por un serpentín, el cual es un conducto de cobre en espiral colocado dentro de una pileta con agua; por el extremo conectado al "tarro", entra el

vapor, que se condensa; por el otro, sale el agua vino, que se recoge en un recipiente. El bagazo se tira, y para producir sotol, el agua vino es depositada en el cazo otra vez y se repite el proceso. Siguiendo esta práctica, se obtiene sotol de punta, que tiene la concentración de alcohol más elevada, entre 45 y 50°GL; el producto que se genera después de varias repeticiones va reduciendo dicho valor, hasta destilar agua.

El envasado se puede hacer tanto en botellas de vidrio como en botellas de plástico, lo que dependerá del patrocinador, lo mismo ocurre con el etiquetado.

Productividad

Para producir un litro de sotol se requieren tres piñas o cabezas y de 12 a 15 días; se cuecen aproximadamente 300 piezas para conseguir 150 L por cada sesión o "quemada", en dos semanas. Al mes se obtienen 3000 L y por lo tanto, al año 36,000 L (Cuadro 1). Alrededor de 40% corresponde al sotol de punta o de primera, el resto a la segunda y tercera categorías.

Comercialización

En el mercado de los productos forestales no maderables, intervienen diversos mecanismos y agentes que repercuten en el precio final al consumidor. Así, el comisionista compra el sotol en el sitio de producción (vinata) y lo envía a un centro de acopio, propiedad de un "acaparador", quien le paga una comisión por los litros de sotol enviados y cubre los gastos de transportación. El acaparador es un comerciante que posee la infraestructura para el almacenamiento y acarreo, que le permite guardar el producto hasta que adquiera un valor comercial atractivo, como ocurre desde la segunda quincena de septiembre hasta diciembre de cada año, cuando las ventas alcanzan su punto más alto, mientras que las más bajas se presentan a partir de fines de febrero y se prolongan al mes de julio. El precio está regido por la oferta y la demanda, de tal manera que el litro de primera se vende a \$25.00 (base, 2005) (US\$3.15) el de segunda \$28.00 (base, 2005) (US\$2.52) y el de tercera no se procesa por contener muchas impurezas. El Cuadro 1 reúne algunos datos indicativos de la producción y valor del sotol en el mercado.

Una segunda opción para la venta del sotol, funciona de forma alternativa, y consiste en que los mismos productores al no recuperar el costo que supone el almacenamiento, entonces, prefieren rentar toda la infraestructura en el campo y operar, prácticamente, como comisionistas para obtener mejores ingresos al vender su producto de forma directa en la vinata. Tanto el agua vino como el sotol, se comercializan a nivel regional en las siguientes entidades federativas: Zacatecas, Coahuila, Nuevo León y el Distrito Federal. La producción de agua

Cuadro 1. Costo y utilidad del licor de sotol en Torrecillas, Dgo.

Clasificación de la calidad del producto	Producción* (litros)	Costo unitario/litro* Precio (\$)	Utilidad Bruta* (\$)	Utilidad Bruta* US\$
Primera o punta	20,000	35.00	700,000.00	63,063.06
Segunda	10,000	28.00	280,000.00	25,225.22
Total	36,000		980,000.00	88,288.28

* Datos del 2005.

vino se entrega a expendios de vinos y licores de la Región Lagunera, al mercado libre, a intermediarios del interior del país y al público en general.

Las entrevistas permitieron saber que la transformación de agua vino se conserva, preferentemente, como un producto de uso local y regional; los empresarios consideran que la industria de transformación, y por ende, los productores se verían beneficiados si el producto se sometiera a una mayor comercialización en el mercado interno.

REFERENCIAS

- De la Cruz, C. 1980. Informe de trabajo de las cooperativas COPLAMAR en la Laguna de Durango. México. 27 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. 246 p.
- Instituto Mexicano de Protección Industrial. 2002. www.inpi.gob.mx/web/docs/marco_j/sotol.htm
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). s/f. Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación. Secretaría de Gobernación. México. 101 p.
- Melgoza C., A. y J. S. Sierra T. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyliroton* spp. (sotol) en Chihuahua, México. Rev. Cien. For. en Méx. Vol. 28(93):25-40.
- Olhagaray R., E. 1994. Diagnóstico de la actividad forestal en la Región Lagunera. Avances de Investigación. CIFAP-RASPA. INIFAP. 22 p.
- Olivas N., G. y J. Rivera Q. 1984. Informe anual de actividades del Programa de Aprovechamiento Forestal en la Región Lagunera. SARH. 5 p.
- Sánchez B., M. 1984. Estudio de la germinación de diferentes especies amenazadas de extinción. Informe de actividades del Laboratorio de Semillas. Programa Forestal del estado de Durango / SARH. 9p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1981. Atlas nacional del medio físico. Secretaría de Gobernación. México. pp. 86-87.