

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 22. NÚM. 81. 162 P. MÉXICO, D.F. ENE-JUN 1997

inifap
PRODUCE

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS
DIRECCION DIVISION FORESTAL

La Revista **Ciencia Forestal en México**, es el órgano divulgativo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, que tiene como finalidad difundir resultados parciales o finales de las investigaciones forestales realizadas por su personal científico, existiendo la posibilidad de publicar artículos de investigadores externos, nacionales o extranjeros.

COMITÉ EDITORIAL FORESTAL

Presidente y Director de la Revista:

Dr. Carlos Rodríguez Franco.

Secretaria Técnica:

Vocales:

Ing. Carlos E. González Vicente,
Asesor de Proyectos Especiales
Consultores Internacionales CLB

Ing. Gonzalo Novelo González,
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
SAGAR.

Dr. Daniel Piñero Dalmau,
Centro de Ecología, U N A M.

Ing. Víctor E. Sosa Cedillo,
Director General Forestal,
SEMARNAP

Ing. Sergio Varela Hernández,
Inventario Nacional Forestal,
SEMARNAP

Dr. Alejandro Velázquez Martínez,
Coordinador de Investigación y
Desarrollo, Colegio de Postgraduados.

Editor:

Dr. José Daniel Garza y Rueda.

Certificado de Licitud de Contenido Núm. 677

Certificado de Licitud de Título Núm. 1151

Número de la Serie Estándar Internacional (ISSN): 1405-3586

Índice de Revistas Científicas Mexicanas del CONACYT,
oficio N° 544 del 2 de junio de 1995.

CIENCIA FORESTAL

en México

VOL. 22

ENE-JUN 1997

NÚM. 81

CONTENIDO

	Pág.
USO MÚLTIPLE DE LOS AGOSTADEROS EN EL NORTE DE MÉXICO J. Rafael Cavazos Doria.	3
ECUACIONES PARA ESTIMAR LA FITOMASA DE <i>Atriplex canescens</i> Rigoberto Meza Sánchez.	27
ESTUDIOS DEL CRECIMIENTO DE <i>Pinus douglasiana</i> Martínez Y <i>Pinus lawsonii</i> Roetz EN LA REGIÓN CENTRAL DE MICHOACÁN. Mario Aguilar Ramírez.	41
PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO EN <i>Pinus montezumae</i> Lamb. USANDO MODELOS DE DISTRIBUCIONES DIAMÉTRICAS. Miguel Acosta Mireles, Juan M. Torres Rojo y Carlos Rodríguez Franco.	71
LA SILVICULTURA DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb. EN LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO. Carlos Rodríguez Franco.	91
EL AGRUPAMIENTO MULTIVARIADO EN LA ESTRATIFICACIÓN VERTICAL DE UNA SELVA TROPICAL DEL SURESTE DE MÉXICO. Vicente Sánchez Monsalvo y Francisco J. Zamudio Sánchez.	117
COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN CULTIVOS EN CALLEJONES CON <i>Erythrina poeppigiana</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Gliricidia sepium</i> . Arturo Limón Limón, Donald L. Kass, Pedro R. Oñoro y Jorge M. Jiménez.	133
CUERPO CONSULTIVO	157

USO MÚLTIPLE DE LOS AGOSTADEROS EN EL NORTE DE MÉXICO.

Cavazos Doria J. Rafael¹

RESUMEN

Una vasta área de México (965,887 km²) es considerada árida o semiárida y en su mayoría no es apta para los cultivos agrícolas. En los Desiertos Sonorense y Chihuahuense, localizados en la parte norte del país, existen diversos sistemas de producción tradicional, incluyendo la agroforestería. México, como un país en desarrollo, enfrenta problemas de incremento en la población humana, lo que ha ocasionado conflictos en las demandas por recursos naturales, causando en muchos casos su degradación. Históricamente y en la actualidad, el cambio de uso del suelo y sus complejas interacciones socioeconómicas entre diversas culturas, tradiciones, economías y ecología, ha tenido efectos adversos significativos en las comunidades rurales. México es un país con un intensivo uso del suelo, por lo que reviste gran importancia el aprovechamiento de los recursos del agostadero. El manejo de los recursos naturales incluye actividades tales como: pastoreo de ganado, manejo de fauna silvestre, turismo, minería, obtención de productos vegetales para combustible, construcción, ceras, fibras, alimento para consumo humano, ornamentales, medicinas, y otros variados usos, así como la conservación del suelo y el manejo de cuencas hidrológicas. Es imperativo ampliar los conocimientos acerca de la sostenibilidad de los ecosistemas, y encontrar el balance entre la conservación y el uso actual del suelo. La transferencia de tecnología a las comunidades rurales tiene especial importancia para hacer viable y sostenible el uso múltiple de los recursos naturales de los agostaderos.

Palabras clave: Zonas áridas, uso múltiple, agostaderos, fauna silvestre, socioeconomía, sostenibilidad.

¹ M. C.; Director de la División Forestal. CIR-Noreste, INIFAP, SAGAR.

ABSTRACT

A vast land area of Mexico (965,887 km²) is considered arid or semiarid, most of which is not suitable for agricultural crops. The Sonoran and Chihuahuan Deserts are in this northern part of the country. There are diverse traditional production systems practiced, including agroforestry. Mexico, as a developing country is faced with problems from the increasing human populations and the new conflicting demands for natural resources, which have led to major resource degradation. Historical and current land use changes coupled with existing complex socio-economic interactions among cultures, traditions, economies, and ecology have had significant adverse effects on rural communities. Mexico is a country of intensive land use, hence multiple use of rangeland resources is of major importance. The management of natural resources includes grazing, wildlife, tourism, mining, extraction of plant products for fuels, wood products, waxes, fiber, food for human consumption, ornamentals, medicines, and a varied other products as well as conservation of land and watershed management. It is imperative to enhance the understanding of ecosystem sustainability and to find a balance between conservation and current land uses. Technology transfer to rural communities is of special concern in making a viable and sustainable the multiple use on rangeland resources.

Key words: Arid lands, multiple use, rangelands, wildlife, socioeconomy, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semiáridas de México que cubren la mitad del país y albergan a casi 20 millones de habitantes, han sido utilizadas por el hombre a lo largo de la historia con muy diversos propósitos, como la agricultura, el pastoreo de ganado, la extracción de minerales y la utilización de la flora y fauna silvestre, involucrando una gran diversidad de sistemas de producción. Es importante hacer notar la invaluable importancia de las cuencas hidrológicas que han dado vida a todas estas actividades.

Los aspectos socioeconómicos que privan en estas áreas son muy diversos y van desde las actividades agrícolas y pecuarias tecnificadas en que se obtienen mayores ingresos y brindan un mejor nivel de vida, hasta aquellas de los núcleos rurales en donde la economía es de subsistencia. La población rural, que en las condiciones adversas del clima se ha dedicado a múltiples actividades, tiene bajos niveles de vida. Generalmente el productor de las zonas áridas y semiáridas es agricultor en pequeñas áreas de temporal que básicamente produce para autoconsumo; es ganadero con escaso número de animales por familia que no maneja el ganado, propiciando sobrepastoreo, degradación del agostadero y de los recursos forestales; además es recolector de especies nativas para complementar sus escasos ingresos.

El objetivo de este trabajo es señalar algunos aspectos importantes de las actividades que tienen y han tenido lugar en los agostaderos del norte de México; sobre todo aquellas que están relacionadas con el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales por parte de las comunidades rurales.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGOSTADEROS EN EL NORTE DE MÉXICO.

Área

La superficie de la República Mexicana es de 1,967,183 km². El país, por sus variadas condiciones climáticas y fisiográficas cuenta con muy diversos ecosistemas que van desde los bosques de coníferas y latifoliadas a las selvas y a las zonas áridas y semiáridas. Los climas secos y muy secos se encuentran localizados al norte del paralelo 21° 30', teniendo una superficie de 965,887 km², lo que corresponde al 49% del total nacional.

Las zonas de agostaderos en México están comprendidas dentro de los grandes desiertos de Norteamérica, que son el Sonorense que abarca los estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur en la región noroeste y el Chihuahuense, que se distribuye en la región centro norte y noreste, abarcando los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas. En este

trabajo se entenderá como región Norte a los estados anteriormente mencionados (SARH 1994a, INEGI 1995).

Clima

En términos generales las zonas áridas de México tienen una precipitación pluvial anual menor de 350 mm distribuida irregularmente; con una temperatura media anual que varía entre los 15 y 25° C, un periodo de sequías no menor a 7 meses y con una cobertura vegetal menor al 70% ; mientras que en las zonas semiáridas la precipitación anual es un poco mayor y va de los 350 a los 600 mm, con una cubierta vegetal mayor al 70%.

Entre los Desiertos Sonorense y Chihuahuense existen diferencias climáticas. El Desierto Chihuahuense recibe la mayor parte de la precipitación anual (65-80%) en el verano; los meses de enero a mayo son generalmente secos. Las precipitaciones totales varían de 75-150 mm en Coahuila y norte de San Luis Potosí hasta los 300-400 mm. en los lugares elevados de las estribaciones orientales de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua, y la vertiente occidental de la Sierra Madre Oriental. En el Desierto Sonorense se presentan 2 estaciones lluviosas, predominando las de invierno en la península de Baja California por efecto de las tormentas del océano Pacífico y en su región oriental las lluvias se presentan en verano al igual que en el Desierto Chihuahuense. Las precipitaciones son más bajas en ambos lados del Golfo de California (50-100 mm), estas se incrementan a los 300-350 mm en áreas cercanas a la Sierra Madre Occidental.

Otra diferencia climática entre ambos es la temperatura, la cual esta relacionada con la altitud. En general el Desierto Sonorense tiene una mayor temperatura que el Chihuahuense debido a que este ocurre en altitudes menores a 600 m, mientras que cerca del 50% del Desierto Chihuahuense se encuentra por arriba de los 1,200 m y es considerado como el Altiplano. A causa de lo anterior, a latitudes similares el Desierto Sonorense es mas caliente de 2° a 5° C que el Chihuahuense.

En la costa oeste de la península de Baja California la combinación de bajas temperaturas y la alta humedad del océano Pacífico ocasiona el desierto de neblina, el cual es una fuente importante de humedad a la vegetación nativa por la condensación del rocío (MacMahon y Wagner 1985, Medellín y Gómez 1979).

Vegetación

Los tipos de vegetación en ambas regiones son del tipo de matorrales desérticos, con subtipos de chaparral, matorral subtropical, mezquital, matorral espinoso y matorral xerófilo. Dentro de las especies del Desierto Sonorense se pueden citar: *Cercidium floridum*, *Larrea tridentata*, *Prosopis* spp., *Olneya tesota*, *Fouquieria columnaris*, *Fouquieria peninsularis*, *Yucca* spp. *Bursera* spp.; con *Adenostoma* y *Arctostaphylos* en el chaparral. Las arbustivas como *Simmondsia chinensis* *Ambrosia dumosa* y *Encelia farinosa*; las grandes cactáceas como el saguaro *Cereus giganteus* y el cardón *Pachycereus pringlei*, así como un gran número de herbáceas. La vegetación en esta región presenta un alto grado de endemismo.

En el Desierto Chihuahuense se encuentran amplias áreas cubiertas con *Larrea tridentata*, *Prosopis* spp., *Euphorbia antisiphilitica*, *Fluorensia cernua*, *Parthenium incanum*, *Agave lecheguilla*, *Dasylyrion* spp., *Nolina* spp., *Myrtillocactus geometrizans*, *Helietta parviflora*, *Cordia boissieri* y otras. Esta región presenta una mayor riqueza en gramíneas que el Sonorense (*Bouteloua*, *Muhlenbergia*, *Sporobolus*, *Hilaria*, etc.). (MacMahon y Wagner 1985, Medellín y Gómez 1979, SARH 1994a, Rzedowzki.1978, Briones 1994)

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Los antiguos pueblos indígenas del norte de México, antes de la llegada de los colonizadores europeos, eran nómadas y seminómadas, que se dedicaban a la recolección de frutos y semillas, así como de leñas y madera para combustible y construcción, complementando sus necesidades con la caza de animales. Desarrollaban una incipiente agricultura la cual no afectaba significativamente a su entorno.

Con la llegada de los españoles en el siglo XVI, se inició la fundación de pueblos en la parte central y norte de México debido al descubrimiento de minerales de oro y plata en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Chihuahua. Los asentamientos humanos y las actividades de minería incrementaron las necesidades de madera, lo cual propició la deforestación de muchos bosques.

La colonización humana en estas regiones estuvo acompañada de animales domésticos como vacas, caballos, asnos, cabras y borregos, cuyas poblaciones se incrementaron rápidamente. El efecto del ganado sobre los agostaderos cercanos a las poblaciones fue muy acentuado debido al sobrepastoreo.

Las actividades mineras y la construcción de viviendas requirieron de grandes cantidades de madera. Al mismo tiempo se desmontaron terrenos para cultivar la tierra y producir alimentos para las poblaciones. Estas tierras no eran muy productivas debido a la escasez de agua, por lo que la agricultura en esas condiciones tan desfavorables dio lugar a la cría de ganado doméstico. El cambio en el uso del suelo, el sobrepastoreo, la tala inmoderada de árboles y el crecimiento demográfico, han sido históricamente las causas más importantes en el deterioro de los ecosistemas forestales y de los agostaderos.

A fines del siglo XIX y a principios del XX se inició la construcción del ferrocarril para favorecer la comunicación y el transporte de personas y materiales, lo que contribuyó a la apertura de nuevas tierras para los cultivos agrícolas y para la ganadería. Posteriormente con el proceso de la Reforma Agraria se dotó de tierras a los campesinos del país, con lo cual las poblaciones rurales se extendieron y se desmontaron grandes superficies; muchas de estas áreas que tenían potencial para un buen agostadero, se convirtieron en malos terrenos dedicados a la agricultura. La expansión de estas fronteras propició la sobreexplotación de los recursos naturales.

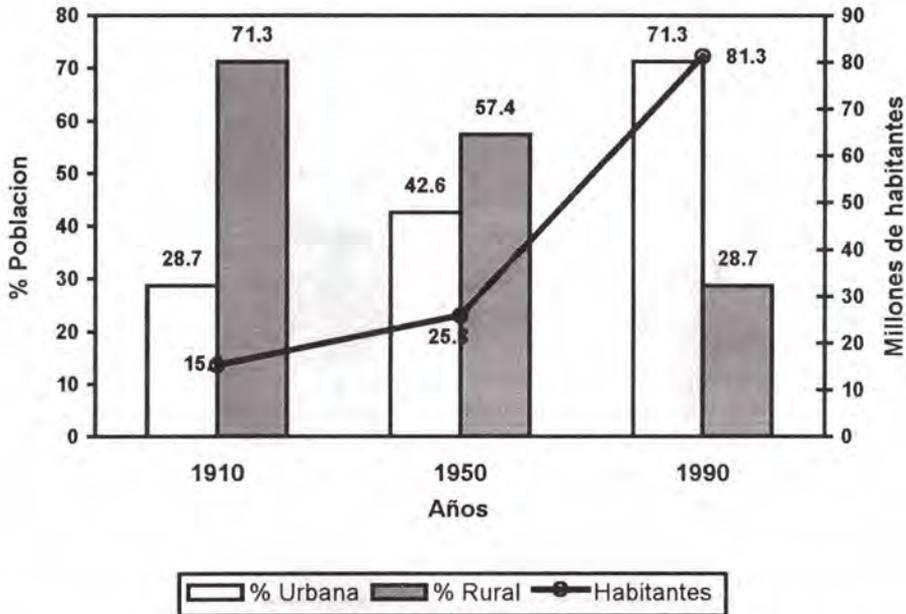
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Población Nacional

El crecimiento demográfico acelerado de México como en muchos otros países ha sido un factor determinante que ha impactado negativamente a todos los ecosistemas. La población del país que a principios de este siglo (1910) era de 15.2 millones de habitantes con una mayoría rural (71%), ya se había incrementado a 25.8 millones en 1950, presentando una continua migración a los centros urbanos en busca de empleo y mejores condiciones de vida.

Actualmente la población de México es de 81.2 millones, con una tasa de crecimiento medio anual del 2.6% (1970-1990) con una mayoría urbana (71%) y el 29% habita en

las comunidades rurales y se estima que la población del país en el año 2000 sea de 100 millones (Figura N° 1). Esto ha ocasionado que los grandes núcleos urbanos hayan experimentado un crecimiento acelerado, el cual ha ido acompañado de problemas socioeconómicos muy complejos; mientras que la población en las áreas rurales ha descendido. En estas comunidades existen altos índices de pobreza, marginación y desempleo. El 7% de la población económicamente activa del país que habita en las comunidades rurales no recibe ingresos, el 20% percibe ingresos que no son suficientes para satisfacer sus necesidades (INEGI 1994, INEGI 1995).



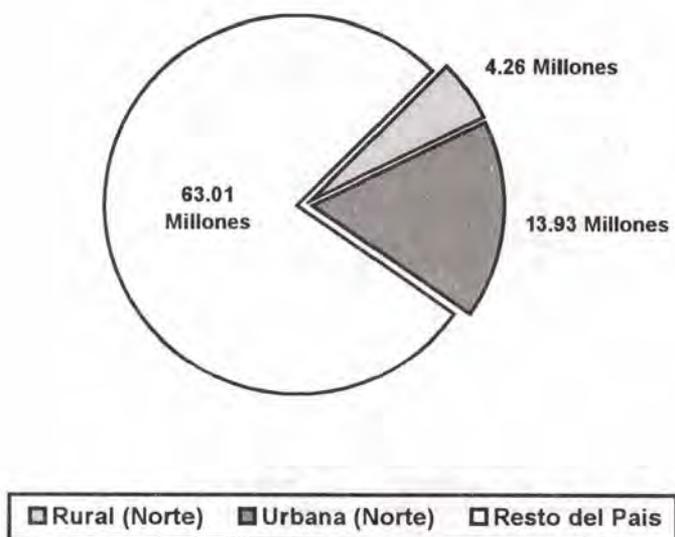
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1995.

Figura N° 1. Crecimiento de la población de México en el periodo 1910-1990 y relación (%) entre población rural y urbana.

Población Regional

En los estados comprendidos en las zonas áridas y semiáridas habitan 18.2 millones de habitantes (22.4% del total nacional), de los cuales el 23.4% habita en las zonas rurales, el restante 76.6% se distribuye principalmente en las grandes ciudades (Figura N° 2). En esta región la densidad de población promedio es de 19.7 habitantes por km², la cual es inferior al resto del país. El rango de densidad es de 4 habitantes por km² en Baja California Sur, comparado con 48 en Nuevo León (INEGI 1995).

Otro aspecto a considerar es que de los 5.5 millones de personas económicamente activas en la zona norte, sólo el 17.6% se dedica a las actividades primarias de producción como la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (INEGI 1991).



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1995.

Figura N° 2.- Población de los estados en región norte del país y relación de población urbana y rural.

Tenencia de la tierra.

En México la tenencia de la tierra puede ser de propiedad privada o de propiedad comunal llamada "ejidos", estos se formaron a través del proceso de la reforma agraria para dotar de tierras a los campesinos poco después de la Revolución Mexicana. De la superficie forestal del país, el 73% corresponde a ejidos y comunidades agrarias. En la región norte el 54% de la superficie pertenece a ejidos y comunidades agrarias (SARH 1994a).

USO MÚLTIPLE DE LOS AGOSTADEROS

Las áreas de agostaderos en el norte de México han tenido una gran diversidad de actividades así como sistemas de producción. Se han abierto a la agricultura grandes extensiones de terreno principalmente para la agricultura tradicional de temporal y una menor superficie pero con mayor productividad son las tierras de regadío. Otra de las actividades relevantes es la cría del ganado, siendo el sistema de producción vaca-cría el que predomina en la región, existiendo además los sistemas de producción de caprinos para carne y leche y de ovinos.

El aprovechamiento de los recursos forestales en las zonas áridas y semiáridas, principalmente los relacionados con la recolección de plantas, follajes o semillas, con diferentes propósitos utilitarios tales como producción de leñas y carbón, ceras, fibras, alimentos y otros usos destacan por la gran cantidad de campesinos que se dedican a estas actividades, las cuales que aunque tienen muy baja rentabilidad son la única forma de subsistencia en esas condiciones tan adversas. Los campesinos de las comunidades rurales, generalmente, no se dedican a una sola actividad sino que dependiendo de las condiciones del medio ambiente cultivan la agricultura de temporal, para producir su alimento, pastorear su ganado y en épocas críticas son recolectores de plantas.

Además de lo anterior tienen lugar otras actividades que impactan a las áreas de agostadero y que se han incrementado en los últimos años, tal es el caso de la recreación y el ecoturismo. Otro de los beneficios intangibles son los ecosistemas mismos con sus cuencas hidrológicas que recargan los mantos acuíferos y abastecen a las presas. Un importante recurso es también la fauna silvestre.

A continuación se tratarán algunos aspectos de los sistemas de producción más relevantes.

Agricultura

La agricultura es la principal actividad económica del sector primario de la región norte. De los 11 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura, la mayor parte (72%) se lleva a cabo bajo condiciones de temporal. Este tipo de agricultura generalmente no es tecnificada, existe poca maquinaria para las labores del campo, utilizan pocos insumos como fertilizantes y semillas mejoradas. Una gran parte de estas tierras bajo cultivo no son aptas para la agricultura, debido a las escasas precipitaciones las producciones e ingresos obtenidos principalmente de granos básicos son muy bajas; en muchas ocasiones la cosecha total o parcialmente es para el autoconsumo.

Las características de esta agricultura solo permite a la mayoría de los campesinos tener niveles económicos de subsistencia, además de causar un intenso deterioro a los suelos por los procesos erosivos. El bajo nivel de vida de los campesinos dedicados a la agricultura de temporal, hace necesario que destinen parte de su tiempo y esfuerzo a otras actividades como la cría del ganado y la recolección especies nativas para complementar sus exiguos ingresos.

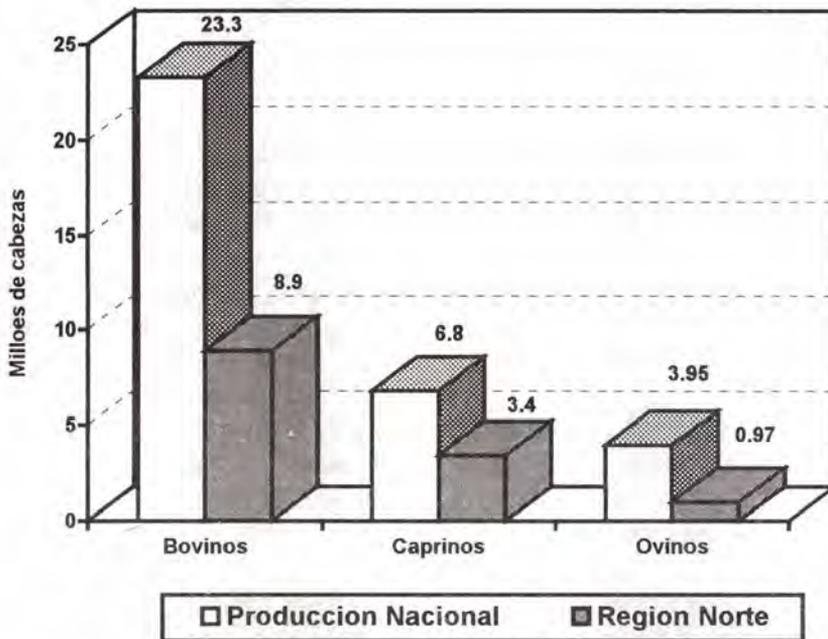
Por otro lado, en la agricultura de riego de esta región existen diferentes sistemas de producción, los cuales van desde los que emplean poca tecnología, hasta los altamente tecnificados que usan sistemas eficientes de riego y los insumos necesarios. En estas áreas se producen granos básicos (maíz, trigo, frijol, sorgo, etc.) con altos rendimientos, así como otros cultivos de alta rentabilidad como los frutales y hortalizas cuyo mercado es destinado básicamente a la exportación.

La mayor parte de los recursos hídricos para la agricultura y las áreas urbanas provienen de reservorios (presas), los cuales son recargados a través de las cuencas hidrológicas de las cadenas montañosas de la región. En una menor proporción, el agua proviene de acuíferos subterráneos y es extraída a través del bombeo de pozos. En los últimos años en la zona noroeste, la sobreexplotación de acuíferos en pozos cercanos a las costas del Golfo de California y del océano Pacífico ha propiciado un incremento en los niveles de salinidad debido a intrusiones salinas del mar, por lo que grandes áreas han dejado de ser aptas para la agricultura.

Ganadería

A nivel nacional la cría de ganado bovino ha sido la principal actividad desarrollada tanto en los agostaderos como en los ecosistemas tropicales y subtropicales. La cantidad de bovinos en el país en los últimos 15 años se ha mantenido alrededor de los 23 millones de cabezas; seguido por caprinos con una población entre los 6 y 8 millones, finalmente los ovinos con una población de 4 millones. En los agostaderos

del norte del país se cría el 38% de los bovinos del país (8.9 millones), la mitad de los caprinos (3.4 mill.), y la cuarta parte de los ovinos (0.97 mill.). Siendo los principales estados productores de ganado bovino Chihuahua, Durango y Sonora con 4.5 millones de cabezas, en la producción de caprinos destacan los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí con 1.9 millones (Figura N° 3) (INEGI 1991, 1995).



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1991.

Figura N° 3. Producción nacional y regional de ganado bovino, caprino y ovino.

La mayor parte de los agostaderos del norte país se encuentran en condiciones de sobrepastoreo debido a que no se aplican prácticas de manejo adecuadas. La ganadería es extensiva durante todo el año sin que se lleve cabo la rotación de potreros, lo que ha propiciado la pérdida de la cubierta vegetal y compactación del suelo dando lugar a la erosión. Además de lo anterior es considerable la disminución de la diversidad biológica y los disturbios en el hábitat de la fauna silvestre.

Sin embargo, hay que hacer notar que existen ganaderos que llevan a cabo prácticas de manejo con buenos resultados. El principal sistema de producción es el de vaca-becerro, destinándose 1.3 millones de becerros en pie que se exportan anualmente a los Estados Unidos de América.

Otro sistema de producción importante es el de cabras-cabritos (carne) y el de cabras-leche, los cuales tienen amplia demanda en el mercado nacional. El ganado caprino al igual que el bovino ha sido causante de un gran deterioro en los agostaderos (COTECOCA 1994).

Forestal

Los recursos forestales de las zonas áridas y semiáridas del norte de México comprenden una gran diversidad de especies maderables y no maderables productoras de fibras, ceras, aceites, alimentos, forrajes, leña, carbón, resinas, taninos, esteroides, las cuales son utilizadas en la industria, materiales de construcción, como medicina, combustibles, ornato alimentos y otros muy variados usos. La producción forestal no maderable es de 42,000 toneladas anuales de diversas especies y productos. (SARH 1993, Maldonado 1993, SARH 1994a, FAO 1996)

Algunas especies forestales de importancia económica en las zonas áridas han sido explotadas más allá de su potencial de regeneración natural, ocasionando una disminución drástica de las poblaciones, por lo que ha sido necesario efectuar reforestaciones para su protección.

Otros factores importantes de disturbio en los chaparrales y matorrales desérticos son los incendios, que en la mayoría de las veces son intencionales para inducir los rebrotes de pastos y otras especies forrajeras, provocando severos daños a la vegetación. La superficie promedio afectada anualmente en la región norte es de 108,000 Ha (SARH 1994b).

Existe una gran diversidad de especies en las zonas áridas que son utilizadas para diversos usos, además de ser un reservorio potencial para nuevos cultivos por su resistencia a ambientes cálidos y secos; son también un reservorio genético para mejorar los cultivos actuales. De un total de 4,500 especies vegetales que habitan en el Desierto Sonorense se reportan 455 especies que pueden aportar beneficios económicos (Piña 1993, Nabahn y Felger 1985, García y Balderas 1985). En la Cuadro N° 1 se ejemplifican algunas de las especies útiles y sus usos:

ESPECIES CON USOS INDUSTRIALES		
Nombre común	Nombre científico	Usos y productos
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	Cera líquida
Candelilla	<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	Cera
Lechuguilla	<i>Agave lecheguilla</i>	Fibras
Zacatón o cortadillo.	<i>Nolina spp.</i>	Fibras
Palmilla	<i>Yucca schidigera</i>	Espumantes, mejorador de suelos
Guayule	<i>Parthenium argentatum</i>	Hule
Magüey	<i>Agave salmiana</i>	Mezcal
Sotol	<i>Dasyliirion spp.</i>	Mezcal
ESPECIES ALIMENTICIAS		
Nombre común	Nombre científico	Usos y productos
Nopal	<i>Opuntia spp.</i>	Alimento: cladodios y frutos
Orégano	<i>Lippia spp.</i>	Condimento: hojas
Damiana	<i>Turnera diffusa</i>	Infusiones: hojas
Chiltepín	<i>Capsicum annum</i>	Alimento: fruto
Chaya	<i>Cnidoscolus spp.</i>	Alimento: hojas
Tomatillo	<i>Lycium fremontii</i>	Alimento: fruto
Frijol del desierto	<i>Phaseolus ritensis</i>	Alimento: fruto
Pitaya	<i>Lemairocereus spp.</i> <i>Stenocereus spp.</i>	Alimento: Frutos
Garambullo	<i>Myrtillocactus spp</i>	Alimento: Frutos
Pino piñonero	<i>Pinus cembroides</i>	Alimento: semillas
Quelite	<i>Amaranthus spp.</i>	Alimento: semillas
Ciruelo	<i>Cyrtocarpa edulis</i>	Alimento: frutos.
Biznaga	<i>Ferocactus peninsulæ</i>	Alimento: Tallo y frutos
Papita de monte	<i>Solanum cardiophyllum</i>	Alimento: Tubérculos
Calabacilla loca	<i>Cucurbita foetidissima</i>	Aceites, forrajes.

Cuadro N° 1.- Algunas especies útiles de importancia económica de las zonas áridas y semiáridas

Continua Cuadro N° 1...

Continuación del Cuadro N° 1

ESPECIES MADERABLES		
Nombre común	Nombre científico	Usos y productos
Mezquite	<i>Prosopis spp.</i>	Construcción, leña y carbón
Palo fierro	<i>Olneya tesota</i>	Artesanías
Palo zorrillo	<i>Cassia emarginata</i>	Postes
Palo de arco	<i>Tecoma stans</i>	Construcción, agricultura
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	Leñas, gomas, forrajes
Mauto	<i>Lysiloma divaricata</i>	Curtientes, Construcción
Barreta	<i>Helieta parvifolia</i>	Construcción, cercados
Mimbre	<i>Chilopsis linearis</i>	Construcción
ESPECIES ORNAMENTALES		
Nombre común	Nombre científico	Usos y productos
Cactáceas	diversas especies	ornamentales
Palo verde	<i>Cercidium floridum</i>	Ornamental, forraje.
Agaves	diversas especies	ornamentales

Cuadro N° 1.- Algunas especies útiles de importancia económica de las zonas áridas y semiáridas

Algunas de las especies nativas más importantes en los agostaderos desde el punto de vista de la extensión de los aprovechamientos y del número de campesinos que se involucran, son aquellas relacionadas con la extracción de leñas y carbón, fibras y ceras. A continuación se tratarán algunos aspectos socioeconómicos sobresalientes relacionados con estos aprovechamientos:

PRODUCCIÓN DE LEÑAS Y CARBÓN

Como leñas se consideran a las partes de troncos y ramas de árboles y arbustos que se utilizan como combustible para cocinar alimentos, calefacción o para producir energía en las industrias rurales, en las leñas se incluye la producción de carbón.

Las leñas representaron el 5.4% del consumo energético mundial. En América Latina actualmente existe escasez de leñas, a causa de la presión demográfica y de la

disminución de los recursos forestales evolucionará hacia una escasez aguda; estimando que de seguir la tendencia actual, el déficit de leña en el año 2000 podría ser de 135 millones de m³ (FAO 1983).

En México la producción de leña combustible presenta un déficit. Actualmente en el país se producen 420,000 toneladas anuales de leña y carbón. Los agostaderos de la región norte producen la mitad del total nacional (53%), destacando los estados de Sonora y Tamaulipas con 185,000 ton (SARH 1993).

Las principales especies productoras de carbón son *Prosopis* spp. (mezquite), aunque existen otras como *Pithecellobium ebano*, *Acacia farnesiana*, *Acacia wrightii*, *Celtis laevigata*, *Condalia hookeri*, y *Quercus* spp. Muchas comunidades rurales dependen de este recurso para producir carbón con propósitos comerciales, ya que la mayoría de la producción es exportado a Estados Unidos de América (85%). Grandes áreas de mezquite ha sido sobreexplotadas, ocasionando una disminución de las poblaciones.

El mezquite (*Prosopis* spp.) es una especie de la flora nativa de zonas áridas de México, pero que ha sido considerado como planta indeseable en el suroeste de los Estados Unidos de América, ya que desde el punto de vista de manejo de agostaderos, reduce la densidad y producción de pastos, remueve la humedad del suelo e incrementa las labores para el manejo de ganado. Existen muchos estudios sobre la eliminación del mezquite por diferentes medios como el fuego, herbicidas o mecánicamente para incrementar la cobertura y productividad de las gramíneas en los agostaderos (Medina 1996). En el pasado y actualmente se ha invertido un gran esfuerzo y dinero en tratar de erradicar la invasión de mezquite en los pastizales; sin embargo, en las zonas áridas y semiáridas de México es considerado un recurso natural muy valioso.

Esta especie era fuente importante de alimento, combustible y material de construcción para los habitantes de zonas áridas en América antes de la llegada de los españoles. Los usos tradicionales del mezquite son: productor de forraje (vainas), combustible como leña y carbón, postes, duela (parket), cortiente, construcción, muebles y artesanías. Las principales especies son: *P. glandulosa*, *P. laevigata*, *P. velutina* y *P. articulata*.

Los frutos de *P. laevigata* y *P. glandulosa* son consumidos por el ganado doméstico, contienen altas cantidades de azúcares (13-36%) y proteínas (32-39%) en las semillas. Durante las sequías los campesinos colectan las vainas secas y se almacenan para dar forraje (molido) a toda clase de ganado. Los rendimientos pueden ser de 2,300 kg. de vainas/Ha por año en condiciones naturales. La recolección de vaina de mezquite en la región se estima en más de 50,000 toneladas. (Galindo y García 1986, Cornejo et. al. 1982)

La madera de mezquite tiene un alto contenido calórico (30 kJ/g) comparados con la madera de otras especies que es de 18-19 kJ/g. Produce un excelente carbón con rendimientos de leña-carbón del 40%. La producción de biomasa puede ser de 50-60 ton. por ha. en una rotación de 10 años. El carbón de mezquite tiene un mayor valor comercial que el de piñón, junípero y encino (Wolf y Vogel 1986).

Además de productor de carbón, el mezquite proporciona el hábitat para la fauna silvestre, y es fijador de nitrógeno al suelo. Es una especie melífera importante, ya que el néctar de sus flores produce una miel de excelente calidad, además produce una goma con propiedades similares a la goma arábiga.

Debido a la disminución de las poblaciones naturales de mezquite en grandes áreas por una reforestación intensiva es conveniente en el corto plazo restringir los aprovechamientos en las poblaciones amenazadas y lograr un buen manejo de las ya existentes para incrementar su productividad. Debe planearse en el mediano y largo plazos el establecimiento de plantaciones, ya que es una especie bien adaptada a estos ecosistemas, soporta sequías y es resistente a salinidad, inclusive se puede aprovechar la variabilidad genética de las poblaciones para incrementar el rendimiento de fruto y de biomasa.

PRODUCCIÓN DE FIBRAS

Otras especies importantes de los agostaderos son aquellas productoras de fibras o "ixtles". La producción anual promedio en los últimos 15 años ha sido de 5,200 ton; las fibras han sido básicamente un producto de exportación con un valor de 23 millones de dólares (SARH 1993).

La utilización de especies productoras de fibras como la lechuguilla (*Agave lecheguilla*) y la palma samandoca (*Yucca carnerosana*) en la parte norte central del Desierto Chihuahuense es una tradición que antecede al arribo de los europeos. Los ingresos derivados de la venta de fibra de estas especies constituye la mas importante fuente de subsistencia de más de 5,000 familias campesinas de estas áreas. Las fibras obtenidas de estas especies sirven para manufacturar costales, mantas, empaques y cordelería.

Los campesinos se dedican a obtener fibra de lechuguilla en forma regular durante todo el año y complementan esta actividad con la agricultura de temporal para sembrar maíz y frijol. Cuando las sequías son prolongadas y no existen otras actividades económicas se dedican exclusivamente al tallado de fibras. Los turnos de corte o extracción son de 14 a 16 meses. La extracción de los "cogollos" (parte apical de la

roseta de la planta de donde se extrae la fibra) se realiza manualmente y la extracción de fibra puede realizarse manual o mecánicamente. Actualmente la presión de los recolectores en las cercanías de las comunidades han agotado las poblaciones, afectando su regeneración natural (Sheldon 1980, De la Garza 1985, Berlanga, 1992).

PRODUCCIÓN DE CERAS

Dentro de las plantas nativas de importancia económica de las zonas áridas destacan la jojoba (*Simmondsia chinensis*) y la candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*) ambas especies son productoras de cera.

Jojoba (*Simmondsia chinensis*)

La jojoba es una planta nativa del Desierto Sonorense cuyas semillas producen cera líquida (40-60%). Su área de distribución natural en el Desierto Sonorense es de 10 millones de Ha. La cera tiene características muy útiles en la industria de los lubricantes, cosméticos, farmacéuticos, textiles y ceras. Este producto tiene características similares al aceite de ballena de esperma la cual está en peligro de extinción y el aceite de jojoba es un sustituto natural.

En 1990 se procesaron 1,500 ton de semilla proveniente de México y del suroeste de los Estados Unidos de América (EUA), de esta cantidad, 1,300 ton fueron obtenidas de plantaciones comerciales y el resto de poblaciones naturales. Esta menor producción en las poblaciones naturales es debida a las fluctuaciones climáticas. Existe una tendencia creciente por el uso de aceite de jojoba en los mercados de Europa, Japón y EUA como ingrediente en lubricantes y cosméticos.

De las 10,000 toneladas de aceite de jojoba que demanda anualmente el mercado internacional, solo se produce el 40% quedando una demanda insatisfecha. Este déficit podría ser cubierto con el establecimiento y manejo de plantaciones y para ello se cuenta con la tecnología apropiada (Bosteel 1990, Solís *et. al.* 1992)

El pastoreo en poblaciones naturales de jojoba ha sido un serio factor que afecta la producción de semilla. Observándose que la producción de semilla en áreas sin pastorear ha sido por lo menos el doble que aquellas áreas pastoreadas. Donde se reduce la competencia de plantas de jojoba para proveer humedad adicional a las plantas, es posible incrementar la producción entre 40 a 80%. El ramoneo por el ganado puede ser utilizado en cierta medida para estimular la producción de más tallos

por planta; incrementándose su potencial, ya que produce mas flores y semillas por planta (Medina y Sepúlveda 1987).

Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*)

La candelilla es una especie distribuida en 14 millones de hectáreas en el Desierto Chihuahuense. La cera de candelilla, junto con el ixtle de lechuguilla son la fuente principal de ingresos de alrededor de 20,000 familias campesinas. La explotación de la candelilla por varias décadas aunada a técnicas de recolección destructivas, que eliminan la planta completa, ha ocasionado una disminución drástica en las poblaciones, por lo que esta actividad resulta cada vez menos rentable, además que los precios en el mercado han disminuido debido a que la cera ha sido paulatinamente desplazada por otros sustitutos químicos. La producción anual de cera de candelilla es de 1,500 a 2,000 ton. siendo la mayor parte para exportación (75%). La cera tiene numerosas aplicaciones en la industria: fabricación de velas, barnices de muebles, ceras para pisos y lubricantes, recubrimientos aislantes en cables eléctricos, protección de embalajes para herramientas, recubrimiento de frutos y dulces, impermeabilizantes y cosméticos

Los productores de candelilla han explotado el recurso por varias décadas lo que ha ocasionado una sobreexplotación del recurso, con la extinción de poblaciones en algunos sitios, lo que aunado a la caída en los precios, esta actividad deja de ser rentable, ya que sus ingresos son menores a los de cualquier otra actividad en la región.

Los aspectos socioeconómicos del productor "candelillero" es similar a las de otros campesinos de las zonas áridas, ya que combina las actividades de recolección con la ganadería y la agricultura de temporal para la subsistencia familiar. El nivel socio económico de los campesinos dedicados a esta actividad es de extrema pobreza. La agricultura de temporal es muy incierta debido a la escasa precipitación, la poca productividad de la actividad, una inadecuada comercialización así como una infraestructura deficiente en vías de comunicación hacen que estas actividades sean sólo de subsistencia.

El manejo y aprovechamiento de la candelilla deben estar sujetos al potencial productivo de las poblaciones, debiéndose restringir la explotación en donde las poblaciones estén amenazadas. Además es necesario establecer plantaciones en aquellas áreas que han sido degradadas, para esto se cuenta con la tecnología para el establecimiento y manejo (Ortega 1980, Martínez y Narro 1990, De la Garza 1992).

OTROS USOS

Palmilla (*Yucca schidigera*)

Esta es una especie endémica del Desierto Sonorense distribuida en la península de Baja California. El aprovechamiento de tallos de palmilla (*Yucca schidigera*) es de 4,000 ton anuales que benefician a 1,500 familias campesinas. Los usos de esta van de los industriales a los alimenticios. Los jugos de los tallos de palmilla son utilizados en la industria como mejoradores de suelos (reduce tensión superficial); la extracción de saponinas, en la elaboración de jabones y recientemente, los extractos se utilizan como espumante de refrescos gaseosos.

El aprovechamiento de esta especie ha sido en poblaciones naturales, su reproducción es principalmente asexual. La extracción en las poblaciones naturales está cercana a su máximo potencial productivo, por lo que actualmente se han efectuado reforestaciones y establecido plantaciones comerciales a fin de proteger a las poblaciones y contar con el abastecimiento requerido por la industria. Las plantaciones son rentables económicamente y se ha desarrollado la tecnología para su establecimiento y manejo. Estas son medidas adecuadas de protección para este recurso en el mediano y largo plazos (Sepúlveda y Medina 1993, Sepúlveda 1994).

Fauna silvestre

Además del aprovechamiento de la flora nativa de los agostaderos, la cual fue referida anteriormente, la fauna silvestre es un recurso natural renovable de gran importancia económica en los ecosistemas de las zonas áridas y semiáridas. En comparación con los animales domésticos son más resistentes a las condiciones del medio ambiente, utilizan mejor la vegetación natural y causan menos deterioro. Los habitantes de las áreas rurales capturan la fauna silvestre para su consumo, los mamíferos silvestres que el hombre caza para su aprovechamiento, pueden representar ingresos adicionales a través de un buen manejo, el cual tiene doble beneficio, es rentable y protege a las poblaciones de fauna silvestre. En México existen 84 especies de mamíferos de importancia cinegética que corresponden a 19 familias con 43 géneros y representan el 19% del total de los mamíferos terrestres.

En la región norte existen 36 especies de mamíferos utilizados para la cacería deportiva, entre ellos destacan el venado mula (*Odocoileus hemionus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), león de montaña (*Felis concolor*), Lince (*Lynx rufus*); dentro de las especies protegidas se encuentran el berrendo (*Antilocapra*

americana) que esta en veda permanente y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) que requiere un permiso especial para su cacería. Los osos (*Ursus americanus* y *U. arctos*) y el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) están en peligro de extinción. Una gran parte de la cacería se realiza fuera de la ley y se debe en gran parte a la poca cultura de protección al medio ambiente y a la casi nula organización de los cazadores. Actualmente la fauna silvestre, sobre todo los grandes mamíferos, necesitan permisos especiales para su caza debido al reducido número de sus poblaciones (López y López 1992, FAO 1996).

La caza, captura y comercialización ponen en peligro especies que son utilizadas como mascotas o trofeos de caza. La escasez de producción en las áreas rurales incrementa la captura de reptiles como la vibora de cascabel (*Crotalus spp.*), ardillas y aves como el halcón peregrino (*Falco peregrinus tundris*), el cual es una especie amenazada. Al disminuir algunas especies predatoras como el halcón, águila y felinos se afecta la cadena alimenticia, teniendo por consecuencia un aumento en poblaciones faunísticas indeseables de pequeños mamíferos roedores, como la liebre.

IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS Y SU SOSTENIBILIDAD

Más allá de los bienes tangibles que tienen un impacto económico directo, existen otros bienes intangibles en los ecosistemas, uno de ellos de importancia fundamental para la vida y la economía de las zonas áridas y semiáridas, que depende del adecuado manejo de la cubierta vegetal, son las cuencas hidrológicas, las cuales regulan la captación, infiltración y abastecimiento de los reservorios, para asegurar el riego en la agricultura, cubrir las demandas de las poblaciones urbanas y conservar el equilibrio ecológico. Sin embargo, los grandes reservorios de agua paulatinamente han venido incrementando los niveles de sedimentos por el deterioro de la vegetación y los suelos de las cuencas hidrológicas que abastecen a estos reservorios, estimándose que en esta región existen 27.4 millones de Ha con alto riesgo de erosión hídrica.

El desarrollo sostenible de los ecosistemas, entendido como la producción de bienes y servicios en el largo plazo sin menoscabo de los recursos naturales, ni la degradación del medio ambiente y con una producción económicamente rentable, no se ha ajustado plenamente en el uso y manejo de los recursos naturales de los agostaderos en México. Ya sea para la extracción de materias primas de la vegetación, de la fauna silvestre o del manejo del ganado en los agostaderos; no se ha logrado la sostenibilidad en el uso de estos recursos, ya que existe un evidente deterioro del medio ambiente a causa de la disminución de la vegetación y aumento en los procesos erosivos, pérdidas en calidad y cantidad de agua y un bajo nivel de vida que se observa en las comunidades rurales.

Las causas del deterioro de los recursos naturales históricamente han sido muy variadas y complejas. El incremento de la población en áreas de condiciones ambientales adversas generó una gran presión sobre los recursos, provocando mayores niveles de pobreza en los campesinos, ya que las actividades agropecuarias y forestales en la mayoría de los casos son de subsistencia, aunado a bajos precios de los productos y a un deficiente esquema de comercialización. En las comunidades existe una escasa o nula organización de los productores, que ocasiona poco acceso a los créditos y a la tecnología.

A menudo se señala que los campesinos de las zonas áridas son responsables de la degradación de los recursos naturales ; sin embargo, su interacción con un medio ambiente hostil y los complejos aspectos socioeconómicos que privan en estas regiones, les ha provocado mayor pobreza y marginación, por lo que podrían considerarse víctimas de su propia circunstancia.

Por lo anterior, es imperativo que se lleven a cabo programas integrales de asistencia a la salud, a la educación, a la infraestructura en comunicaciones como apoyo a la producción y otras más acciones que permitan revertir esta situación. Un aspecto de especial importancia es la generación y transferencia de tecnología, la cual debe aprovechar la experiencia tradicional y estar adaptada a la cultura regional, que permita incrementar la productividad y sea compatible con el uso sostenido y la conservación de los recursos naturales.

El hombre como parte integrante de todos los ecosistemas, los agostaderos no son la excepción, deberá estar consciente que el futuro para la conservación y la sostenibilidad de estos recursos a un largo plazo, dependerá de que sus acciones se adapten a las potencialidades y limitaciones físicas y biológicas de su entorno.

BIBLIOGRAFÍA

- Berlangá, R. C., L.L. González, y L.H. Franco. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de la lechuguilla en condiciones naturales. SARH. INIFAP. CIRNE. Foll. Tec. N°1. México.
- Bosteel, S.D. 1990. Marketing Study of *Simmondsia chinensis*. In: Memorias de la VIII Reunión Internacional sobre Jojoba y sus Usos. Asunción, Paraguay.
- Briones, V.O. 1994. Origen de los desiertos mexicanos. Ciencia 45: 263-279 pp México.

- Cornejo, D.O., L.S. Leigh, R.S. Felger, and C.H. Hutchinson 1982. Utilization of mesquite in the Sonoran Desert: Past and future. In: Proceedings of the Symposium Mezquite Utilization October 29-30 1982. Texas Tech Univ. Lubbock, Texas.
- COTECOCA. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas áridas y semiáridas de México. SARH. Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México. 48 pp.
- De la Garza, P.F. 1985. Comercialización y costos de producción del ixtle de lechuguilla. SARH. INIFAP. Bol. Divul. N° 73 México. 37 pp.
- De la Garza, P.F. Berlanga, R.C. Tovar, V.F. 1992. Guía para el establecimiento y manejo de plantaciones de candelilla. SARH. INIFAP. CIRNE. México, 14 pp.
- FAO 1983. Disponibilidad de leña en los países en desarrollo. Estudio FAO: Montes. No. 42 Roma.
- FAO 1996. Conservación y uso sostenible de la biodiversidad de zonas áridas y semiáridas de América Latina y el Caribe. Estudios de caso. Serie: Zonas áridas y semiáridas N° 8. Santiago de Chile. pp 77-97.
- Galindo, A.S. and M.E. García. 1986. The uses of mezquite in the highlands of San Luis Potosí, México. For Ecol. Manage. 16:49-56.
- García, M. E. and J. T. Balderas 1985. The mescal industry in the Altiplano Potosino Zacatecano of north central México. Desert Plants Vol. 7 (2):81-87.
- INEGI. 1991. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. VII Censo Agropecuario 1991. México, D.F.
- INEGI. 1994. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Estadísticas Históricas de México. México, D.F.
- INEGI. 1995. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos
- López, W.R. y O.G. López 1992. Algunas consideraciones sobre los mamíferos terrestres de importancia cinegética en México. Ciencia 43: 245-260. México.

- MacMahon, J.A., Wagner F.H. 1985. The Mohave, Sonoran and Chihuahuan Deserts of North America. In: *Ecosystems of the World. Hot Deserts and Arid Shrublands*. Eds. Evenari M., Noy-Meir I and Goodall D.W. Elsevier. Pp. 105-202.
- Maldonado, A.L. 1993. Manejo de la cubierta vegetal de las zonas áridas de México. SARH. INIFAP. Bol. Divul. N° 75. 34 pp.
- Martínez, E.M., y R.G. Narro. 1990. Situación actual y perspectivas de las condiciones de vida del productor candelillero. UAAAN. Agrosociedad. Vol. 1, (4): 19-42, Saltillo, Coah. México.
- Medellín, L.F. and G.A. Gómez. 1979. Management of natural vegetation in the semiarid ecosystems of México. In: *Management of semiarid ecosystems*. B.H. Walker Ed. Elsevier Co. 351-376 pp
- Medina, A.L. 1996. The Santa Rita Experimental Range: History and annotated bibliography (1903-1988). USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Ft. Collins, CO. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-276.
- Medina, A.L. and J. Sepúlveda Betancourt. 1987. Strategies for enhance production of beef and jojoba on northern Baja California rangelands. (Estrategias para el aumento de producción de carne y jojoba en los agostaderos de Baja California Norte.) pp. 190-195. In: E.F. Aldon, C.E. González Vicente, and W.H. Moir (Tech. Coords.), *Strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, GTR-RM-150. 257P.
- Nabahn, G.P. Felger R. S. 1985. Wild Desert relatives of crops: Their direct uses as food. In: *Plants for Arid Lands Proceedings*. England 23-27 July 1984. 19-32 pp.
- Ortega, R. S. 1980. Esquema de Muestreo Aleatorio para el Estudio de Poblaciones Naturales de Candelilla. In: *Arid Land Resource Inventories: Developing Cost Efficient Methods*. La Paz, B.C.S. México. Pp.342-345
- Piña, P.F. 1993. Catálogo de plantas útiles de Baja California Sur. SARH, INIFAP, CIRNO Foll. Tec. N° 2 México. 51 pp.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA México. 432 pp.
- SARH. 1993. Sistema ejecutivo de datos básicos. Subsecretaría de Planeación. México.

- SARH 1994 a. Inventario Nacional Forestal Periódico. Memoria Nacional. Subsecretaría Forestal y de Fauna. México, D.F.
- SARH 1994 b. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre. Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales. México.
- Sepúlveda, Betancourt, J.I. and A.L. Medina. 1993. Management of *Yucca schidigera* populations as a sustainable. Pp. 164-171. In: H. Manzanilla et al. (Coords.). Making Sustainability Operational. Symposium Proceedings. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, GTR-RM-240. 232 Pp.
- Sepúlveda, BOJ. 1994. La palmilla *Yucca schidigera* en Baja California. SARH INIFAP CIRNO Foll. Tec. N°8. México.
- Sheldon, S. 1980. Ethnobotany of *Agave lecheguilla* and *Yucca carnerosana* in México's Zona Ixtlera. Economic Botany 34 (4) pp. 376-390.
- Solís, G.G. V.F. González y L.G. Fierros 1992. La Jojoba en la Costa de Hermosillo. SARH INIFAP CIRNO Foll. técnico No. 8. México.
- Wolf, F. y E. Vogel 1986. Características del carbón vegetal en algunas especies madereras del Noreste de México. Ciencia Forestal 59, p 181-189.

ECUACIONES PARA ESTIMAR LA FITOMASA DE *Atriplex canescens*

Meza Sánchez Rigoberto¹

RESUMEN

El trabajo se realizó al sur de Saltillo, estado de Coahuila, con el fin de generar ecuaciones para estimar el peso seco de los componentes de la fitomasa aérea en pie de plantas de *Atriplex canescens*. El tamaño de muestra en el sitio de estudio fue de 70 plantas a las cuales se les midió sus dimensiones para generar un total de 28 variables independientes; después del corte y secado se obtuvo el peso seco de brotes (PSB), de ramas (PSR) y de fitomasa aérea total (PST), como variables dependientes. Para el análisis de las relaciones dimensión-peso se utilizaron los modelos de regresión lineal simple, logarítmico, exponencial y potencial; la selección se basó en el mayor coeficiente de determinación y menor coeficiente de variación. Además de estos criterios, para seleccionar la ecuación de estimación se consideró la independencia de residuales y la utilidad práctica de la variable predictora. Las relaciones dimensión-peso se explicaron mejor a través de un modelo de tipo potencial de la forma $Y=aX^{b+E_i}$; la variable predictora fue el diámetro promedio (DP) de la cobertura aérea de las plantas; considerando la media aritmética de la medición de 4 diámetros de cobertura, las ecuaciones son: $PSB = 0.30472(DP)^{1.611365}$, $PSR = 0.03405(DP)^{2.44254}$ y $PST = 0.03745(DP)^{2.21993}$. Por lo tanto, fue posible generar ecuaciones de estimación para el *A. canescens*.

Palabras clave: *Atriplex canescens*, análisis dimensional, fitomasa aérea, ecuaciones de estimación.

ABSTRACT

This study was carried out at the south of Saltillo in Coahuila state with the aim of obtaining dry weight estimation equations for the aerial biomass components of standing plants of *Atriplex canescens*. Sampling size at the site of study was of 70

¹ M.C. Investigador del Campo Experimental Todos Santos, CIR-Noroeste, INIFAP, SAGAR.

plants, in each was recorded its dimensions in order to obtain 28 independent variables; after cutting and dry of the componentes, it was obtained the following dependent variables such as dry weight of sprouts (PSB), branches (PSR) and total aerial biomass (PST). The analysis of the existing relationships between dimensions and weight was performed using the logarthimic, exponential and power lineal regression models. The criteria used for model selection was based on the highest determination coefficient, and the lowest variation coefficient, furthermore, it was considered in selecting the best equation the residual independence and the practical use of the predictor variable. The relationships between dimensions and weight were very well explained by the model with the following form $Y = a X^{b + E_i}$, the predictor variable was average diameter (DP) of the crown projected on the soil which was recorded considering the arithmetic mean for 4 crown diameter measurements, the obtained equations were $PSB = 0.30472 (DP)^{1.611365}$, $PSR = 0.03405 (DP)^{2.44254}$ y $PST = 0.03745 (DP)^{2.21993}$

Key words: *Atriplex canescens*, dimensional analysis, aerial biomass, estimation equations.

INTRODUCCIÓN

El *Atriplex canescens* (costilla de vaca) es una especie de amplia distribución en las zonas áridas y semiáridas del norte de México. Se considera excelente para la conservación de suelo y agua, así como para la producción de forraje de buena calidad; es capaz de producir y retener durante todo el año, una gran cantidad de su tejido foliar de alto contenido protéico. Por ello, es una fuente importante de forraje y proteína para la mayoría de las especies animales (Valencia *et al.*, 1981)².

Una de las principales limitantes para el adecuado aprovechamiento de esta especie, es la escasa información que se tiene del potencial productivo en las áreas de distribución. El método de cosecha es un método de campo que se puede utilizar en su evaluación; sin embargo, requiere de la remoción total del material vegetal en la unidad de muestreo, consume tiempo y además es costoso (Uresk *et al.*, 1977)³.

² Valencia C., M.; J. Gastón C. y R. Nava C. 1981. Época y frecuencia de utilización de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.

³ Uresk, W. D.; R. O. Gilbert and W. H. Rickard. 1977. Sampling big sagebrush for phytomass. pp. 311-314.

Un método económico y no destructivo que se puede utilizar para tal propósito es el conocido como análisis dimensional, que se estima puede ser hasta 120 veces más económico que el método de cosecha (Ludwig *et al.*, 1975⁴ y Uresk *et al.*, *op. cit.*).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue el generar ecuaciones para estimar el peso seco de los componentes de la fitomasa aérea en pie de plantas de *Atriplex canescens*.

REVISIÓN DE LITERATURA

La teoría de modelos utilizada en la Física y en el desarrollo tecnológico, se puede aplicar exitosamente en la Biología para obtener soluciones numéricas en cualquier función biológica definida en el sistema tridimensional de masa, longitud y tiempo (Günther, 1975)⁵. Menciona que el peso del cuerpo de un organismo, es un adecuado índice de referencia para su correlación con diferentes características fisiológicas y morfológicas; y que el análisis dimensional y los criterios de similaridad (geométrica) son un valioso procedimiento para la predicción de múltiples parámetros de estas características.

El análisis dimensional es un método mediante el cual se toman medidas de fácil obtención de las dimensiones de las plantas o de sus partes y se relacionan con el peso de su fitomasa mediante la técnica de la regresión estadística. Estas relaciones, se hacen con el propósito de generar ecuaciones para estimar la fitomasa total de los individuos o de alguna(s) de sus partes; o bien, para elaborar tablas o tarifas de producción utilizadas para los mismos propósitos (Woodwell y Whittaker, 1968⁶; Ohmann *et al.*, 1976⁷; Berlanga *et al.*, 1992⁸ y Saénz y Villavicencio, 1993⁹).

Su aplicación en *Atriplex canescens* se ha reportado en distintas áreas del país. En el noreste de Zacatecas mediante una función lineal se obtuvieron altos coeficientes de correlación (>0.90) al relacionar el volumen con el peso seco total de las plantas y al

⁴ Ludwig, A. J.; J. F. Reynolds and P. D. Whitson. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan Desert shrubs. pp. 451-461.

⁵ Günther, B. 1975. Dimensional analysis and theory of biological similarity. pp. 659-699.

⁶ Woodwell, G. M. and R. H. Whittaker. 1968. Primary production in terrestrial ecosystem. pp. 19-30.

⁷ Ohmann, F. L.; D. F. Grigal and R. B. Brander. 1976. Biomass estimation for five shrubs from Northeastern of Minnesota.

⁸ Berlanga R., C. A.; L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales.

⁹ Saénz R., J. T. y E. E. Villavicencio G. 1993. Guía para la evaluación de orégano en el estado de Coahuila.

relacionar este peso con el peso seco de hojas y de tallos, antes y después de su pastoreo (Valencia *et al.*, *op. cit.*).

Al noreste de Durango, Quiñones (1987)¹⁰ encontró que los diámetros mayor y menor de la cobertura aérea fueron variables directas que proporcionaron buenos coeficientes de correlación con el peso de hojas y ramitas del arbusto. Pero, las mejores relaciones se encontraron al utilizar el área, el volumen y el producto de todas las variables directas, además de la combinación de estas variables en un modelo de regresión múltiple.

En el estado de Durango, Antúnez *et al.* (1991)¹¹ encontraron que las variables diámetro basal y el volumen de las plantas fueron las más adecuadas para estimar su fitomasa aérea (brotes y ramas). Los coeficientes de determinación variaron de 0.50 a 0.86 y el error estandar de 0.36 a 221.3 en los modelos exponencial, lineal simple y múltiple.

En el estado de Chihuahua, Gutiérrez y Sierra (1992)¹² determinaron que el modelo lineal fue el más adecuado para estimar la disponibilidad de hojas y tallos utilizando la altura y la cobertura de las plantas. Los modelos se seleccionaron en función del ANVA de la regresión, del cuadrado medio del error y del coeficiente de determinación que fue 0.60 para hojas y de 0.30 para tallos.

Peterson *et al.* (1987)¹³ utilizaron el volumen de las plantas asumiendo diferentes formas de cuerpos geométricos y encontraron coeficientes de determinación de 0.86 a 0.98 mediante un modelo potencial para estimar la fitomasa aérea total y de diferentes componentes en las plantas de esta especie.

¹⁰ Quiñones V., J. J. 1987. Evaluación indirecta de la biomasa de *Atriplex canescens* en el noreste del estado de Durango.

¹¹ Antúnez R., D.; E. Castellanos P.; R. Almeida M. y M. Valencia C. 1991. Predicción de biomasa aérea del chamizo en la época de sequía en el noreste de Durango. pp.1-5.

¹² Gutiérrez R., E. y J. S. Sierra T. 1992. Modelos de regresión para estimar producción de forraje en cinco arbustos del desierto Chihuahuense.

¹³ Peterson, L. J.; D. N. Uereket; R. L. Potter and J. E. Huston. 1987. Ecotypic variation in selected fourwing saltbush populations in Western Texas. 361-366.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El trabajo se realizó en un sitio ubicado a 85 km al sur de la ciudad de Saltillo, estado de Coahuila por la carretera Saltillo-Zacatecas; el área se localiza entre los 24° 48' de latitud norte y los 101° 07' de longitud oeste a una altitud de 1,750 msnm. La vegetación se clasifica como matorral inerme y subinerme, matorral espinoso y vegetación halófito en la parte baja del valle. El clima es seco semicálido, la precipitación media anual varía de 300 a 400 mm con lluvia invernal mayor al 18%; presenta invierno fresco, la temperatura media anual varía de 18 a 20° C (SPP, 1982¹⁴ y CETENAL, 1974¹⁵).

Métodos

El trabajo de campo se realizó en las épocas de primavera y verano del año de 1992 en una población de *Atriplex canescens* caracterizada por plantas poco utilizadas. En esta se procedió a seleccionar las plantas sujetas a medición (n = 70 plantas) tratando de encontrar la mayor variación en la altura de las mismas y se midieron las siguientes dimensiones a una aproximación de 1,0 cm: altura, profundidad del dosel (longitud de la planta con la mayor cantidad de follaje), diámetros de la cobertura aérea (4 diámetros) y diámetros basales (2 diámetros).

Con estas variables se generó un total de 28 variables independientes: 14 de ellas lineales, 5 de superficie (área) y 9 de volumen. Asumiendo que la forma de las plantas es similar a la forma de diferentes figuras y cuerpos geométricos.

Hechas las mediciones, las plantas se cortaron al raz del suelo y posteriormente se separaron los brotes tiernos del material leñoso, esta separación se realizó considerando como brote tierno a las ramillas (con hojas) más delgadas y suculentas. Estos componentes de la fitomasa aérea se colocaron en bolsas de papel previa identificación para su secado, el cual se efectuó en una estufa de aire forzado a 70° C durante cuatro días.

¹⁴ SSP, 1982. Carta estatal de climas.

¹⁵ CETENAL, 1974. Carta uso del suelo, Gómez Farías G-14-C-53, Coahuila.

El peso seco de estos componentes son las variables dependientes en las relaciones dimensión-peso y se pesó con una aproximación de 0.1 g; las variables fueron: peso seco de brotes, peso seco de ramas y peso seco total de la fitomasa aérea en pié.

El análisis estadístico de las relaciones dimensión-peso consistió en realizar la correlación lineal simple entre las variables dependientes e independientes, utilizando los datos originales y los datos transformados a Log_{10} . Hecho esto, se seleccionaron las variables que mostraron una correlación altamente significativa y se realizó su correspondiente análisis de regresión por el método de mínimos cuadrados y su respectivo análisis de varianza; utilizando el modelo general de la regresión lineal simple y los modelos curvilíneos (linealizados) más comunes: Lineal (X-Y), Exponencial (X-LogY), Potencial (LogX-LogY) y Logarítmico (LogX-Y) según Hughes *et al.* (1987)¹⁶, Dean *et al.* (1981)¹⁷ y Little y Hills (1987)¹⁸.

Por otra parte cuando para un mismo valor de la variable independiente se observaron dos o más valores de la variable dependiente, se realizó la prueba de falta de ajuste y error puro (Ostle, 1992)¹⁹. Las relaciones dimensión-peso seleccionadas se sometieron al análisis de residuales mediante la prueba de autocorrelación de Durbin-Watson ($P < 0.05$) y las que presentaron autocorrelación de residuales se corrigieron transformando los datos por el método de dos etapas de Durbin (Neter y Wasserman, 1974²⁰ y Salvatore, 1983²¹).

Los criterios para seleccionar el mejor modelo de regresión fueron: Mayor coeficiente de determinación y menor coeficiente de variación. Para seleccionar la mejor ecuación de estimación además de los dos ya citados se consideró la Independencia de residuales y la utilidad práctica de la ecuación (variable independiente de fácil obtención en el campo) según (Woodwell y Whittaker, *op. cit.*; Ludwig *et al.*, *op. cit.* y Neter y Wasserman, *op. cit.*).

¹⁶ Hughes, G. H., L. W. Varner and L. H. Blankenship. 1987. Estimating shrub production from plant dimension. pp. 367-369.

¹⁷ Dean, J. S.; J. W. Burkhardt and R. O. Meeuwig. 1981. Estimating twig and foliage biomass of sagebrush, bitterbrush, rabbitbrush in Great Basin. pp. 224-227.

¹⁸ Little, M. J. y F. J. Hills. 1987. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura.

¹⁹ Ostle, B. 1992. Estadística aplicada. Técnicas de la estadística moderna, cuando y como aplicarlas.

²⁰ Neter, J. and W. Wasserman. 1974. Applied linear statistical models. Regression, analysis of variance and experimental designs.

²¹ Salvatore, D. 1983. Econometría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dimensiones y Fitomasa de las Plantas

En promedio, las plantas presentaron una altura de 67.6 cm; de ésta, casi el 70.0% presenta la mayor cantidad de follaje (profundidad del dosel). El diámetro promedio de la cobertura aérea fue de 72.8 cm, el área de esta cobertura de 6172.9 cm² y el volumen total de 201.6 dm³; de éste, el 90.6% presenta la mayor cantidad de brotes (Cuadro N° 1).

En este cuadro se observa que el peso seco de los brotes (forraje) representa el 37.6% con un peso promedio de 195.6 g y el resto (62.4%) lo conforma el material de sostén o ramas. En base al análisis de todos los datos, se determinó una relación de 0.84 g de brotes por 1.0 g de ramas; una densidad de brotes de 1.9 g/dm³ y de 4.79 g/dm³ para la densidad total de la fitomasa aérea en pie.

Considerando la alta proporción ocupada por el volumen del dosel, la proporción brotes-ramas y el porcentaje de brotes se puede considerar que estas plantas han estado sujetas a una ligera utilización por ganado doméstico y por ello, sería conveniente iniciar su aprovechamiento en estas áreas.

Esta consideración se basa en lo mencionado por Roundy *et al.* (1987)²², Vora (1988)²³ y Creamer *et al.* (1991)²⁴ dicen que las plantas sujetas a una fuerte utilización presentan copas más pequeñas y compactas, reducen su producción de forraje y en general tienen una mayor cantidad de fitomasa aérea por unidad de volumen con respecto a plantas poco utilizadas; la comparación de estos dos tipos de plantas la realizó Quiñones (*op. cit.*) y Meza (1993)²⁵.

²² Roundy, A. B.; G. B. Ruyle; a: K. Dobrenz; V. Wilson and D. Floyd. 1987. Growth, nutrient and water status of jojoba (*Simmondsia chinensis*) in relation to livestock grazing. pp. 146-153.

²³ Vora, S. R. 1988. Predicting biomass of five shrub specie in Northeastern California.

²⁴ Creamer W., H. N.; C. L. Wambolt and R. J. Rossi. 1991. Comparision of three groups of variables for predicting big sagebrush forage production. pp. 217-221.

²⁵ Meza S., R. 1993. Uso del análisis dimensional para la estimación de los componentes de fitomasa aérea de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.

DIMENSIONES	MEDIA	RANGO
Altura (cm)	67.6	120.0
Profundidad del dosel (cm)	43.5	71.0
Diámetro de cobertura (cm) ¹	72.8	215.7
Área de cobertura (cm ²) ²	6172.9	43958.7
Área basal (cm ²) ²	77.0	628.0
Volumen total (dm ³) ³	201.6	1912.9
Volumen del dosel (dm ³) ³	170.2	1700.0
MATERIA SECA (g)		
Brotos (hojas + ramitas tiernas)	195.6	1249.5
Ramas	553.2	6620.2
Total (ramas + brotos)	748.8	7871.7

1- Media geométrica de 4 diámetros. 2- Área de un elipse. 3- Volumen de un cono elíptico truncado.

Cuadro 1. Características dimensionales y peso seco de los componentes de la fitomasa aérea en pie de las plantas de *Atriplex canescens*.

Modelos de Regresión

En base al análisis estadístico se seleccionó el diámetro de cobertura, área de cobertura, volumen total y volumen del dosel (Cuadro N° 1) y los resultados del análisis para la selección del mejor modelo de regresión se muestran en el Cuadro N° 2.

De acuerdo a los resultados, el modelo potencial es el que mejor explica las relaciones dimensión-peso en estas plantas; consistentemente se observa que el coeficiente de determinación es más alto y el coeficiente de variación es menor respecto al resto de los modelos. Este modelo presenta buenos resultados cuando existe alta variabilidad en la población de plantas, tanto en sus dimensiones como en el peso de los componentes de la fitomasa, así como cuando esta se encuentra disponible en grandes cantidades (Rutherford, 1979²⁶; Bryant y Kothmann, 1979²⁷ y Sierra, 1990²⁸).

²⁶ Rutherford, M. C. 1979. Plant-based techniques for determining available browse utilization: A review. pp. 203-228.

²⁷ Bryant, C. F. and M. M. Kothmann. 1979. Variability in predicting edible browse from crown volume.

²⁸ Sierra T., J. S. 1990. Análisis productivo forrajero de mariola (*Parthenium incanum* H.B.K.) un enfoque autoecológico.

MODELOS PARA BROTES	R²	C.V.
Lineal	74.7 - 81.6	53.2 - 45.4
Logarítmico	50.1 - 51.9	74.7 - 73.4
Exponencial	43.3 - 74.6	16.5 - 11.0
Potencial	85.8 - 87.6	8.2 - 7.7
MODELOS PARA RAMAS		
Lineal	66.6 - 89.0	97.3 - 55.7
Logarítmico	36.0 - 37.9	134.7 - 132.6
Exponencial	45.0 - 80.8	21.1 - 12.5
Potencial	91.5 - 93.5	8.2 - 7.2
MODELOS PARA PESO TOTAL		
Lineal	72.9 - 92.9	76.4 - 39.0
Logarítmico	41.3 - 43.2	112.5 - 110.7
Exponencial	47.5 - 83.2	16.4 - 9.3
Potencial	93.6 - 95.6	5.7 - 4.7

Cuadro 2. Criterios para la selección de los modelos de regresión en las plantas de *Atriplex canescens*.

Ecuaciones de Estimación

De acuerdo a los resultados que se presentan en el Cuadro N° 3 y con base a los criterios para la selección de la ecuación de estimación, se considera que el diámetro promedio de la cobertura aérea de las plantas de *Atriplex canescens* es la variable independiente que se puede utilizar en la estimación de la fitomasa de las plantas.

Esto obedece a que es la variable que se puede obtener en el campo con mayor facilidad al considerar la media aritmética de los 4 diámetros de cobertura; no obstante tener similares coeficientes de determinación y variación con respecto al resto de las variables independientes.

PESO DE BROTES	R²	C.V.	I.R.
Diámetro promedio	88.16	11.81	D.T.
Área de cobertura	87.12	12.07	D.T.
Vol. total	87.15	11.61	D.T.
Vol. del dosel	88.54	10.29	D.T.
PESO DE RAMAS			
Diámetro promedio	92.95	10.46	D.T.
Área de cobertura	91.49	11.11	D.T.
Vol. total	93.51	8.87	D.T.
Vol. del dosel	92.07	10.97	D.T.
PESO TOTAL			
Diámetro promedio	95.23	4.95	D.N.T.
Área de cobertura	93.51	7.0	D.T.
Vol. total	95.62	4.74	D.N.T.
Vol. del dosel	94.50	5.31	D.N.T.

D.T.- Datos transformados para corregir autocorrelación de residuales.

D.N.T.-Datos que presentaron independencia de residuales (I.R.).

Cuadro 3. Relaciones dimensión-peso de las plantas de *Atriplex canescens* en el modelo potencial.

Conviene mencionar que en el análisis estadístico la falta de ajuste en el modelo fue no significativa, esto descarta la posibilidad de utilizar un modelo de tipo polinomial.

En su forma aritmética la ecuación para estimar el peso seco de brotes (PSB), peso seco de ramas (PSR) y el peso seco total de la fitomasa aérea en pie (PST) utilizando el diámetro promedio (DP) como variable predictora, se presenta de la siguiente manera, con límites para la variable independiente entre los 9.25 a 225.0 cm.

- $PSB = 0.30472(DP)^{1.61135}$
- $PSR = 0.03405(DP)^{2.44254}$
- $PST = 0.03745(DP)^{2.21993}$

El diámetro promedio como variable predictora rinde buenos resultados cuando las plantas presentan un crecimiento lateral mayor al crecimiento en altura (Hughes *et al.*, *op. cit.* y Cavazos, 1987²⁹); de ahí que los valores en el coeficiente de regresión en la ecuación para peso de ramas y total revelan en cierta forma el patrón de crecimiento de estas plantas.

²⁹ Cavazos D., J. R. 1987. *Production in natural populations of oregano Lippia berlandieri in Mexico.*

Según Little y Hills (*op. cit.*) el peso estará en función de una potencia del diámetro entre 2 y 3 cuando el crecimiento lateral es mayor que el de la altura; recomiendan que el uso de estas ecuaciones debe emplearse en plantas cuyas dimensiones se encuentren entre los límites explorados. Por otra parte, es conveniente que estas ecuaciones sean validadas antes de su uso en algún trabajo de inventario.

CONCLUSIONES

Con base a los criterios estadísticos y prácticos que se establecieron en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

- Es posible generar ecuaciones para estimar la fitomasa aérea en plantas de *Atriplex canescens*.
- El modelo de regresión potencial es el que mejor explica las relaciones dimensión-peso de las plantas de *A. canescens*.
- El diámetro promedio de la cobertura aérea de las plantas es la mejor variable predictora en la ecuación para estimar el peso seco de brotes, de ramas y de la fitomasa aérea total de las plantas de *A. canescens*.

LITERATURA CITADA

- Antúnez R., D.; E. Castellanos P.; R. Almeida M. y M. Valencia C. 1991. Predicción de la biomasa aérea del chamizo en la época de sequía en el noreste de Durango. *Rev. Manejo de Pastizales*. México. 4(3):1-5.
- Berlanga R., C. A.; L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Tec. N°1. C.E. La Saucedá. Saltillo, INIFAP, SAGAR. Coahuila. 22 p.
- Bryant, C. F. and M. M. Kothmann. 1979. Variability in predicting edible browse from crown volume. *J. Range Manage.* 32(2):144-146. USA.

- Cavazos D., J.R. 1987. Production in natural populations of oregano *Lippia berlandieri* in Mexico. Thesis M.Sc. Arizona State University, USA.
- CETENAL. 1974. Carta uso del suelo. Gómez Farías G-14-C-53. Coahuila. Escala 1:50000.
- Creamer W., H. N.; C. L. Wambolt and R. J. Rossi. 1991. Comparison of three groups of variables for predicting big sagebrush forage production. *In: Gen. Tech. Rep. INT-289*. USDA Forest Service. p:217-221.
- Dean, J. S.; J. W. Burkhardt and R. O. Meeuwig. 1981. Estimating twig and foliage biomass of sagebrush, bitterbrush and rabbitbrush in Great Basin. *J. Range Manage.* 34(3):224-227.
- Günther, B. 1975. Dimensional analysis and theory of biological similarity. *Physiol. Rev.* 55(4):659-699. USA.
- Gutiérrez R., E. y J. S. Sierra T. 1992. Modelos de regresión para estimar producción de forraje en cinco arbustos del desierto Chihuahuense. En: Resúmenes. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. INIFAP, SARH. Chihuahua, México. p 394.
- Hughes, G. H.; L. W. Varner and L. H. Blankenship. 1987. Estimating shrub production from plant dimension. *J. Range Manage.* 40(4):367-369. USA.
- Little, M. J. y F. J. Hills. 1987. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. México. 270 p.
- Ludwig, A. J.; J. F. Reynolds and P. D. Whitson. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan Desert shrubs. *Am. Midl. Nat.* 94(2):451-461. USA.
- Meza S., R. 1993. Uso del análisis dimensional para la estimación de los componentes de la fitomasa aérea de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Tesis. M.C. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 80 p.
- Neter, J. and W. Wasserman. 1974. Applied linear statistical models. Regression, analysis of variance and experimental designs. Richard D. Irwin. USA, 842 p.
- Ohmann, F. L.; D. F. Grigal and R. B. Brander. 1976. Biomass estimation for five shrubs from Northeastern of Minesota. USDA Forest Service. Research Paper NC-133. 11 p.

- Ostle, B. 1992. Estadística aplicada. Técnicas de la estadística moderna, cuándo y dónde aplicarlas. Ed. LIMUSA. México. 629 p.
- Peterson, L. J.; D. N. Uercket; R. L. Potter and J. E. Huston. 1987. Ecotypic variation in selected fourwing saltbush populations in Western Texas. *J. Range Manage.* 40(4):361-366.
- Quiñones V., J. J. 1987. Evaluación indirecta de la biomasa de *Atriplex canescens* en el noreste del estado de Durango. Tesis M.C. UACH. Chihuahua, México. 96 p.
- Roundy, A. B.; G. B. Ruyle; A. K. Dobrenz; V. Wilson and D. Floyd. 1987. Growth, nutrient and water status of jojoba (*Simmondsia chinensis*) in relation to livestock grazing. In: Gen. Tech. Rep. INT-222. USDA, Forest Service. pp. 146-153.
- Rutherford, M. C. 1979. Plant-based techniques for determining available browse utilization: A review. *Bot. Rev.* 45(2):203-228. USA.
- Saénez R., J. T. y E. E. Villavicencio G. 1993. Guía para la evaluación de orégano en el estado de Coahuila. Folleto Tec. N° 6. C.E. La Sauceda. Saltillo, INIFAP. SARH. Coahuila. 16 p.
- Salvatore, D. 1983. Econometría. Serie de compendios Schawm. McGraw-Hill. México. 201 p.
- SPP. 1982. Carta estatal de climas. Coahuila. Coordinación Gral. de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Escala 1:1000000.
- Sierra T., J. S. 1990. Análisis productivo forrajero de mariola (*Parthenium incanum* H.B.K.) un enfoque autoecológico. Tesis M.C. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 158 p.
- Uresk, W. D.; R. O. Gilbert and W. H. Rickard. 1977. Sampling big sagebrush for phytomass. *J. Range Manage.* 30(4):311-314.
- Valencia C., M., J. Gastó C. y R. Nava C. 1981. Época y frecuencia de utilización de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Monog. Tec. Cient. Vol.7 No.1. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 67 p.
- Vora, S. R. 1988. Predicting biomass of five shrub species in Northeastern California. *J. Range Manage.* 41(1):63-65.

Woodwell, G. M. and R. H. Whittaker. 1968. Primary production in terrestrial ecosystem. *Am. Zool.* 8:19-30. USA.

ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DE *Pinus douglasiana* Martínez Y *Pinus lawsonii* Roehl EN LA REGIÓN CENTRAL DE MICHOACÁN.

Aguilar Ramírez Mario.¹

RESUMEN

México es un país con importantes recursos forestales pero, cuya magnitud y características no son aún lo suficientemente conocidas para contar con las bases necesarias que permitan aplicar una silvicultura más eficiente y propicie un óptimo aprovechamiento de los mismos, es decir, no se conocen las características de desarrollo ni los hábitos de vida y crecimiento de los árboles y masas forestales.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como propósito estudiar las características de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl, mostrar las técnicas utilizadas para su estudio y probar un modelo matemático propuesto en este tipo de trabajos, el cual se realizó en el Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, ubicado en Uruapan, Michoacán, México.

La elección de los árboles muestra se realizó en parajes seleccionados, en los que previamente se había definido la calidad de estación. La secuencia metodológica fue a través de una serie de análisis troncales de 40 árboles, 20 por especie, obteniéndose así las curvas de crecimiento en altura, diámetro y volumen en relación a la edad.

Estas curvas se analizaron, derivándose la información que originó una tabla con las características epidométricas por especie y calidad de estación, las cuales son; edad, diámetro normal (DAP) sin corteza, DAP con corteza, altura, volumen, incremento corriente anual (ICA), índice de localidad, edad a 1.30 m., edad al primer y segundo aclareo, turno técnico y turno absoluto.

Para el ajuste de altura, se utilizó el modelo matemático de Schumacher con la ecuación: $LnH_0 = LnH_{max} b/Ak$, mediante el cual se obtuvieron las ecuaciones que

¹ Ingeniero Agrónomo especialista en bosques, Investigador del C. E. Uruapan. CIR-Pacífico Centro, INIFAP, SAGAR

proporcionan los valores ajustados del crecimiento en altura y las tarifas de crecimiento en altura por especie y calidad, teniéndose una correlación promedio de 99%.

Para las curvas de calidad de estación, se utilizó la fórmula:

$$\text{LnS} = a + (\text{LnHo} - a)(A/A_i)^k,$$

y las curvas así obtenidas se hicieron pasar por los valores de índice de localidad, que delimitan las calidades de estación y que indican el valor de la productividad en forma cualitativa.

Esta misma fórmula se utilizó también para determinar el índice de sitio de los rodales del área de estudio, dada su edad y altura dominante ubicándolos en la calidad correspondiente y obteniéndose así un mapa por calidades de estación.

Palabras clave: Curvas de crecimiento, densidad, *Pinus douglasiana*, *Pinus lawsonii*, Michoacán.

ABSTRACT

Mexican forest resources are very important however, knowledge as to their extent and characteristics is still insufficient to provide a basis for the application of efficient silvicultural methods, or to assure the optimum utilization of the resources.

This study obtains the growth patterns of *Pinus douglasiana* Martínez and *Pinus lausonii* Roetzl, and illustrates the technique used to test a mathematical model. Data was obtained in Barranca de Cupatitzio experimental station in the state of Michoacán, México.

The sample trees were selected in pairs within predefined site classes providing material for the construction of a series of stem analyses of 40 trees (20 of each specie) Curves of height, diameter and volume growth in relation to age were obtained.

Further analyses permitted the construction of a production table by species by site quality. The table include age, diameter at breast (DBH) over bark, and (DBH) under bark height, volume, form factor, current annual increment (CAI), and mean anual increment (MAI) in volume, site index, age to reach breast heighty, technical and absolute rotation and the total production.

A mathematical model based on the Schumacher equation was used selected from four models tested:

$$\text{LnHo} = \text{LnHmax} + b/\text{Ak}$$

This provided height growth tariffs by species site quality with a mean coeficient of determination of 99%.

The folowing formula was used:

$$\text{LnS} = a + (\text{LnHo} - a) (A/\text{Ai})^k$$

wich forced the curves to pass through the site class value at the index ages, thus defining the site classes.

The same formula was used to determine site index of the stand in the studied area from their age and dominant heigh, from which a site quality map was obtained.

Key words: growth curves, density, *Pinus douglasiana*, *Pinus lawsonii*, Michoacan.

INTRODUCCIÓN

México es un país con grandes recursos forestales en el que por sus diversas características y muy particulares condiciones ecológicas, las coníferas han alcanzado una plena expresión florística contándose con 3 familias, 8 géneros y más de 90 especies y variedades, de las que la familia de las pináceas, específicamente el género *Pinus*, es el que por su abundancia, el valor de sus productos y la gran variedad de especies, resulta ser el más importante económicamente.

A pesar de la potencialidad de este recurso aun no es factible satisfacer la demanda creciente de los productos del bosque y sus derivados, lo que se debe a la poca tradición forestal del país y al desconocimiento de los patrones de respuesta de los árboles y masas forestales a las prácticas de manejo silvícola, entre otras causas: del total de la superficie arbolada, tan solo 8.5 millones de hectáreas, esto es el 19.5%, se encuentra bajo alguna forma de uso forestal, no aprovechándose el resto.

Por ello y ante la necesidad urgente de lograr el progreso de la silvicultura, una de las finalidades del presente trabajo es la de contribuir al conocimiento acerca del comportamiento de las especies, partiendo de la premisa de que un bosque no es una

entidad estática sino un ente dinámico. Tal conocimiento es básico, pues de las características ecológicas y silvícolas de las especies, es decir de sus hábitos de vida y crecimiento, se deben determinar los parámetros para el estudio de la silvicultura y ordenación como son; índices de localidad, época e intensidad de los aclareos, turnos, incrementos, etc., con los cuales se definen los tratamientos silvícolas a aplicar.

Una de las tendencias actuales para el desarrollo de estos estudios es el empleo de los Modelos Matemáticos de Crecimiento, que es la aplicación de las matemáticas a la silvicultura con el propósito de simular y predecir las características de árboles y masas forestales en el tiempo y en el espacio, aprovechando el conocimiento de las leyes naturales que rigen su desarrollo. Es por ello que ante la necesidad y la importancia de realizar este tipo de estudios, se muestran las técnicas usadas en el estudio del crecimiento de 2 especies del género *Pinus*; *P. douglasiana* Martínez y *P. lawsonii* Roehl, en el Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, ubicado en la región purépecha, Michoacán, las cuales por su grado de presencia y desarrollo son unas de las más importantes de la región central del estado.

Los objetivos del estudio realizado, fueron determinar las características epidométricas de las especies en estudio y con ellas determinar, mediante un modelo matemático, las tarifas de crecimiento en altura, las curvas de índice de sitio y desarrollar un mapa por calidad de estación que cubre parcialmente el área de estudio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Arteaga (1982)², señaló que entre los métodos indirectos para evaluar la calidad de estación se encuentra el método fisiográfico, desarrollado por Hills en 1952, el cual consiste en evaluar simultáneamente los factores físicos y bióticos de cada región. La clasificación entre los distintos tipos fisiográficos de sitio se atribuye a las diferencias encontradas en los gradientes de temperatura, humedad del suelo, fertilidad del suelo y exposición. Así mismo, puntualizó sobre las ventajas y limitaciones del método en proyectos de reforestación.

Rodríguez (1982), a través de un método combinado que utiliza las técnicas de análisis troncal y el levantamiento de suelos, determinó el índice de sitio para *Pinus montezumae* en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, estado de Puebla, a través de la relación edad-altura y propiedades físico-químicas del suelo. Este autor

² Arteaga M., B. 1982. Evaluación de la calidad de estación con base a características fisiográficas. In: Resumen de Seminario de Investigación. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

considera para este propósito tres rangos altitudinales, tres exposiciones y tres niveles de pendiente, determinando tres calidades de estación, a la edad base de 50 años para cada una de las altitudes y exposiciones respectivamente.

Actualmente con el Método de Desarrollo Silvícola, los índices de sitio se determinan con base a la relación que existe entre la edad media-altura dominante del arbolado en cada sitio, se grafican los puntos de esta relación y se trazan curvas para definir los índices de sitio; de acuerdo al rango total de variación en altura a la edad base (50 ó 100 años). Dependiendo de la variación en la relación edad-altura del arbolado y a criterio del responsable de manejo, se pueden definir desde 1 a 5 índices de sitio.

Maldonado (1983), describe la secuencia de los pasos básicos de una metodología específica para construir curvas de índice de sitio, haciendo hincapié en las ventajas del índice de sitio como una herramienta de gran utilidad para el silvicultor para predecir la productividad de los suelos forestales. Además recomienda iniciar o intensificar, según sea el caso, estudios sistemáticos para determinar el índice de las especies forestales de mayor importancia económica en toda el área forestal del país, como una medida inicial para lograr un manejo forestal adecuado de los bosques de coníferas.

Arteaga y Rodríguez (1983)³, con datos obtenidos a partir del análisis troncal de 81 árboles dominantes de *Pinus montezumae* en el Campo Experimental San Juan Tetla, estado de Puebla, desarrollaron curvas polimórficas de índice de sitio con edad base invariante, logrando el mejor ajuste a sus datos con la ecuación desarrollada por Clutter y Lenhart (1968), $dY/dx = b X + b Y$; donde dY/dx es el incremento en altura al momento considerado, calculado a partir del ajuste de las secciones i e $i-1$.

Maldonado (*op. cit.*), elaboró siete curvas polimórficas de índice de sitio a una edad base de 50 años para *Pinus oaxacana*, en la región Los Coatlán, estado de Oaxaca, utilizando 468 árboles dominantes y codominantes de rodales puros y coétaneos. Este mismo autor obtuvo además 2 ecuaciones de crecimiento para predecir el incremento en diámetro y área basal bajo diferentes combinaciones de densidad e índice de sitio.

Arteaga y Rodríguez (1985)⁴, construyó curvas polimórficas de índice de sitio con edad base a 35 años para *Pinus patula* en la región Chignahuapan-Zacatlán, estado de Puebla, a partir de información obtenida de análisis troncal utilizando la ecuación de Richards modificada. Evaluó la expresión obtenida del ajuste de la ecuación a través de un procedimiento no lineal para edades obtenidas a través de análisis troncal y taladro

³ Arteaga M., B. y C. Rodríguez F. 1983. Índice de Sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en el Campo Experimental Foestal San Juan Tetla.

⁴ Arteaga M., B. y C. Rodríguez F. 1985. Índice de Sitio para *Pinus patula* Schel et Cham., en la región Chignahuapan-Zacatlán, Pue.

de Pressler, encontrando que los primeros ofrecen mayor calidad de información, aun cuando presentan el inconveniente del elevado costo de su obtención.

Garnica (1987)⁵, construyó curvas anamórficas de índice de sitio, mediante el método de la curva guía para rodales puros coetáneos de *Pinus pseudostrobus* de la región El Tlacuache de San Pedro el Alto, Zimatlán, estado de Oaxaca, utilizando el modelo de Schumacher ($\ln(h)=b_0+b_1E-1$), separó 5 calidades de estación a intervalos de 3 metros con edades de 5 hasta 100 años, considerando una edad base de 50 años.

Benavides (1987)⁶, a través de análisis troncal de 25 árboles de *Pinus michoacana* y de 6 *Pinus oocarpa* del área demostrativa forestal Tapalpa, Jalisco, ajustó curvas de índice de sitio, desarrollando la metodología descrita por Alder (1980), empleando el modelo de Schumacher ($\ln H = a + b (1/Ek)$), con el cual se obtuvieron curvas polimórficas, utilizando la edad a la altura de 1.30 m, en lugar de la edad total y como edad base 45 años.

Aguilar (1981a⁷ y 1982b⁸), utilizó el modelo de Schumacher para realizar tarifas de volúmenes a partir de análisis troncales, así como para realizar estudios de crecimiento.

Chester (1973)⁹, mostró los procedimientos y desarrollo de un modelo matemático para graficar relaciones entre variables, como una extensión de componente simple. El autor menciona todo sobre componentes múltiples y modelación multidimensional. Estos procedimientos son particularmente usados en la descripción única de los principales efectos e interacciones.

Trousdell, Beck y Lloyd (1974), presentaron la construcción de curvas polimórficas de índice de sitio para rodales naturales de Pino Loblolly (*Pinus taeda* L.) en la llanura costera del Atlántico, que se desarrollaron a partir de análisis troncales, usando un modelo de crecimiento sigmoideo. Estas nuevas curvas dan estimaciones no influenciadas de índice de sitio que son consistentemente mejor que aquellas generadas por curvas existentes.

Bailey y Clutter (1974)¹⁰, mostraron un método matemático para el ajuste de curvas de índice de sitio, utilizando para ello la regresión jerárquica, lo que implica el uso de

⁵ Garnica S., Z. 1987. Índice de Sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en la región del Tlacuache, San Pedro el Alto, Oax.

⁶ Benavides S., J. D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante Índice de Sitio del *Pinus michoacana* *cornuta* Martínez y *Pinus Oocarpa* Schiede para el A.D.F. Tapalpan, estado de Jalisco.

⁷ Aguilar R., M. 1981a. Armonización de crecimiento para determinar la calidad de estación. pp. 169-183.

⁸ Aguilar R., M. 1982b. La Ecuación de Schumacher y su aplicación en estudios del crecimiento y clase de sitio.

⁹ Chester, E. J. 1973. Matchacurve-3: multiple component and multidimensional mathematical models for natural resource studies

¹⁰ Bailey, R. L. y J.L. Clutter. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. pp. 155-159.

estimadores de pendiente común, término independiente común y del análisis de covarianza; muestran además que es posible calcular el coeficiente no lineal k directamente, usando un modelo de regresión que contiene a este coeficiente en forma lineal, asumiendo que se tienen datos de mediciones sucesivas, (de parcelas permanentes de muestreo o de análisis de fustes) de modo que se pueda estimar el incremento de la altura.

Fries (1974)¹¹, mostró en forma resumida una colección de documentos de la IUFRO, en los que se muestran varias ideas útiles sobre la construcción de modelos de crecimiento.

Hanson (1975)¹², describió brevemente un modelo que pronostica el crecimiento de rodales y el rendimiento en volúmenes a partir de datos de índice de sitio, área basal, árboles por acre y edad del rodal; el modelo es válido para rodales con edad de 20 a 160 años y es válido para predecir los efectos de aclareos.

Barrett (1978)¹³, obtuvo al derivar datos de análisis troncales en 27 parcelas de Oregon y 3 en Washington, el crecimiento en altura, las curvas de sitio y las ecuaciones para rodales coetáneos manejados de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Laus.) al este de Cascade Range en Oregon y Washington, Estados Unidos de América. Las curvas proveen estimadores válidos del índice de sitio y del crecimiento potencial en altura, donde dicho crecimiento no ha sido suprimido por una densidad alta o por factores relacionados.

Franco (1978)¹⁴, realizó un intento para incorporar conceptos fundamentalmente biológicos en los modelos aplicados en la ciencia forestal, desarrolló un modelo con base en principios biológicos, pero para la calibración del mismo tuvo que depender de una tabla normal de producción y dar como hecho el que la forma de la copa del *Pinus hartwegii* es cónica.

Stolyarov y Kuznetsova (1978)¹⁵, revisaron la literatura publicada referente a la aplicación de los métodos dendrocronológicos para el estudio de crecimiento de rodales. Las investigaciones fueron hechas entre 1968-1976 en rodales no coetáneos de *Picea abies* en el noroeste de Rusia, por examen de todos los anillos de cada árbol en las parcelas; el porcentaje de incremento corriente en volumen fue analizado por

¹¹ Fries, J. 1974. Growth models for tree and stand simulation.

¹² Hanson, T. J. 1975. Computer technique for projecting yields of even aged red pine in the lake state. pp. 428-429.

¹³ Barret, W. J. 1978. Height growth and site index curves for managed even-aged stands of Ponderosa pine in the Pacific North.

¹⁴ Franco B., M. 1978. Simulación demográfica y productiva de poblaciones uniespecíficas de árboles.

¹⁵ Stolyarov, D. P. y V. G. Kuznetsova. 1978. Ispo'lyzovanie metoda dendro khronologii dlya izucheniya zakonomernostey rosta drevostoev. pp. 3-10-

décadas sobre periodos de 40 años para árboles de varias generaciones, el incremento del vigor disminuyó gradualmente con el aumento de edad de los árboles. La regeneración natural y la mortalidad fueron también analizados usando el instrumento de EKLUND ADDO-X y se desarrolló un modelo para el proceso natural continuo de regeneración.

Chester (*op. cit.*), presentó la función designada para generar una infinita variedad de curvas en forma de campana, las características de las cuales son sujetas de control por el analista, estas curvas o porciones de ellas, a lo largo de las curvas de la clase son usadas en el desarrollo de los descriptores matemáticos para hipótesis gráficas de las relaciones entre variables continuas (relaciones de regresión), éstas son particularmente usadas cuando la hipótesis es de forma única y/o contiene interacciones complejas mostrando una aplicación pentadimensional.

Alder (1980)¹⁶, describió diversos métodos para el estudio del crecimiento y la predicción del rendimiento en un manual de procedimientos prácticos en el que se muestran los métodos estadísticos y matemáticos para la construcción de modelos de crecimiento.

Winston y Demaerschalk (1981)¹⁷, discutieron brevemente la aplicación de modelos de regresión lineales y no lineales para curvas de crecimiento en bosques. En particular, cuatro modelos lineales y dos no lineales (Chapman-Richards y la función Weibull modificada). Armonizaron los datos edad-altura para *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus spatula* Schelecht and Cham y *Pinus radiata* D. de Kenia. El error estándar de la estimación y el sesgo de la media para diferentes clases de edad fue usado como base para comparar. Para todas las especies, la función de Weibull modificada fue el mejor modelo no lineal. Una regresión lineal múltiple con la altura como pendiente y la edad al cuadrado como variables independientes, fueron las mejores para las dos especies de pino. Una regresión lineal simple de la altura sobre la edad logaritmo de base e, fue la mejor para *C. lusitanica*.

Adegbehin (1982)¹⁸, hizo referencia al crecimiento y rendimiento de *Pinus patula*, conífera de crecimiento rápido introducida en Sudáfrica a principios del presente siglo y que ha sido usada posteriormente para plantaciones en el este de África. Los datos del crecimiento fueron obtenidos de parcelas muestra temporales en Sao-Hill, al sur de Tanzania en 1977, usando los anillos de crecimiento y el volumen, los que se emplearon para evaluar el índice de sitio y construir tablas de rendimiento.

¹⁶ Alder, D. 1980. Forest volum estimation and yield prediction.

¹⁷ Winston, J. K. And J. P. Demaerschalk, 1981. Height-age function for young stands of exotic timber specie in Kenia.

¹⁸ Adegbehin, J. O. 1982. Growth and yields of *Pinus patula* in some parts of eastern Africa with particular reference to Sao Hill, Southern Tanzania.

El modelo de Schumacher: $\text{LnH}_0 = \text{LnH}_{\text{max}} + b/ak$ (1)

Donde:

LnH_0 = Log. natural de la altura dominante.

LnH_{max} = es el término a en la Educación, su valor queda entre 2 y 7.

b = Coeficiente de regresión que siempre será negativo.

a = Edad de la altura dominante.

k = Parámetro ser ajustado y cuyo valor varía de 0.2 a 2.

ha sido ampliamente utilizado desde que fue presentado por el autor en 1939, como una nueva curva de crecimiento y su aplicación en estudios del rendimiento de madera. Así por ejemplo Schumacher y Coile (1960), presentan el crecimiento y rendimiento de rodales naturales de pinos del suroeste; Alder (op. cit.), describió diversos métodos para el estudio del crecimiento y predicción del rendimiento, mostrando el modelo de Schumacher con un parámetro no lineal K y también una forma múltiple del modelo. Nix *et al.* (1986), utilizaron esta función para calcular los volúmenes de pulpa de madera en estudios de crecimiento y rendimientos en plantaciones de *Pinus taeda*. Farrar y Murphy (1986), utilizaron una modificación de la función de rendimientos de Schumacher para predecir el volumen de rodales de segundo crecimiento de *Pinus taeda* y Cao (1986)¹⁹, comparó dos procedimientos para derivar las distribuciones diamétricas, utilizando el modelo de Weibull y los modelos de Schumacher y Coile.

Avery y Burkhart (1983)²⁰ y Clutter *et al.* (1983)²¹, señalaron que de acuerdo a las técnicas de construcción de curvas de índices de sitio, estas pueden ser anamórficas o polimórficas:

Las curvas anamórficas se caracterizan porque todas las curvas presentan la misma forma, es decir que cada curva para las diferentes clases de índice de sitio guardan la misma proporción. Estas pueden ser construidas por métodos gráficos o bien a través de una ecuación de regresión.

Las curvas polimórficas presentan diferente forma para cada clase de índice de sitio y no guardan proporción para las clases de índice de sitio, estas pueden tomar la forma

¹⁹ Cao, V. Q. 1986. Recovering diameter distributions from Schumacher and Coile's model for Natural even-aged Loblolly pine stand, pp. 514-517.

²⁰ Avery, T. E. and H. E. Burhart. 1983. *Forest measurements*.

²¹ Clutter, J. L., J. C. Forstson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. *Timber Management: a quantitative approach*.

de curvas polimórficas articuladas y no articuladas. En una familia de curvas articuladas, esta relación de proporcionalidad no se mantiene y no llegan a cruzarse dentro de la amplitud de las edades de interés; para la familia de curvas no articuladas no hay una relación constante de proporcionalidad y al menos una de las curvas se cruza dentro de la amplitud de edades consideradas (Clutter *et al.*, *op. cit.*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, se encuentra ubicado en el municipio de Uruapan, estado de Michoacán, en la parte occidental del Eje Neovolcánico y tiene una superficie de 471 hectárea en altitudes que varían entre 1,780 y 2,060 msnm.

La profundidad efectiva de los suelos varía en un rango de 1.10 a 3 m, estos tienen el color 10YR de las tablas de Munsell, entre 3/1 y 6/4. El contenido de materia orgánica varía en un rango de 0.81 a 8.44%, encontrándose a una profundidad de 7.5 cm. las mayores cantidades y las menores a partir de este valor hasta 1.40 m.

En general, puede afirmarse que en el Campo Experimental se encuentran los siguientes tipos de suelos: Andosol, subtipos Húmico y Vitríco y Litosol, subtipos Eútrico y Districo.

El clima según la clasificación de Köppen modificada por García corresponde al tipo (A) C (W²) (W) a (i) g. Es decir, el más cálido de los templados C, con temperaturas medias anuales mayores de 18° C, con periodo de lluvia invernal menor del 5% de las lluvias de todo el año con clima de verano cálido y temperaturas medias del mes más caliente mayor de 22° C. Con una oscilación de las temperaturas medias mensuales de entre 5 y 7° C; el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano y la probabilidad de recibir la media de la lluvia que influye en el crecimiento es del 47.39% que equivale a 1,616.94 mm anuales de precipitación.

La vegetación dominante es bosque de pino-encino, a excepción de pequeñas áreas de malpaís, en donde el afloramiento de rocas basálticas es relativamente reciente y tanto el suelo como la vegetación se encuentran en las primeras etapas sucesionales. Existen otras especies arbóreas, pero éstas se localizan en pequeños microhábitats, por lo que no llegan a constituir comunidades bien definidas, además de una vegetación subarbustiva y algunas gramíneas.

De las asociaciones existentes, 2 de las más importantes son las de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl, de las cuales la primera se encuentra en terrenos más o menos planos con suelos profundos en las 2 fajas de malpaís de origen reciente que rodean al Campo Experimental, así como en lugares con afloramientos basálticos con cierto grado de intemperización; en tanto que la asociación de *Pinus lawsonii* se encuentra a menores altitudes, con menor grado de humedad ambiental y aunque también suele encontrarse en terrenos con afloramiento basálticos, éstos están más intemperizados que en donde se encuentra *P. douglasiana*.

Importancia de las especies en estudio

La importancia de las especies en estudio se debe a su amplia distribución y abundancia; así como por sus productos ya que la madera que proporciona *P. douglasiana* es de muy buena calidad llegando a compararse en sus propiedades físicas y mecánicas con la del abeto rojo americano (*Pseudotsuga menziessi*), (Mas, 1978)²². Mientras que *P. lawsonii* proporciona madera de menor calidad, ya que generalmente es un árbol ramificado y defectuoso a excepción de algunas áreas de condiciones favorables.

Metodología

Muestreo. Se efectuó un muestreo selectivo con la finalidad de obtener individuos de *Pinus douglasiana* y *P. lawsonii* en las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} S1 &= (N1 + 1, 2+2) (S1 + 1, 2+2) (E1 + 1, 2+2) \\ S2 &= (N1 + 1, 2+2) (S1 + 1, 2+2) (E1 + 1, 2+2) \\ S3 &= (N1 + 1, 2+2) (S1 + 1, 2+2) (E1 + 1, 2+2) \end{aligned}$$

Donde:

- S1 = Primer tipo de suelo
- S2 = Segundo tipo de suelo
- S3 = Tercer tipo de suelo
- N = Exposición Norte
- S = Exposición Sur
- E2 = Exposición Este
- 1 = *Pinus douglasiana*
- 2 = *Pinus lawsonii*

²² Mas P., J. 1978. Características del crecimiento de 6 especies mexicanas de pino con gran futuro para reforestaciones artificiales. pp. 27-72.

Además se consideraron factores tales como: densidad, vitalidad, tendencia dinámica, asociación, piso y masa, obteniéndose de la combinación de las condiciones anteriores, un total de 18 árboles muestra por especie. En forma adicional se seleccionaron cinco individuos más: tres de *Pinus douglasiana* y dos de *P. lawsonii* para la exposición cenital, sin considerar el tipo de suelo, debido a que esta exposición es menor para ambas especies, contándose por lo tanto con una muestra total de 41 árboles, siendo necesario señalar que la exposición oeste no se tomó en cuenta por no existir ésta en el área de estudio.

Elección de la Muestra. Posteriormente se procedió a la elección de los árboles dominantes de la clase diamétrica moda o árboles tipo (individuos que por sus características son representativos de una población), teniendo especial cuidado de que en dichas áreas no existieran tocones, ya que estos árboles pudieron haber afectado el crecimiento de los árboles muestra en el pasado, los cuales debieron ser: sanos, vigorosos, bien conformados, desechando aquellos rayados, torcidos, quemados y nudosos. De los árboles con dimensiones moda, se seleccionaron tres, a los cuales mediante barrenaciones con el taladro de Pressler, se les comprobó la edad con el fin de seleccionar el más joven, teniendo como premisa que dicho árbol ha aprovechado de mejor forma las características ecológicas del sitio. (Assmann, 1961).

Derribo y Troceo. Los árboles muestra elegidos se derribaron en forma direccional utilizando motosierra y cuñas de derribo, para que no se dañara la muestra ni el arbolado aledaño. Hecho el derribo se hizo el desrame, la limpia de desperdicios y se marcó con un crayón sobre el fuste los diferentes cortes a efectuar en él, para obtener las rodajas a diversas alturas que corresponden a las secciones de 0.30 y 1.30 m. De la sección del diámetro normal hacia la punta las trozas fueron de 2 m de longitud y la última a 1 m de la punta; cuando hubo deformaciones el corte se efectuó abajo, lo que se indicó en el registro para efectuar las correcciones en los cálculos. Las rodajas fueron de 0.05 m de ancho, efectuando el corte lo más perpendicular posible al eje longitudinal del árbol.

Al obtenerse las rodajas, se ordenaron de mayor a menor, anotando en la parte inferior el número del árbol, número de rodaja, especie y altura de la sección, utilizándose la parte superior para efectuar las mediciones.

Para determinar la edad total del árbol se procedió a contar los anillos anuales de crecimiento en la rodaja de 0.30 m (tocón), en grupos de 5 en 5, a ambos lados, para de esta manera detectar los llamados anillos falsos. Después se procedió a determinar la edad del tocón, para lo cual previamente en los parajes escogidos se habían seleccionado tres brinzales que tenían 0.30 m de altura, detectándose de esta forma los años que requieren los árboles para alcanzar esta altura, los cuales se adicionan a los anillos observados en la rodaja de 0.30 m, para obtener así la edad total del árbol.

Obtención de la información

En cada una de las rodajas se procedió a contar los anillos del centro hacia la periferia, para lo cual se colocó un alfiler en el centro y se trazó una línea sobre la superficie de la rodaja hasta que ésta coincidiera con el diámetro sin corteza. Los anillos se agruparon en número de 5 en 5, colocando alfileres con cabeza de color sin considerar los anillos exteriores que no formaban un grupo completo de 5; hecho esto, se registraron los diámetros sin corteza observados a las diferentes edades, el número de anillos y edad a la cual alcanzó las alturas de 0.30, 1.30, 3.30 m, o más.

Llenados los registros de campo, se procedió a graficar dichos datos, obteniéndose el perfil interior del árbol, la curva de crecimiento en altura, la curva de crecimiento en diámetro, las curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro, la curva de crecimiento en volumen y las curvas de ICA e IMA en volumen.

Especificando que para la cubicación de las secciones del fuste principal se utilizó la fórmula de Smalian:

$$V = A + AF/2 * L$$

para la cubicación del tocón se utilizó la fórmula:

$$v = AL$$

y para las puntas:

$$v = 1/3 AL$$

Donde:

- A = superficie del extremo mayor,
- a = superficie del extremo menor, y
- L = longitud.

Arreglo de la Información por Índice de Localidad. Una vez realizados los análisis de troncales y graficado los valores obtenidos de los mismos, se efectuó la clasificación (agrupamiento en clases), por especie y calidad de estación, utilizándose para este propósito un método indirecto para su determinación, basado en la medición de dos características de la vegetación (edad y altura), que expresan la suma de factores que se interaccionan en la localidad.

El principio básico es utilizar una edad fija con el objeto de comparar alturas y estimar la calidad de estación, la edad base para determinar el índice de localidad se fija generalmente tomando en cuenta la longevidad de las especies, así pues, la edad utilizada para especies que viven más años será mayor, en este caso la edad base fue de 50 años y la altura total de los árboles elegidos se tomo como la altura dominante (H_0) de las masas en estudio, ya que dicha altura no está expuesta a tantos cambios como la altura promedio de todos los árboles; de hecho, el crecimiento e incremento en altura es el menos afectado por los factores de sitio, de los cuales uno de los más importantes a considerar es la densidad, ya que puede afectar más al crecimiento en altura, el cual varía de acuerdo con los hábitos de crecimiento de las especies y de la habilidad que presenten para expresar dominancia (Lynch, 1958).

Con base en lo anterior, se ordenaron en forma descendente todos los valores de índice de localidad y de acuerdo con la variación presentada por las especies, se procedió a fijar los límites de clase asignándosele a cada clase un número romano, I, II, o III, según sea esta clase o calidad, rica, regular o pobre, respectivamente, lo que ayuda a definir cualitativamente la calidad de estación.

Elaboración de la Tabla Epidométrica. Con los datos de crecimiento en altura, diámetro y volumen ordenados por especie y calidad de estación, se elaboró una tabla con las características epidométricas de las especies en estudio, la cual como su nombre lo indica, no es más que la medición del crecimiento, presentándose en éste caso en forma tabulada. (Epidoma = crecimiento; Metría = medición).

Las características epidométricas determinadas fueron las siguientes: edad, diámetro normal con corteza (DAPcc), diámetro normal sin corteza (DAPsc), altura dominante, volumen, incremento corriente anual en volumen (ICA), incremento medio anual en volumen (IMA), índice de localidad a 50 años, edad a 1.30 m, altura, edad del primer aclareo, edad del segundo aclareo, turno técnico y turno absoluto. La determinación de cada uno de los parámetros se realizó de la siguiente manera:

La edad se determinó contando los anillos anuales de crecimiento en diámetro encontrados en la rodaja de 0.30 m de altura, más los observados en los brinzales de 0.30 m de altura y se expresó en años.

El DAP sin corteza se derivó al realizar los análisis troncales de la rodaja de 1.30 m de altura y se expresó en cm.

El DAP con corteza se obtuvo de la rodaja correspondiente a 1.30 m de altura y se expresó en cm.

La altura total se obtuvo cuando los árboles estaban apeados y se expresó en m.

El volumen se obtuvo cubicando todas y cada una de las secciones de los árboles analizados, utilizando para ello la fórmula de Smalian para el fuste comercial, la del tocón y la del cono para las puntas y se expresó en metros cúbicos.

El incremento corriente anual se determinó de las curvas de incremento corriente anual en volumen, el cual se obtiene al calcular el volumen de un período de tiempo considerado y dividiéndolo entre dicho período, en este caso el período de 5 años y a la edad de 50 años, se expresó en metros cúbicos.

El incremento medio anual se obtuvo al dividir el volumen obtenido entre la edad correspondiente, en este caso a los 50 años y se expresó en metros cúbicos.

Índice de localidad se determinó de las curvas de crecimiento en altura y es la altura alcanzada por los árboles muestra a la edad base de 50 años y se expresó en m.

La edad a la que se alcanzó 1.30 m de altura se determinó con base a las gráficas de crecimiento en altura, la edad a 1.30 m es importante, porque al alcanzar el renuevo dicha altura se considera a esta ya establecido, además también para calcular la edad de los árboles cuando se toman muestras con taladro y se expresó en años.

Para la edad del primer aclareo, se observó la edad a la cual en las gráficas de incremento corriente anual en altura, se presenta el punto de inflexión de las curvas y se expresó en años.

La edad del segundo aclareo, se determinó en el punto de inflexión de las curvas de crecimiento en diámetro y se expresó en años.

El turno absoluto se derivó de las curvas de ICA e IMA en volumen, en el punto en el cual ambas se cruzan, es decir, a la edad de culminación del IMA en volumen, lo que nos indica la máxima producción leñosa de los árboles. Dado que el arbolado era joven y las curvas mencionadas no lograban cruzarse, se procedió a la elongación de las mismas con los consiguientes riesgos que esto representa y el turno absoluto se expresó en años.

Análisis estadístico. Una vez elaborada la tabla epidométrica para conocer la consistencia de las relaciones funcionales y la manera como expresarlas con base en la información obtenida, se procedió a buscar además de una función matemática que mostrara la manera de como se relacionan las variables, la precisión con que podría predecirse el valor de una variable, conociendo los valores de las variables asociadas. Para lograr lo anterior, se utilizó el método de regresión y correlación.

Para elegir la relación funcional de altura con edad que mejor represente a la población en estudio, se realizó un examen de diagramas de dispersión en forma gráfica de los valores observados, lo que ayudó a decidir la función matemática que mejor representa a la relación existente entre las variables, así como la que dá un mejor ajuste a las curvas.

Modelos probados. La técnica utilizada fue la regresión y correlación simple basada en el método de los mínimos cuadrados para realizar las estimaciones, de manera tal que se probaron cuatro modelos los cuales fueron:

Lineal - Lineal

Ln - Ln o (Log - Log)

Ln - Lineal o (Log - Lineal)

Inv - Ln

Donde:

Ln = Logaritmo natural (exp. = 2.71828)

Log = Logaritmo de base 10

Inv = Inverso (de la edad)

Para la prueba de los mismos se realizó un programa de cómputo en lenguaje BASIC LEVEL II, que se hizo correr en una computadora RADIO SHACK TRS-80. Hecha la prueba se eligió el modelo número 4 como metodología, lo que se debió a la bondad requerida para el logro de los objetivos planeados; es decir, es el que mejor ajuste proporciona a los datos de las observaciones no suavizadas de la relación edad-altura con un alto coeficiente de correlación.

Modelo elegido. El modelo elegido se basa en la ecuación de Schumacher (Schumacher *cit. pos* Alder, *op. cit.*), propuesto como una nueva curva de crecimiento y sus aplicaciones en estudios del rendimiento de madera, es el siguiente:

$$\text{Ln } H_o = \text{Ln } H_{\text{max}} + b/A_k$$

Donde:

LnHo = logaritmo natural de la altura dominante

$\ln H_{max}$ = término a en la ecuación y representa la máxima altura que pueden alcanzar las especies y su valor queda entre 2 y 7.

b = representa el coeficiente de regresión, el que siempre será negativo.

A = edad de la altura dominante.

K = parámetro a ser ajustado y cuyo valor varía de 0.2 a 2.

Los valores y características anteriores, son requisitos condicionantes del modelo.

Obtención de las ecuaciones de regresión. Mediante este modelo se procedió a realizar el análisis estadístico para obtener las ecuaciones que originan las curvas de crecimiento por especie y calidad de estación, las que se obtuvieron de dos formas primero considerando los valores de altura promedio alcanzados por los árboles en los periodos de 5, 10, 15, a más años por especie y calidad, y después metiendo los datos originales de altura y edad por especie y calidad.

Al comprobar gráficamente las ecuaciones se observó que mostraban casi los mismos valores, pero habiendo mínimas diferencias en el primer método en los datos proporcionados por estas ecuaciones a la edad de tres años, además de que una vez agrupados los árboles por calidad, los valores promedio obtenidos en las últimas edades, no eran representativos al haber diferencia en las edades de los árboles, es decir, que 1 ó 2 árboles podrían dar el promedio y no el total de los árboles considerados por calidad, lo que no sería representativo, por lo que se eligieron las determinadas por el segundo método, que son las que proporcionan el mejor ajuste.

Elaboración de las Tarifas de Crecimiento en Altura. Hecho el ajuste de alturas, se procedió con base en los valores de estas ecuaciones, a obtener los valores que originan las curvas de crecimiento así como los valores para las Tarifas de Crecimiento en Altura, utilizando para ello el programa $f(D) = c A + Bx(DY \times C) - 1$

Donde:

$f(D)$ = función de la altura

c = base de los logaritmos naturales

- A = intercepción común
- B = coeficiente de regresión
- DY_x = altura elevada a una constante
- C = valor de la constante k
- = comp: fin de función

Este programa se hizo correr en una calculadora programable SHARP EL 5101, obteniéndose los valores tabulados de dicho crecimiento a cualquier edad requerida. Especificándose que una vez obtenidos los valores por especie y calidad de estación a través del modelo antes descrito, se decidió utilizar estas curvas de crecimiento en altura para determinar los siguientes conceptos: índice de localidad, edad a 1.30 m, edad a 0.30 m, y edad del primer aclareo, esto con base a que el modelo da una plena descripción del crecimiento de altura.

Fórmula y procedimientos para el trazo de las curvas de calidad de estación. Otra de las características del modelo, es que mediante la manipulación algebraica y utilizando valores ajustados por el mismo, nos ayuda a trazar las curvas de calidad de estación, teniéndose como resultante del modelo la siguiente fórmula:

- LnS = Índice de Sitio
- a = Intercepción común
- LnHo = Altura dominante a la edad índice
- A = Edad índice
- A_i = Edad dependiente del índice de sitio
- k = Constante

Para el cálculo de los puntos que originan las curvas de calidad, se utilizó la fórmula anterior sustituyendo en ella los términos de las ecuaciones obtenidas con el modelo de Schumacher, haciéndose pasar las curvas por los valores índice de localidad ya determinados y calculando los valores de las curvas de calidad a cualquier edad A_i.

Cálculo del Índice de Sitio por rodal y obtención del mapa por calidades de estación. La versatilidad del modelo hace que esta misma fórmula ayude a determinar el índice de localidad de los rodales de las masas en estudio dada su edad y altura dominante.

Para comprobar la suposición de lo anterior, se procedió a determinar el índice de sitio de todos y cada uno de los árboles muestra, para compararlos con los determinados directamente de las curvas no armonizadas del crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Localidad

Los valores que se determinaron para delimitar las calidades de estación, una vez que los valores índice de sitio se ordenaron en forma descendente y se observó la variación de las especies a la edad base de 50 años fueron: para la especie *Pinus douglasiana* de 36 y 28 m de altura, entre los cuales quedó ubicada la calidad I o , rica, la calidad II o media, quedó entre los valores índice de localidad de 28 y 20 m de altura, y la calidad III o pobre, entre los 20 y 12 m., en tanto que para *P. lawsonii*, la clase I o rica quedó ubicada en aquellas áreas donde los valores índice de localidad están comprendidos entre los 34 y 27 m la clase II o media, entre los 27 y 20 m y la clase III o pobre, entre los 20 y 13 m de altura.

Tabla epidométrica

Delimitada la calidad de estación y ordenada la información de acuerdo con ésta, se determinaron las características epidométricas por especie y calidad, donde se observa que la edad promedio de la población en estudio es sensiblemente igual y oscila entre los 50 y 60 años, tratándose por consiguiente de un bosque regular.

Por lo que respecta al DAP con corteza éste es mayor en localidades ricas, siendo de 45 cm; mientras que tan solo un diámetro de 40 cm, a una mayor edad, en las localidades II y III.

La altura en relación con la edad también decrece con la calidad de estación, siendo ésta mayor en localidades ricas y menor en las pobres.

El crecimiento en volumen es el que culmina al último en relación con el diámetro normal y la altura ya que este está en función de aquellos, observándose que *Pinus douglasiana* en la calidad I, empieza a contar su volumen cuando los árboles tienen 12 m de altura y una edad de 15 años, que es a la cual alcanzan 0,1 m³, 1 m³ a los 28 años, 2 m³ a los 39, a los 48 años 3 m³ y a los 54 años 4 m³; para la misma especie

pero en la calidad II, el volumen empieza a contar cuando los árboles tienen 20 años y una altura de 11 m., que es cuando alcanzan 0.1 m^3 , y a los 46 años el 1 m^3 , logrando hasta el turno absoluto los 2 m^3 y en calidad III, a la edad de 27 años y una altura de 9 m se alcanza 0.1 m^3 y 1 m^3 y 1 m^3 a los 60 años.

La especie *P. lawsonii* en la calidad I, alcanza 0.1 m^3 , a la edad de 17 años con una altura de 12 m; 1 m^3 a los 35 años y 2 m^3 a los 48 años; en la calidad II, a los 24 años y con una altura de 11 m se alcanzó 0.1 m^3 y 1.0 m^3 a los 52 años; en la calidad III, se alcanzó 0.1 m^3 a los 34 años y una altura de 12 m, y 1.0 m^3 a los 66 años, es bien notorio que el crecimiento en volumen es más rápido en las localidades ricas decreciendo éste, conforme lo hace la calidad.

El incremento corriente anual y el incremento medio anual en volumen es mejor en localidades ricas, siendo más bajo en las pobres; por lo que respecta al índice de localidad, éste es dado por las curvas de crecimiento en altura que proporciona el modelo por medio de las ecuaciones, por lo que el índice de localidad para *P. douglasiana* en la calidad I es de 34 m, en la calidad II de 23 m, y en la III de 15 m; para *Pinus lawsonii* el índice de sitio en la calidad I, es de 30 m, para la II de 24 m, y para la III de 17 m.

La edad a la que estas especies alcanzan 0.30 m de altura se derivó con las ecuaciones dadas por el modelo, alcanzando *Pinus douglasiana* en la calidad I esa altura a la edad de 2.95 años y en la III a los 3.02 años, cantidades que redondeadas dan un valor de 3 años. La especie *P. lawsonii* en la calidad I, necesitó 2.94 años para alcanzar 0.30 m , en la calidad II, 2.8 años y en la III 3.02, cifras que redondeadas dan un valor de 3 años, justo el valor encontrado en los brinzales con esa altura.

La edad a la que *P. douglasiana* alcanzó 1.30 m de altura que es a la cual se considera que el renuevo está establecido, fue antes de los 5 años en la calidad I de; a los 5 años en la II y a los 6 años en la III. Para *P. lawsonii*, la edad a 1.30 m en las calidades I, II y III fue de 5, 6 y 7 años respectivamente. Como se observa *P. douglasiana* presenta un crecimiento más rápido en localidades mejores, siendo también con respecto a *P. lawsonii*, que presenta igual comportamiento, pero tardando un poco más según la calidad, la diferencia no es grande pero sirve para diferenciar a las especies que con los valores que presentan dan idea de que se trata de especies de rápido crecimiento pero más aun la primera que la segunda.

La edad de culminación del ICA en altura, sugiere la aplicación de un primer aclareo, pues la reducción del incremento que sigue a la culminación del mismo, puede deberse probablemente a la competencia por luz y nutrientes, de igual manera, a la edad de culminación del ICA en diámetro se sugiere una segunda intervención, pues la

reducción en dicho incremento puede deberse a la necesidad de los árboles de un mayor espaciamiento para satisfacer sus necesidades de luz y nutrientes.

La diferencia de edad entre ambos aclareos en la calidad I es mínima, lo que se debe al rápido incremento que los árboles experimentan también en diámetro, es decir, que el crecimiento en diámetro culmina generalmente después que el crecimiento en altura y en este caso, el crecimiento en diámetro comienza casi al mismo tiempo que el crecimiento en altura, concluyendo casi a la misma edad.

Este hecho es característico de las especies de rápido crecimiento, por lo que las especies en estudio pueden considerarse como tales, incrementan temprano, pero notándose en este caso la influencia de los factores de sitio, aun cuando se trata de la misma especie, éstos períodos se alargan al empobrecerse la calidad del sitio, esto es bien notorio como se ha visto en los crecimientos en altura, diámetro y volumen.

El criterio empleado para estas determinaciones aunque es lógico, no está bien fundamentado, ya que corresponde a especies de lento crecimiento y no a las de rápido crecimiento en las que dichas intervenciones deberían ser aplicadas casi al mismo tiempo. El valor del ICA en altura en la calidad I para *P. douglasiana*, es de 1.1 m/año a la edad de 10 años que es en la que culmina y la terminación del ICA en diámetro, es a los 11 años con un valor de 1.72 cm/año, en la calidad II, la culminación del ICA en altura se presenta a los 11 años con un valor de 0.7 m/año, en la calidad III, la edad de culminación de la altura es a los 12 años con un valor de 0.43 m/año y la del I.C.A. en diámetro a los 26 con 0.81 cm/año.

En *P. lawsonii* calidad I, el ICA en altura culmina a los 11 años con 0.93 m/año y el ICA en diámetro a los 13 años con 1.32 cm/año; en la II, culminó a los 18 con 0.55 m/año en altura, y en diámetro a los 29 años con 0.88 cm/año y en la calidad III en ICA en altura culmina a los 20 años con 0.39 m/año, mientras que el ICA en diámetro a los 66 años con un valor de 0.75 cm/año. Es claro que tratándose aún de la misma especie, pero en diferente calidad de estación, se presentan patrones de comportamiento muy característicos.

El turno técnico que no es más que la edad a la que se alcanza un diámetro comercial, difiere en las especies según la calidad de estación, esto es, mientras que en la calidad I se logra un DAP de 0.45 cm. a los 44 y 48 años para ambas especies, apenas si se logra un diámetro normal de 0.40 cm. en las calidades II y III a las edades de 56, 53 y 61 años para las especies *P. douglasiana* y *P. lawsonii* respectivamente. La máxima producción leñosa (turno absoluto), se presenta primeramente en las localidades ricas, lo que puede deberse a que la combinación de los factores del medio son propicios y satisfacen las exigencias de la especie, lo que les permite la máxima expresión de las

características de la especie, mismas que se ven disminuidas en su expresión, si los factores de sitio no satisfacen las necesidades de la vegetación que sustentan.

Modelo de Crecimiento

De los modelos probados con propósitos de metodológicos, el que mejor ajuste y descripción de las curvas presentó, fue el modelo que se basa en la ecuación de Schumacher, teniéndose coeficientes de correlación altos, lo que hace predecir una correlación bastante aceptable, a la vez indica la estrecha dependencia de la altura en relación con la edad. La constante K está en función de la calidad de estación, proporcionándole a las ecuaciones las características necesarias para la mejor descripción de las curvas de crecimiento por calidad. Cabe mencionar que lo anterior se realizó con base en un análisis lineal de los mínimos cuadrados, que es una técnica para ajustar ecuaciones predictivas a datos originales. Esto es, observaciones no suavizadas, basada en el principio de minimizar la suma de cuadrados de las desviaciones entre los puntos y una línea recta.

Construcción de Curvas de Calidad de Estación

Para el trazo de las curvas de Calidad de Estación, (Figuras N° 1 y 2) se procedió a utilizar una transformación del modelo de Schumacher, con la que se calcularon los puntos que las originan, presentando como características importantes, el ser polimórficas y semejantes a las curvas de crecimiento, originadas por el modelo y que dichas curvas se pueden hacer pasar por cualquier valor de índice de localidad elegido, en este caso las curvas se hicieron pasar por los valores índice de 36, 28, 20 y 12 m de *P. douglasiana* y en *P. lawsonii* por valores 34, 27, 20 y 13 m valores previamente determinados.

Para lograr lo anterior, estos valores de índice de localidad se toman como logaritmo natural de la altura dominante ($\ln H_0$), a la edad índice de 50 años (A) siendo esta edad constante en la fórmula y la edad A_i , es la que varía y se utiliza para determinar la altura a esa edad.

Figura N° 1. Curvas de calidad de estación de *Pinus douglasiana*

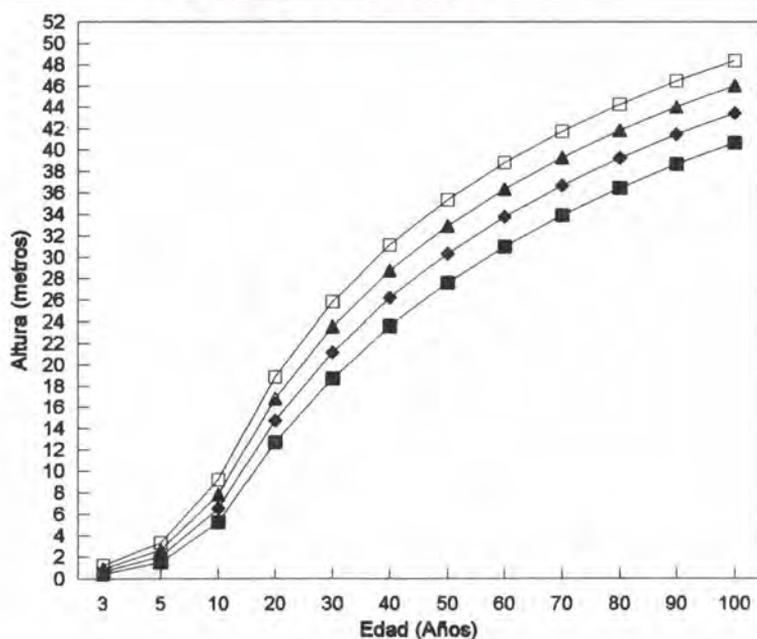


Figura N° 1. Curvas de Calidad de Estación para *Pinus douglasiana* y fórmula utilizada para su trazo.

Figura N° 2. Curvas de Calidad de Estación de *Pinus lawsonii*

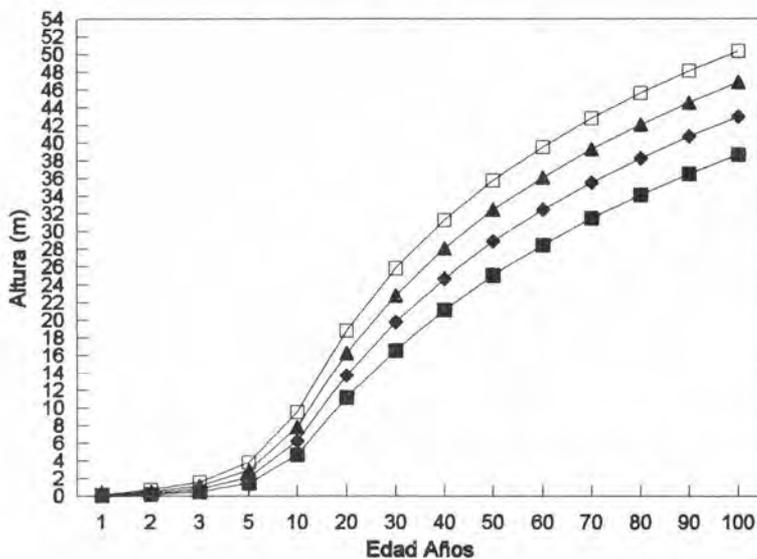


Figura N° 2. Curvas de Calidad de Estación para *Pinus lawsonii* y fórmula utilizada para su trazo.

El término a o intercepción común y la constante k , son las que proporcionan ciertas características a las curvas, como ejemplo se tiene que el término de intercepción común en la calidad I de *Pinus douglasiana* es 4.35495, la altura dominante a la edad índice de 50 años es de 36 m, $A = 50$ años, A_i edad a la cual se quiere calcular el valor de la altura dominante a esa edad o el punto más alto de esa altura que delimita alguna calidad; k constante relacionada con la calidad con un valor de 0.67 para la calidad I. al sustituir en el modelo se tiene que:

$$\text{LnS} = 4.35495 + (\text{Ln}36 - 4.35495) (50/40) 0.67$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (3.584 - 4.35495) (1.161)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.771) (1.161)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.895)$$

$$\text{LnS} = 3.460 \text{ ex}$$

$$\text{LnS} = 31.81 \text{ m.}$$

Cálculo del Índice de Sitio

Con el modelo se determinó el índice de localidad de los rodales de las masas en estudio, conocida su edad y altura dominante, para comprobar la suposición anterior se calcularon los índices de localidad de todos los árboles muestra, para compararlos con los determinados directamente de las curvas de crecimiento no armonizadas. Como ejemplo se tiene un árbol de *Pinus douglasiana* con una edad de 56 años y una altura total de 36.70 m, su índice de localidad según la curva de crecimiento no suavizada es de 34.40 m y su índice de sitio de acuerdo con el modelo es:

$$\text{LnS} = 4.35495 + (\text{Ln}36.70 - 4.35495) (56/50) 0.67$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (3.60 - 4.35495) (1.0788873)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.75495) (1.0788873)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.814506)$$

$$\text{LnS} = 3.540444\text{e}$$

$$\text{LnS} = 34.48 \text{ m.}$$

Como se observa, la diferencia es mínima entre el índice de sitio derivado de la curva no suavizada y el obtenido por medio del modelo. La diferencia con respecto a los otros

árboles no es muy grande, lo que da confianza al realizar los cálculos del índice de sitio de los rodales en estudio.

Mapa por Calidad de Estación

Al comprobar que la ecuación proporciona resultados satisfactorios en el cálculo del índice de sitio, se tiene la certeza que el cálculo del índice de sitio por especie y por rodal es correcto.

Con base en lo anterior se obtuvieron los índices de sitio de los cuadrantes I y II del área de estudio utilizando los datos de edad y altura de los rodales; al clasificarlos por especie y calidad se obtuvo el mapa por calidad de estación.

CONCLUSIONES

Como resultados de este trabajo se puede concluir:

- Las especies estudiadas tienen preferencia por determinadas condiciones como suelos profundos y planos, así como, lugares de mayor intemperización. Esto marca sus características de desarrollo, observándose una clara relación entre las especies y la calidad de estación.
- Las especies en estudio presentan patrones de crecimiento muy característicos, alcanzando en promedio una altura de 0.30 m a los 3 años y de 1.30 m a los 5, 6 y 7 años. A los 50 años los valores de índice de localización para *P. douglasiana* son de 34, 23 y 15 m y de 30, 24 y 17 m para *P. lawsonii*.
- *Pinus douglasiana* se encuentra en calidades de estación mejores, presentando un rango de variación más amplio a la edad de 50 años que *P. lawsonii*.
- Ambas especies por las características de su desarrollo se consideran de rápido crecimiento ya que incrementan temprano, toda vez que el incremento en altura y diámetro culmina casi al mismo tiempo en localidades donde los factores del medio son favorables para expresar su máximo desarrollo, no observándose esto en lugares donde dichos factores no permiten la expresión de las características de las especies a la misma velocidad.

- La determinación de la edad para la realización del primer aclareo con base en la culminación del ICA en altura y diámetro, no es práctica y es preferible el uso de otras técnicas; aunque por otro lado, da una idea de lo que está sucediendo en el bosque.
- *Pinus douglasiana* es la especie que por las características de desarrollo, es más prometedora para fines de cultivo y reforestación en lugares de condiciones semejantes a las del estudio.
- Las curvas de crecimiento de las especies, se ajustan bien al modelo de regresión de la forma $\text{Ln}H_t = \text{Ln}H_{\text{max}} + b/A_k$, para el ajuste y tabulación de los valores del crecimiento, presentando una correlación promedio de 99% para la relación edad-altura.
- La fórmula $\text{Ln}S = a + (\text{Ln}H_t - a) (A/A_i)^k$, ayuda a efectuar el trazo de las curvas de calidad, aprovechando los valores dados por el modelo definiendo en forma más precisa las calidades de estación, así como el cálculo del índice de sitio por rodal, dada su edad y altura dominante.
- Cuando la variación en altura a una cierta edad es muy amplia es recomendable establecer más clases de calidad de estación, de esta manera se tendrá un número mayor de ecuaciones, las que proporcionarán un mayor ajuste a las curvas de calidad y crecimiento y el cálculo del Índice de Sitio será más preciso.
- Los mapas de Calidad de Estación facilitan el manejo, pues permiten diferenciar un terreno forestal en clases, mismas que requerirán un manejo acorde con las características de la localidad.
- Este tipo de estudios son recomendables para diferentes especies y condiciones, así como para determinar los modelos más adecuados y con base en la información obtenida estar en condiciones de predecir las características dasométricas de los rodales a diferentes edades, con la finalidad de aprovechar de mejor manera las condiciones de los diferentes Índices de Sitio.
- La información obtenida mediante las técnicas descritas es de gran valor y puede obtenerse en corto tiempo, proporcionando las bases para efectuar el manejo en tanto que se obtiene la información necesaria de los sitios permanentes de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Adegbehin, J.O. 1982. Growth and yields of *Pinus patula* in some parts of eastern Africa with particular reference to Sao Hill, Southern Tanzania. *Commow. For. Rev.* 61 (1).
- Aguilar R., M. 1981a. Armonización de curvas de crecimiento para determinar la calidad de estación. in primera reunión internacional de discusión sobre toma de datos para modelos de crecimiento en el mes de septiembre de 1981. (INIF, UNAM, ODA). Publicación Especial N° 44, INIF, SARH. México. pp. 169-183.
- Aguilar R., M. 1982b. La Ecuación de Schumacher y su aplicación en estudios del crecimiento y clase de sitio. Premio Nacional de Administración Pública 1982. CIFO, INIF. México.
- Alder, D. 1980. Forest volume estimation and yield prediction. Vol. 2 Yield prediction, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 194 pp.
- Arteaga M., B. 1982. Evaluación de la calidad de estación con base a características fisiográficas. *In: Resumen del Seminario de Investigación, Programa Forestal, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp.*
- Arteaga M., B. y Rodríguez F., C. 1983. Índice de Sitio para *Pinus Montezumae* Lamb. en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. *In: Resumen XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Oaxaca, Oax. p. 23.*
- Arteaga M., B. y Rodríguez F., C. 1985. Índice de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región Chignahuapan- Zacatlán, Puebla. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados, Programa Forestal. Chapingo, México. 181 p.
- Avery, T.E. y H. E. Burkhardt, 1983. Forest Measurements. 3rd. ed. McGraw-Hill. New York. 331 p.
- Bailey, R.L. y J.L. Clutter. 1974 Base-age invariant polymorphic site curves. *Forest Science* 20:155-59.
- Barrett, W.J. 1978. Height growth and site index curves for managed even-aged stands of ponderosa pine in the Pacific North.

- Benavides S., J. D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante Índices de Sitio del *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus Oocarpa* Schiede, para el A.D.F. Tapalpa estado de Jalisco. Tesis Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.
- Cao, V. Quam 1986. Recovering diameter distributions from Schumacher and Coile's model for Natural even-aged Loblolly pine stand. *In: Proceedings of the Fourth Biennial Southern Silvicultural Research Conference.* USDA. FS. Colorado, USA. pp. 514-517.
- Clutter, J.L.; J.C.Forstson; L.V. Pienaar; G.H Brister y R.L Bailey. 1983. Timber Management: a quantitative approach. John Willey & Sons. New York. 333 p.
- Chester, E.J. 1973. MATCHACURVE-3: multiple component and multidimensional mathematical models for natural resource studies. USDA. For Serv. Res. Pa. INT-146. 42 p.
- Franco, B.M. 1978. Simulación demográfica y productiva de poblaciones uniespecíficas de árboles. Tesis profesional. Instituto de Biología, U.N.A.M.
- Fries, J. 1974 Growth models for tree and stand simulation. Research note No. 30 Department of Forest Yield Research, Royal college of Forestry, Stockholm, Sweden.
- Garnica S.,Z. 1987. Índice de Sitio para *Pinus pseudostrabus* Lindl., en la región del Tlacuache, San Pedro el Alto, Zimatlán, Oax. Anteproyecto de Tesis Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. México. 101 p.
- Groothusen, C. 1983. Curvas de índice de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede en Honduras, Centro América. *In: Primera Reunión Sobre Modelos de Crecimiento de Árboles y Masas Forestales.* Pub. Esp. N° 44. INIF, SARH. México. pp.183-184
- Hanson, T.J. 1975. Computer technique for proyecting yields of even aged red pine in the lake states. *Journal of Forestry.* 73,7,428-429.
- Madrigal, S.X. y H.R. ZAVALA. (inédito). Estudio fito-ecológico del C.E.F. "Barranca de Cupatitzio"
- Mas, P.M.1978. Características del crecimiento de 6 especies mexicanas de pino con gran futuro para reforestaciones artificiales. Memoria de la 1ª Reunión Nacional

sobre plantaciones forestales. SARH. Dirección General de Investigación y Capacitación Forestales. pp. 27-72

Stolyarov, D.P. Y V.G. Kuznetzova, 1978. Ispol'zovanie metoda dendro khronologii dlya izucheniya zakonomernostei rosta drevostoev NII Lesn Knaz., Leningrad, URSR. Lesovedenie No. 4, 3-10.

Winston, J.K. Y J.P. Demaerschalk, 1981. Height-age functions for young stands of exotic timber species in Kenia. A comparison of linear and nonlinear models.

PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO EN *Pinus montezumae* Lamb. USANDO MODELOS DE DISTRIBUCIONES DIAMÉTRICAS.

Acosta Mireles Miguel ¹
Torres Rojo Juan M. ²
Rodríguez Franco Carlos ³

RESUMEN

Se presentan las ecuaciones de predicción del crecimiento y rendimiento incluyendo la predicción de distribuciones diamétricas para rodales naturales y de estructura regular de *Pinus montezumae* Lamb. La información se obtuvo de dos mediciones en 64 parcelas permanentes realizadas en 1974 y 1990 en el C.E.F. San Juan Tetla, Pue. La Predicción de categorías diamétricas se hace a través de la predicción de parámetros usando la función de densidad de probabilidades Weibull. Los parámetros y las variables de estado del rodal se predicen a través de modelos ajustados con la técnica de regresión lineal múltiple. Los modelos ajustados de predicción de parámetros y variables de estado, se validaron con datos de ocho parcelas, las cuales no se incluyeron en el análisis. Los modelos de predicción mostraron resultados satisfactorios de la validación.

Palabras clave: *Pinus montezumae*, predicción de crecimiento, distribución diamétrica, validación de modelos.

ABSTRACT

Prediction and projection equations for yield and growth, including diameter distributions predictions for natural stands of *Pinus montezumae* growing in Experimental Forest "San Juan Tetla" are suggested.

¹ Investigador Titular del Campo Experimental Valle de México, CIR-Centro, INIFAP, SAGAR.

² Profesor de la Universidad Panamericana. México, D. F.

³ PhD. Director General de Investigación Forestal. INIFAP, SAGAR.

Diameter class prediction was done using Weibull distribution. The data of eight plots were validated in this study.

Key words: *Pinus montezumae*, growth prediction, diameter distribution, modeling validate.

INTRODUCCIÓN

Para una planeación y control eficientes de la producción forestal es necesario contar con modelos de crecimiento que puedan predecir el rendimiento actual y futuro de una masa en un determinado período de tiempo. Estos modelos se pueden integrar a un simulador que proporcione en forma rápida el crecimiento "simulado" a partir de determinadas condiciones iniciales del bosque.

Los primeros modelos de crecimiento en México se comenzaron a generar hace apenas dos décadas, no obstante, a la fecha se han generado modelos integrados de totalidad del rodal, modelos de distribuciones diamétricas y modelos de árboles individuales en diferentes especies y para algunos lugares del país.

El objetivo del presente trabajo es presentar un modelo de predicción del rendimiento maderable para *Pinus montezumae*, en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla; que servirá como herramienta para integrar un plan de manejo para la especie y el lugar indicado.

REVISIÓN DE LITERATURA

El crecimiento de árboles y rodales ha sido estudiado desde los inicios de la Dasonomía. A principios de este siglo los análisis cuantitativos del crecimiento de los bosques han progresado rápidamente en extensión y grado de sofisticación (Pienaar y Turnbull, 1973)⁴, generándose hasta la fecha una gran cantidad de técnicas para elaborar modelos matemáticos que describan el comportamiento de un determinado proceso.

⁴ Pienaar, L. V. y K. J. Turnbull. 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. pp. 2-22.

A medida que el uso de los modelos matemáticos se ha generalizado, el conocimiento del potencial técnico de éstos se ha difundido lenta pero progresivamente, ocasionando, por un lado, una mejor apreciación de las cualidades de los modelos matemáticos, pero por otra parte se han fomentado ciertos abusos y malentendidos, derivados de la enorme comodidad de manipulación de los modelos, una vez que han sido programados en computadoras (Mendoza, 1983)⁵.

Muchas veces se manipulan dichos modelos sin tomar en cuenta los supuestos en que éstos se basan y la teoría del análisis estadístico que los respalda. Como consecuencia se tienen predicciones erróneas o que carecen de algunas de las cualidades propias de un buen modelo para determinar el alcance de utilización de éstos. Mendoza (*op. cit.*), identifica seis cualidades deseables en un modelo: 1) generalidad, 2) simplicidad, 3)realismo, 4) precisión, exactitud y confiabilidad, 5) validez y 6) elasticidad.

Históricamente, la construcción de tablas de rendimiento ha sido orientada hacia la predicción de condiciones futuras del rodal (Drew y Flewelling, 1977)⁶. Estas predicciones tradicionalmente han asumido la forma de tablas de rendimiento. Sin embargo, hoy en día, muchos sistemas de predicción de rendimiento son expresados como ecuaciones matemáticas o sistemas de ecuaciones en lugar de tablas (Clutter *et al.*, 1983)⁷.

La predicción del rendimiento actual o futuro por medio de modelos de rodales completos con distribuciones diamétricas, se realiza con el siguiente procedimiento:

El número de árboles por unidad de área en cada categoría diamétrica se estima a través del uso de una función de distribución de probabilidad (fdp), la cual proporciona la frecuencia relativa de árboles por categoría. La altura se proyecta para árboles de determinado diámetro que crecen dentro de las condiciones del rodal. Una vez estimadas las frecuencias por categoría y la altura promedio de las mismas, el volumen por clase se calcula sustituyendo la altura media predicha y el punto medio de la categoría diamétrica en la ecuación de volumen por árbol individual. Finalmente, el rendimiento estimado se obtiene sumando el volumen de cada categoría (Burkhart y Brooks, 1982)⁸.

⁵ Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático. pp. 35-45.

⁶ Drew, T. J. y J. W. Flewelling. 1977 Some recent japanese theories of yield-density relationships and their application to monterey pine plantations. pp. 517-534.

⁷ Clutter, J. L.; J. C. Fortson; L. V. Piennar; H. G. Brister y R. L. Bailey. 1983. Timber management: A quantitative approach.

⁸ Burkhart, H. E. y T. M. Brooks. 1982. Predicting growth and yield: alternative approaches and their applications.

Una de las funciones más utilizadas para estimar distribuciones diamétricas es la función de distribución de probabilidades Weibull (fdW), la cual también ha sido usada en otras aplicaciones forestales (Burk y Newberry, 1984)⁹. En México se ha utilizado como modelo de distribuciones diamétricas para predecir el rendimiento actual y/o futuro (Torres, 1987¹⁰; Castillo, 1988¹¹; y Ramírez y Fierros, 1989¹²).

Existen otros modelos que describen distribuciones diamétricas, pero quizá ninguno presente características tan favorables como la fdW, entre las cuales se pueden citar las siguientes: Es simple y fácil de manejar matemáticamente, tiene gran flexibilidad ya que la función puede adoptar diferentes formas (desde una "j" invertida hasta distribuciones con sesgo positivo o negativo), se puede integrar analíticamente y los distintos procedimientos para estimar sus parámetros permiten una selección apropiada de estimadores robustos de acuerdo a la capacidad de equipo de cómputo con que se cuenta (Bailey y Dell, 1973)¹³.

La fdW de tres parámetros tiene la siguiente forma:

$$f(X) = \begin{cases} c/b (X-a/b)^{c-1} \exp [-(X-a/b)^c] & \text{para } (a \leq X < \infty) \\ 0, & \text{de otra manera} \end{cases} \dots \dots (1)$$

Donde:

$f(X)$ = probabilidad asociada con cada posible valor de la variable aleatoria X

a = parámetro de localización

b = parámetro de escala

c = parámetro de forma

Los parámetros "b" y "c" deben ser positivos, "a" puede tomar cualquier valor, sin embargo, para aplicaciones forestales debe ser positivo debido a que se refiere al valor mínimo de la fdp, en este caso al diámetro normal mínimo (Torres, *op. cit.*).

⁹ Burk, T. E. y J. D. Newberry, 1984. A simple algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters, pp. 329-332.

¹⁰ Torres R., J. M. 1987. Economic analysis of several alternatives of forest management for *Pinus hartwegii*.

¹¹ Castillo S., M. A. 1988. Modelo para estimación de incremento y producción maderable neta en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf., de La Sabana, Oax.

¹² Ramírez M., H. y Fierros G., A. M. 1989. Estimación de crecimiento y rendimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a través de su distribución diamétrica, pp. 459-474.

¹³ Bailey, R. L. y T. R. Dell. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function, pp. 97-104.

METODOLOGÍA

Base de datos

La base de datos se tomó de la remediación de 64 parcelas permanentes ubicadas en el paraje denominado "Plan de Marines" del Campo Experimental Forestal (CEF) San Juan Tetla. El lugar podría describirse como un rodal natural maduro, de estructura coetánea, poco perturbado y con una alta densidad donde crece *Pinus montezumae* como especie principal. La primera medición se realizó en 1974 y la segunda, a finales de 1989 y principios de 1990. De esta base de datos se eliminaron ocho parcelas en sus dos mediciones, con el fin de realizar una prueba de validación para cada uno de los modelos que se generaron.

Distribuciones diamétricas

Primeramente se estimaron las distribuciones diamétricas de cada parcela para las dos mediciones, mediante la función de distribución Weibull (1). Este procedimiento consiste en estimar los parámetros de esta distribución de acuerdo a la distribución diamétrica que tiene cada parcela, y por alguno de los métodos que existen (Torres *et al.*, 1992)¹⁴. Una vez que se estima el juego de tres parámetros "a", "b" y "c" de la fdW, se procede a calcular las frecuencias por clases de diámetros por medio de integrar la función Weibull y tomando en cuenta los límites inferior y superior de cada categoría, así se obtiene la siguiente expresión:

$$P(I < X < S) = \exp [-(I-a/b)^c] - \exp [-(S-a/b)^c] \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

I = valor inferior de la categoría diamétrica (X)

S = valor superior de la categoría diamétrica (X)

X = categoría diamétrica

P = Proporción de probabilidad para cada categoría diamétrica.

Una vez que se obtiene la proporción para cada categoría diamétrica, ésta se multiplica por el número de árboles por hectárea que contiene cada parcela para obtener la frecuencia del número de árboles en cada categoría.

Debido a que la integración de la expresión (2) inicia a partir de la categoría diamétrica más pequeña, el extremo derecho se vuelve asintótico. Por lo tanto debe encontrarse un punto de truncado adecuado para evitar demasiado sesgo en las

¹⁴ Torres R., J. M.; M. Acosta M. y O. S. Magaña T. 1992. Métodos para estimar los parámetros de la función Weibull y su potencial para ser predichos a través de atributos del rodal. pp. 57-76.

predicciones del rendimiento. El criterio usado para definir el punto de truncado es el recomendado por Acosta *et al.* (1992)¹⁵, en el que se considera la última categoría como aquella en la que el número de árboles estimado es menor o igual al 1% del total, y el número de árboles restante se distribuye en forma proporcional en las categorías anteriores, incluyendo la que registró el 1%.

Para el caso de este estudio se consideraron categorías diamétricas de 5 cm y para estimar los parámetros de la función Weibull, se usaron varios procedimientos utilizando el programa de cómputo WEIBULL, desarrollado por Torres (*op. cit.*). La selección del mejor juego de estimadores se realizó con el procedimiento recomendado por Torres *et al.* (*op. cit.*), en donde considera los estadísticos Kolmogorov-Smirnov, Chi-cuadrada y la diferencia entre el valor del diámetro medio predicho y el observado, como criterio de bondad de ajuste.

Para determinar las parcelas que mejor ajuste tuvieron se determinó un nivel de significancia de 0.95 para las dos pruebas de ajuste. A este nivel se eliminaron siete parcelas de la muestra cuya distribución no pudo describirse con el modelo Weibull. Cuando alguna de las parcelas mostró buen ajuste sólo en una de sus mediciones, esta se eliminó, debido a que para hacer las proyecciones de las variables es necesario contar por lo menos con dos mediciones hechas en diferente periodo de tiempo.

Se ajustaron modelos de regresión lineal múltiple para estimar los parámetros en función de las características del rodal, en donde la variable dependiente fue uno de los parámetros de la Weibull, y las variables independientes fueron atributos del rodal, tales como: área basal, diámetro normal, diámetro cuadrático, número de árboles por ha, índice de sitio y edad. El modelaje siguió el procedimiento sugerido por Torres y Acosta (1991)¹⁶, para mejorar la predicción de parámetros de atributos de rodal. El criterio para seleccionar el mejor modelo para estimar cada parámetro de la Weibull, fue el coeficiente de determinación (R^2), el valor de F y el cuadrado medio del error, sin descuidar los valores obtenidos para el estadístico Durbin-Watson y la distribución de errores.

Las variables que se utilizaron en las ecuaciones de estimación de parámetros, como: área basal, diámetro cuadrático y diámetro normal; se proyectaron por medio de modelos de regresión lineal múltiple, para estimar sus valores a edades futuras. Como otra variable a proyectar fue necesario contar con el número de árboles por hectárea (N_2) a la edad E_2 , de esta forma, se utilizó la función de mortalidad (16).

¹⁵ Acosta M., M.; O. Magaña T. y Juan M. Torres R. 1992. Aspectos prácticos en el uso de modelos de crecimiento en rodales forestales, a través de la función Weibull. pp. 355-363.

¹⁶ Torres R., J. M. y M. Acosta M. 1991. Procedimiento para mejorar la predicción de parámetros de la función de distribuciones diamétricas. (Mecanografiado).

Es necesario contar con una función de altura, para que una vez que se tengan las frecuencias por cada categoría diamétrica, se pueda calcular su volumen, ya que casi todos los modelos que estiman el volumen de árboles individuales depende del DN y la altura. En este caso la variable altura debe estar en función del DN, Índice de Sitio (IS), área basal y edad para que se logre una buena estimación por parcela.

Para validar los modelos que se generaron en este trabajo, se seleccionaron aleatoriamente ocho parcelas, las cuales no se incluyeron en ningún ajuste de los modelos. Se decidió este número porque después de eliminar las parcelas que no presentaron ajustes satisfactorios, quedaron 56 para ajustar las funciones que estiman los parámetros de la Weibull con características del rodal; si se desea obtener una muestra superior al 10 % para validar los modelos, se requirieron por lo menos ocho parcelas.

Para hacer la validación se siguió el procedimiento descrito por Knoebel *et al* (1986)¹⁷, el cual calcula un valor de bondad de ajuste denominados R^2 por medio de la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$$r_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

Y_i = valor i-ésimo observado de la variable dependiente

\hat{Y}_i = valor i-ésimo predicho de la variable dependiente

\bar{Y} = valor promedio de la variable dependiente

También se calculó el valor de t para comparar dos poblaciones. Estas dos pruebas y los resultados de los ajustes para cada modelo, se usaron como criterio para seleccionar los modelos de crecimiento y rendimiento para *P. montezumae*.

¹⁷ Knoebel, B. R., H. E. Burkhardt y D. E. Beck. 1986. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ecuaciones de estimación de parámetros

Siguiendo el procedimiento de Torres y Acosta (*op. cit.*) se seleccionaron tres modelos para estimar "a", uno de los cuales fue con la variable combinada (a+b) como variable dependiente. Tres para estimar "b" y tres para estimar "c"; en todos ellos se obtuvieron ajustes satisfactorios con coeficiente de determinación (r^2) superior a 0.9, a excepción de uno de los modelos para ajustar "c" en donde se obtuvo una $r^2 = 0.88$. En los dos modelos para estimar el parámetro de localización ("a") se incluyó el parámetro de escala ("b") como variable independiente y en todos fue significativo.

A continuación se muestran los modelos ajustados para los tres parámetros de la (fdW); el valor de sus estadísticos básicos se muestra con el modelo como sigue: el valor superior entre paréntesis colocado abajo de cada estimador, muestra el error estándar y el inferior, su significancia. Respecto a los demás estadísticos; la " r^2 " significa el coeficiente de determinación múltiple, la " σ^2 " significa la varianza del modelo y "n" es el tamaño de la muestra.

Respecto al parámetro de localización (a), se puede notar que este estimador, muestra mucha relación con el estimador del parámetro de escala (b) y con la relación del diámetro cuadrático promedio (Dq) y el diámetro normal (DN). En seguida se muestran los modelos ajustados.

$$a + b = 11.3391 + 276.02 \text{ l/E} - 374.18 \text{ l/H} + 1.006 \text{ D}_q \dots\dots\dots (4)$$

$$\begin{matrix} (2.3238) & (70.2848) & (32.3630) & (0.0281) \\ (0.000) & (0.0000) & (0.0000) & (0.0000) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.921 \\ \sigma^2 &= 0.6415 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

$$a_l = 55.4556 + 0.8321 \text{ b} - 295.67 \text{ LDQN} + 0.00519 \text{ D}_q^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$\begin{matrix} (4.1521) & (0.03230) & (29.5879) & (0.0003) \\ (0.000) & (0.0000) & (0.0000) & (0.0000) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.925 \\ \sigma^2 &= 0.2883 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

$$a_2 = 2.2530 - 0.75717 b + 0.86524 DN - 0.10415 H \dots\dots (6)$$

$$\begin{pmatrix} 0.5053 \\ 0.000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.02724 \\ 0.0000 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0.03933 \\ 0.0000 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0.0333 \\ 0.0020 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.921 \\ \sigma^2 &= 0.3067 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

Donde:

a_i = i-ésimo estimador del parámetro de localización

b = estimador del parámetro de escala

H = altura promedio del rodal (m)

E = edad del rodal (años)

DN = diámetro normal promedio (cm)

D_q = diámetro cuadrático (cm)

$LDQN = \ln(D_q)/DN$

$\ln(.)$ = logaritmo natural de (.)

Respecto al estimador del parámetro de escala (b) mostró relación con las variables combinadas del diámetro cuadrático y diámetro normal, número de árboles y área basal; también mostró relación con las variables simples de altura total promedio y la edad. Los modelos ajustados se muestran a continuación.

$$b_1 = 122.137 - 838.204 LDQN \dots\dots\dots (7)$$

$$\begin{pmatrix} 1.6498 \\ 0.000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 19.3996 \\ 0.0000 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.951 \\ \sigma^2 &= 3.0257 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

$$b_2 = 108.668 - 27.195 LNAB - 487.34 1/H + 327.01 1/E \dots\dots (8)$$

$$\begin{pmatrix} 1.4377 \\ 0.000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1.62260 \\ 0.0000 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 75.3573 \\ 0.0000 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 159.58 \\ 0.0440 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.948 \\ \sigma^2 &= 3.3097 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

$$b_3 = 119.356 - 624.70 \text{ LDQN} - 9.3204 \text{ LNAB} \quad \dots\dots (9)$$

$$\begin{matrix} (1.8580) & (76.1344) & & (3.22180) \\ (0.000) & (0.0000) & & (0.0050) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.955 \\ \sigma^2 &= 2.8100 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

Donde:

b_i = i-ésimo estimador del parámetro de escala
 AB = área basal (m^2/ha)
 LNAB = $\ln(N/\text{AB})$, las demás variables como se definieron antes

Respecto al estimador del parámetro de escala (c), mostró mayor relación con las variables diámetro normal, Altura promedio y altura dominante, principalmente, los modelos ajustados se muestran en seguida:

$$c_1 = 2.57020 - 0.5592 \text{ DqE} + 0.6080 \text{ DN} \quad \dots\dots (10)$$

$$\begin{matrix} (0.2499) & (0.02136) & & (0.01898) \\ (0.000) & (0.0000) & & (0.0000) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.953 \\ \sigma^2 &= 0.0384 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

$$c_2 = 2.01770 + 0.3462 \text{ H} - 0.2664 \text{ Hd} \quad \dots\dots (11)$$

$$\begin{matrix} (0.4631) & (0.01536) & & (0.02303) \\ (0.000) & (0.0000) & & (0.0000) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.883 \\ \sigma^2 &= 0.0960 \\ n &= 98 \end{aligned}$$

$$(12) \quad c_1 = -218.81 + 215.15 LDQN + 16.088 LNAB + 46.20 \ln(DN) \dots\dots$$

$$\begin{matrix} (18.813) & (39.3668) & & (0.80720) & & (3.7640) \\ (0.000) & (0.0000) & & (0.0000) & & (0.0000) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} r^2 = 0.945 \\ \sigma^2 = 0.0456 \\ n = 98 \end{matrix}$$

Donde:

c_i = i-ésimo estimador del parámetro de forma

N = número de árboles por ha

Hd= altura dominante (m)

Las demás variables como fueron definidas.

Una variable que se utilizó en varios de los modelos fue $\ln(D_q/DN)$, la cual presentó alta significancia con los tres conjuntos de estimadores. Se intentó utilizar otras relaciones como $\ln(D_q)/AB$, $\ln(D_q)/N$, etc. para no utilizar el DN, porque esta variable generalmente es difícil de proyectar; sin embargo, dada la calidad de los ajustes logrados con ella se decidió conservarla. Por otra parte el modelo que se ajustó para proyectar la variable DN, presentó buenos resultados, como se verá más adelante.

Una vez que se obtuvieron los modelos para predecir cada uno de los parámetros, se intentó buscar la mejor combinación de éstos, de tal manera que al hacer la integración de la fdW con cada combinación de modelos para los tres parámetros, se selecciona el que mejor ajuste representa para la distribución diamétrica observada, en base a la diferencia entre el valor del diámetro medio predicho menos el observado, y a los estadísticos de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y Ji-cuadrada.

Para realizar el procedimiento descrito en el párrafo anterior se elaboró un programa de cómputo el cual alimentado con los datos de cada sitio, estima los parámetros con todas las combinaciones posibles de estimadores y calcula sus estadísticos. El programa se corrió para las 98 parcelas (49 parcelas con sus dos mediciones) con el propósito no sólo de encontrar la combinación de estimadores que brindara el mejor ajuste, sino también, relacionar la mejor combinación con atributos del rodal.

El resultado fue que para la mayoría de las parcelas se encontró la siguiente combinación como la mejor: $a+b / b_2 / c_1$, o sea los modelos (4), (8) y (10); aunque se encontraron algunas parcelas que presentaron mejores tipos de combinaciones, pero

debido a que se usó un criterio de generalidad se optó por dejar esta combinación como la mejor y en base a la misma se hicieron las predicciones para los rendimientos de cada parcela en la validación.

Modelos de proyección de variables y función de mortalidad

Una vez que se seleccionaron los modelos para predecir los parámetros de la fdW, fue necesario ajustar ecuaciones para proyectar variables adicionales como área basal, DN y D_q.

A continuación se muestran las ecuaciones resultantes.

$$\ln (AB_2) = -0.5528 + 1.1469 (E_1/E_2)\ln(AB_1) + 5.4477(1- E_1/E_2) \dots\dots (13)$$

$$\begin{matrix} (0.2263) & (0.05341) & & (0.53960) \\ (0.0180) & (0.0000) & & (0.0000) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} r^2 = 0.905 \\ \sigma^2 = 0.00262 \\ n = 56 \end{matrix}$$

$$\ln (DN_2) = 1.3166 + 5.228 (1-E_1/E_2) + 1.3652(E_1/E_2)\ln(D_q) \quad (14)$$

$$\begin{matrix} (0.2378) & (0.38530) & & (0.05582) \\ (0.0001) & (0.0001) & & (0.0001) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} r^2 = 0.943 \\ \sigma^2 = 0.0006 \\ n = 56 \end{matrix}$$

$$\ln (D_{q2}) = 4.0923 (1- E_1/E_2) + 1.03224 (E_1/E_2)\ln(D_{q1}) \quad (15)$$

$$\begin{matrix} (0.1137) & (0.00644) \\ (0.0001) & (0.0001) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} r^2 = 0.927 \\ \sigma^2 = 0.000423 \\ n = 56 \end{matrix}$$

Para los tres modelos se obtuvieron buenos ajustes, ya que se obtuvo una r^2 superior a 0.90. Al modelo que se usó para proyectar el DN, se le anexó la variable IS para tratar de obtener un mejor ajuste, pero su parámetro no fue significativo y se eliminó del modelo. Por otra parte, en lugar de utilizar el DN inicial se usó el D_{q-} como variable independiente, con la cual se obtuvieron buenos resultados.

Estos tres modelos se validaron usando los datos de validación antes descritos, la expresión (3) y el estadístico t de Student para comparar dos poblaciones. Los resultados se muestran en el Cuadro 1, en donde se observa que los modelos (13) y (14) para proyectar área basal y DN brindaron buenas proyecciones ya que la R^2 calculada fue de 0.858 y 0.825 respectivamente. En cambio para proyectar el D_{q-} se determinó una $R^2=0.699$ a pesar de que en el ajuste el coeficiente de determinación fue de 0.919.

MODELOS	VARIABLE DEPENDIENTE	N	R^2	t_c	Pr.$|t|$
(13)	AB_2	8	0.858	-0.253	0.8044
(14)	DN_2	8	0.825	-0.185	0.8557
(15)	Dq_2	8	0.699	-0.508	0.6195
(16)	N_2	8	0.916	0.123	0.9037
PREDICCIÓN	V_2	8	0.789	-0.080	0.9376
IMPLÍCITA	AB_2	8	0.754	0.314	0.7582

V_2 = rendimiento futuro (m^3/ha)

AB_2 = área basal proyectada a la edad E_2 (m^2/ha)

DN_2 = DN proyectado a la edad E_2 (cm)

Dq_2 = Dq proyectado a la edad E_2 (cm)

N_2 = número de árboles por ha proyectados a la edad E_2

Cuadro N° 1. Prueba de validación para los modelos de crecimiento y rendimiento que se ajustaron para *Pinus montezumae*. En la prueba se usaron 8 parcelas y la prueba de t y R^2 calculada con la expresión (3).

Otra variable de gran importancia a proyectar, es el número de árboles por ha. Para predecirlo se usan funciones de mortalidad e incluso en algunos casos se usan modelos para estimar la probabilidad de muerte de un árbol para un determinado periodo de tiempo. Este último tipo de predicciones por lo general se utiliza en modelos de árboles individuales.

Para el presente caso se usó un modelo sencillo de regresión no-lineal, aunque se probaron otros más complejos para tratar de mejorar el ajuste, se optó por usar éste ya que el coeficiente de variación de sus parámetros fue ligeramente bajo. El modelo ajustado se presenta en seguida en donde se observa que se obtuvo una $r^2=0.941$ y el error standard de sus coeficientes fueron menores que el valor de los mismos.

$$N_2 = N_1 \cdot (E_1 / E_2)^{-0.88597} \exp[-0.56422 + 0.006968 (D_{q1})] \dots\dots\dots (16)$$

$$\begin{matrix} (0.3000) & (0.1215) & (0.00168) \\ (0.0050) & (0.0001) & (0.0001) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} r^2 = 0.941 \\ \sigma^2 = 45.545 \\ n = 54 \end{matrix}$$

Donde:

- N_1 = número de árboles por ha a la edad inicial E_1
- N_2 = número de árboles por ha a la edad de proyección E_2
- E_1 = edad inicial (años)
- E_2 = edad de proyección (años)
- exp = base de los logaritmos neperianos
- D_{q1} = diámetro cuadrático a la edad inicial E_1 (cm)
- LDQN = $\ln(D_{q1})/DN$
- LNAB = $\ln(N/AB)$

Este modelo también se validó siguiendo los mismos criterios que los anteriores modelos, donde se obtuvo como resultado una $R^2 = 0.916$ y un valor más o menos bajo de t_c de Student (Cuadro N° 1).

Si se toma en cuenta la dificultad que acarrea el estimar mortalidad, estos resultados bien pudieran considerarse como buenos. Por ejemplo en los resultados que se obtuvieron en las dos mediciones de las 64 parcelas, el número de árboles por hectárea muertos en el periodo de medición (15 años) varió desde 0 hasta 36, lo que significa que en la ocurrencia de este fenómeno (mortalidad) intervienen muchos factores difíciles de determinar y más aún de evaluar y modelar.

Un aspecto que es importante resaltar, es que en los modelos para proyectar las variables AB, DN, Dq, e incluso mortalidad, no se incluyó la variable IS como predictora, ya que en ninguno fue significativa su inclusión. Un factor que pudo influir

es que el área donde están ubicadas las parcelas pertenecen a un rango de IS muy pequeño (de 21.7 a 34.5) ya que están en el mismo lugar.

Para proyectar la altura (H) se usó el modelo que ajustó Acosta (1991)¹⁸ como modelo de crecimiento en altura.

Ecuación de altura en función del diámetro normal y sitio

Una vez que se tienen definidos los modelos que se deben utilizar para estimar los parámetros de la fdW, se requiere ajustar una función que estime la altura en base al DN y a características del rodal como IS, edad, etc. De esta forma, después al hacer la integración de la función Weibull y estimar las frecuencias por categoría diamétrica, se podrá determinar el volumen por cada categoría y finalmente obtener el volumen total por ha. de cada parcela sumando el volumen de las categorías.

Con base en lo anterior se buscó alguna función para estimar la altura, cabe señalar que se ajustaron varios modelos (incluyendo modelos no-lineales) y finalmente se optó por utilizar el que se muestra en seguida:

$$H = DN^2 / (4.310938 + 0.026076 DN^2 - 0.838744 IS + 2601.116771/E)$$

(5.2944)	(0.00021)	(0.18846)	(216.8197)
(0.4159)	(0.00001)	(0.0001)	(0.0001)

$$r^2 = 0.968$$

$$\sigma^2 = 91,292$$

$$n = 518$$

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza para este modelo se observa que se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que se logró una $r^2=0.968$; los coeficientes fueron significativos, a excepción de la interceptada. Este modelo tiene la característica de que cuando DN tiende a infinito el valor de H se vuelve asintótico y el parámetro que define ese valor, es el coeficiente del DN ($1/0.026076=38.3494$), valor congruente con la base de datos utilizada.

¹⁸ Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla

Validación de la predicción del rendimiento

La validación del modelo de distribuciones diamétricas generado a través de la técnica de predicción de parámetros, se llevó a cabo de dos formas: Una para validar la recuperación de la distribución que se genera con el juego de parámetros estimados con respecto a la distribución real de las parcelas seleccionadas. La otra consistió en validar el volumen y área basal obtenidos implícitamente con respecto al volumen y área basal reales.

Para la primera prueba de validación se usaron los estadísticos de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y Ji-cuadrada. Para esta prueba se consideraron los valores de área basal, DN y mortalidad predichos con los modelos 15-18 como valores para predecir los parámetros de la distribución diamétrica asociada a ellos. El Cuadro N° 2 muestra los resultados de esta validación donde se observa que de acuerdo al estadístico Kolmogorov-Smirnov el ajuste es satisfactorio con un $\alpha=0.05$ sólo para las parcelas 19, 25 y 27. En cambio, para la prueba de Ji-cuadrada, el ajuste es satisfactorio para seis de las ocho parcelas.

PARCELA	PREDICHOS-OBSERVADOS		K-S ¹⁹	G.L. ²⁰	Ji-C ²¹	G.L.
	VOLUMEN m ³ /ha	AB m ² /ha				
03	70.083	5.007	.1618 ^{NO}	31	26.31 ^{**}	17
19	21.007	1.905	.1065 ^{**}	34	10.61 ^{**}	16
22	18.786	2.421	.1753 ^{NO}	33	22.99 ^{**}	16
25	-26.853	-1.944	.1246 ^{**}	41	17.71 ^{**}	14
27	-20.359	-0.171	.0659 ^{**}	34	12.39 ^{**}	15
39	-13.195	-1.003	.1444 ^{NO}	45	29.93 ^{NO}	13
48	-37.483	-2.034	.1673 ^{NO}	44	35.84 ^{NO}	51
58	9.084	1.972	.1861 ^{NO}	45	13.50 ^{**}	14

El doble asterisco (**) significa que el ajuste es significativamente satisfactorio con por lo menos un $\alpha=0.05$.

Cuadro N° 2. Resultado del ajuste de la distribución generada con los estimadores de los parámetros predichos de la fdW, utilizando las ecuaciones (4), (8) y (11).

En el mismo Cuadro N° 2, se incluyó la desviación entre los valores predichos y observados de las variables volumen y área basal. Observe que la predicción del área basal tubo gran influencia en la del volumen, ya que cuando la desviación del área

¹⁹ Valor del estadístico Kolmogorov-Smirnov

²⁰ Grados de libertad

²¹ Valor del estadístico Ji-cuadrada

basal fue negativa también lo fue la del volumen. Además, cuando la desviación del área basal fue alta, como en el caso de la parcela 03; también lo fue para el volumen.

Otro aspecto que es conveniente recalcar, es que a pesar de que en las parcelas 39 y 48 el ajuste no fue satisfactorio con ninguno de los dos estadísticos, las predicciones del volumen y área basal fueron aceptables. Esto se debe a que la distribución de estas parcelas es bastante irregular por lo que la curva ajustada con los parámetros predichos difiere mucho de la distribución real.

El Cuadro N° 1 presenta los resultados de la segunda validación. En las hileras correspondientes a la predicción implícita se presentan los valores de R^2 y t . Los resultados pueden considerarse aceptables, ya que se obtuvieron los valores de R^2 de 0.754 y 0.789 para el volumen y área basal respectivamente; y los valores 0.314 y -0.059 para el estadístico t de Student. Además, el valor real muestra que no hay diferencias significativas entre las estimaciones.

Considerando que en este tipo de modelos de crecimiento se incurre en una acumulación de errores, conforme se ajustan varios modelos para las diferentes variables que intervienen, y que además, en rodales naturales, es posible que los errores se acrecienten; los resultados obtenidos en el presente trabajo, bien pudieran considerarse como aceptables, y por lo tanto, factibles de ser utilizados para generar un simulador en el lugar y para la especie estudiada.

CONCLUSIONES

- Al utilizar el procedimiento sugerido por Torres y Acosta (*op. cit.*) para hacer las predicciones de los parámetros de la fdW con atributos del rodal, se mejoran significativamente los ajustes.
- En función de los resultados que se obtuvieron con el análisis de validación de los modelos, se determinó que la mejor combinación de modelos para hacer la predicción de los parámetros de la fdW , es la siguiente: $a+b$, b_2 , y c_1 , o sea los modelos (4), (8) y (10).
- Los modelos que se ajustaron para proyectar las variables área basal, diámetro normal y diámetro cuadrático, a edades futuras; presentaron una r^2 superior a 0.9. Sin embargo, en la validación presentaron una R^2 menor a 0.9, incluso para validar el diámetro cuadrático sólo se obtuvo una $R^2 = 0.7$.

- El modelo que se ajustó como función de mortalidad, presentó buenos resultados, tanto en el ajuste como en la validación, ya que en ambos se obtuvo un coeficiente de determinación superior a 0.9.
- En la validación de la distribución que se generó con el juego de parámetros estimados, comparada con la distribución real de las parcelas seleccionadas; se observó que de acuerdo al estadístico Kolmogorov-Smirnov, el ajuste fue satisfactorio con un $\Delta = 0.05$ sólo para tres de las ocho parcelas, y para la prueba de Ji-cuadrada, el ajuste fue satisfactorio para seis.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. DiCiFo, UACH. Chapingo, México 88 p.
- Acosta M., M.; O. Magaña T. y J. M. Torres R. 1992. Aspectos prácticos en el uso de modelos de crecimiento en rodales forestales, a través de la función Weibull. *In:* Memorias "Primer Foro Nacional Sobre Manejo Integral Forestal." 10 y 11 de Octubre de 1991, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp. 355-363.
- Bailey, R. L. y T. R. Dell. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science* 19:97-104.
- Burk, T. E. y J. D. Newberry. 1984. A simple algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters. *Forest Science* 30:329-332.
- Burkhart, H. E. y T. M. Brooks. 1982. Predicting growth and yield: alternative approaches and their applications. Prepared for Presentation at 31st. Annual Forestry Symposium "Predicting Growth and Yield in the Mid-South", Louisiana State University. 13 p.
- Castillo S., M. A. 1988. Modelo para estimación de incremento y producción maderable neta en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf., de la Sabana, Oax. Tesis de Ing. Agr. DiCiFo-UACH. Chapingo, México. 81 p.
- Clutter, J. L.; J. C. Fortson; L. V. Pienaar; H. G. Brister y R. L. Bailey. 1983. Timber management: A quantitative approach. New York, Wiley. 333 p.

- Drew, T. J. y J. W. Flewelling. 1977. Some recent japanese theories of yield-density relationships and their application to monterey pine plantations. *Forest Science* 23:517-534.
- Knoebel, B. R.; H. E. Burkhart y D. E. Beck. 1986. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. *Forest Science Monograph*. 27:39 p.
- Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático. *In: Primera Reunión sobre Modelos de Crecimiento de Árboles y Masas Forestales. Publicación Especial No. 44, INIF, SARH, México.* pp. 35-45.
- Pienaar, L. V. y K. J. Turnbull. 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Science* 19:2-22.
- Ramírez M., H. y A. M. Fierros G. 1989. Estimación del crecimiento y rendimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a través de su distribución diamétrica. *In: Salazar, R. (ed.). 1989. Memoria: Cuarta Reunión del Grupo de Trabajo de IUFRO. Silvicultura en los Neotrópicos. Antigua, Guatemala. 3 al 7 de Abril de 1989. CATIE, Turrialba, Costa Rica.* pp. 459-474.
- Torres R., J. M. 1987. Economic analysis of several alternatives of forest management for *Pinus hartwegii*. Master Thesis. Oregon State University, 126. p.
- Torres R., J. M. y M. ACOSTA M. 1991. Procedimiento para mejorar la predicción de parámetros de la función de distribución de probabilidades Weibull, en la estimación de distribuciones diamétricas. (Mecanografiado).
- Torres R., J. M.; M. Acosta M. y O. S. Magaña T. 1992. Métodos para estimar los parámetros de la función Weibull y su potencial para ser predichos a través de atributos del rodal. *AGROCIENCIA Serie RECURSOS NATURALES RENOVABLES*. Vol. 2. No. 2. pp. 57-76.

LA SILVICULTURA DE *Pinus montezumae* Lamb. EN LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO

Rodríguez Franco Carlos¹

RESUMEN

Se integra una recopilación de los resultados de investigación obtenidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y otras instituciones de investigación y enseñanza, en relación con los aspectos teóricos y prácticos necesarios para el cultivo de bosques conformados por masas de *Pinus montezumae*, para la región central de México, en lo que se refiere a establecimiento, composición, estructura, crecimiento y desarrollo de masas arboladas a través de intervenciones silvícolas para favorecer la cosecha en base a un objetivo de manejo.

Palabras clave: Silvicultura, masas arboladas, crecimiento, desarrollo, manejo forestal.

ABSTRACT

A compendium of research results obtained for the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) and other research and education agencies was integrated in relationship with theoretical and practical aspects needed for the crop of forest stands of *Pinus montezumae* in central Mexico. The main aspects summarized are referred to establishment, composition, stand structure, growth and development of forest stands through silvicultural practices in order to facilitate the harvest based on a forest management objective.

Key words: silviculture, forest stands, growth and development, forest management.

¹ Ph.D. Director General de Investigación Forestal, INIFAP: SAGAR

INTRODUCCIÓN

La región geográfica que contempla el presente documento, comprende las entidades donde crece de manera natural el pino Moctezuma, éstas son: Hidalgo, Estado de México, Puebla, Tlaxcala y el Distrito Federal.

La superficie cubierta por los estados mencionados es de 8.25 millones de hectáreas, en donde se desarrollan todas las actividades económicas del sector agropecuario y forestal.

La superficie arbolada de esta región es de 1.6 millones de hectáreas de bosque de clima templado y frío, que corresponden al 19% de la superficie total indicada.

La problemática de la región centro es muy distinta a la de otras regiones forestales de México, principalmente porque en esta área se concentran grandes centros poblacionales, que ejercen una fuerte presión sobre los recursos naturales forestales y que dan origen a una amplia variedad de disturbios que alteran los ciclos regenerativos de los ecosistemas forestales, ya sea alternando su composición de especies y sus estructuras naturales, o bien, causando su completa desaparición.

De los eventos de disturbio que mayor influencia tienen en la disminución de la superficie de bosques de la región centro son: la ampliación de la frontera agrícola y ganadera (eliminando a cubierta arbolada), la creación de nuevos asentamientos humanos, la creación y/o expansión de obras de infraestructura y principalmente la obtención no controlada de diferentes productos para autoconsumo en la construcción local y para cubrir necesidades dendroenergéticas, además de las extracciones para venta en mercados locales.

Sin embargo, los disturbios que por su frecuencia, periodicidad e intensidad de ocurrencia, que causan fuertes desequilibrios en el balance natural del ecosistema, originando que no se presente el establecimiento de nuevas masas arboladas de forma ordenada y que en la mayoría de los casos la regeneración no se establezca son: el **pastoreo immoderado**, con sus fuertes repercusiones como la compactación del suelo, disminución de la capacidad de infiltración de agua y por ende, decrecimiento de mantos acuíferos, incremento del riesgo de erosión, retraso en el crecimiento y malformación en el renuevo. Así mismo, dicho pastoreo es el origen principal de los **incendios forestales**, los cuales son de tipo superficial en su mayoría (85%) y ocurren en un 14% en áreas de renuevo, en la época de sequía, ya que se realizan quemadas no controladas del pasto para obtener brotes más vigorosos durante la estación lluviosa para alimentación del ganado, ocasionando decremento de bancos de semilla del

sotobosque, sustitución de especies originales por otras más tolerantes a la quema, además de favorecer la presencia de plagas y enfermedades.

Las **plagas forestales** son importantes en la región centro, porque causan daños parciales o totales, implicando con ello pérdidas en el valor de los diferentes productos forestales, afectando alrededor de 35,000 hectáreas en toda el área.

Los disturbios señalados, son la causa principal que en la región centro, se tengan 2.1 millones de hectáreas de vocación forestal en proceso de degradación con diferente grado de impacto y a los cuales el pino Moctezuma no es ajeno.

La necesidad de aprovechar los recursos naturales forestales integralmente, por el gran incremento demográfico y el decrecimiento de las superficies boscosas, no sólo en la región centro, sino en todo el país, causando el mínimo impacto ambiental, implica el uso de un fuerte soporte técnico para la toma de decisiones óptimas, desde el punto de vista ecológico y financiero, que a la vez permita su adecuada recuperación en el menor tiempo posible, con lo que se puede alcanzar una producción óptima, continua y sostenida de diversos satisfactores derivados del recurso forestal.

Con base en lo anterior, el objetivo de este documento, es el presentar los resultados de investigación principalmente generados por el INIFAP y otras instituciones de investigación y enseñanza, con relación a los aspectos teóricos y prácticos necesarios para el cultivo de bosques conformados por *Pinus montezumae*, en la región centro de México, en lo que se refiere a: establecimiento, composición, estructura, crecimiento y desarrollo de masas arboladas a través de la aplicación de una serie de tratamientos silvícolas para mantener y favorecer el desarrollo de una cosecha maderable de acuerdo a un objetivo determinado de manejo forestal.

MARCO DE REFERENCIA

En la región se desarrolla una gran diversidad de especies de coníferas, entre las que destaca el género *Pinus*, con 15 especies, una de *Abies*, una de *Cupressus* y una de *Pseudotsuga*, además de un gran número de especies del género *Quercus*. El volumen de dichas especies en la región centro, alcanza un volumen en pie de aproximadamente 160 millones de m³, con un incremento medio anual de 3.4 millones de m³. La producción maderable por año de esta región representa entre el 11 y 13% de la producción nacional que varía entre 7.5 a 9.5 millones de m³, de lo cual se puede inferir la importancia económica del área, en el subsector forestal.

Dentro de las especies del género *Pinus*, que crecen en la región central destaca por su amplia distribución y abundancia el pino moctezuma (*Pinus montezumae*), aunque no

es una especie de carácter endémico en la región centro de México, ya que se desarrolla desde el norte del país (Parte sur de Coahuila, en la sierra de Arteaga, en Nuevo León y Tamaulipas) hasta el estado de Chiapas (en San Cristóbal de las Casas), por lo que se puede considerar como una de las especies más importantes del país, debido a su capacidad de adaptación a una gran cantidad de condiciones del medio.

Pinus montezumae, se caracteriza por crecer en 39 de los 43 municipios con cantidades importantes de bosques en el Estado de México, prospera en las partes orientales del volcán Iztaccihuatl, en los municipios de Chiautzingo, Guadalupe Victoria, Atlixco y en Chignahuapan, entre otros, del estado de Puebla; se desarrolla en el área de Nanacamilpa y en la Malinche en Tlaxcala, en la zona de Real del Monte y en el área arbolada de Tulancingo en el estado de Hidalgo, se le encuentra en las masas arboladas aledañas al Distrito Federal y en las partes templadas del estado de Morelos.

CARACTERÍSTICAS DEL PINO MOCTEZUMA

Taxonomía y morfología

El *Pinus montezumae* fue clasificado por primera vez en 1817 como *Pinus occidentalis* y en 1832, reclasificado por Lambert, con el nombre actualmente conocido. Esta especie taxonómicamente, se ubica en el subgénero *diploxylon* o de los pinos duros, en la sección *montezumae* y en el grupo del mismo nombre.

Entre las características morfológicas más sobresalientes de esta especie resaltan las siguientes (Little Jr. 1962):

1. Árbol robusto, de gran tamaño con alturas que varían de 30 a 40 m, con copa irregular y redondeada.
2. Hojas con vaina persistente en número de 5, en ocasiones de 4 a 7 de 14 a 25 cm de longitud, usualmente anchas y dentadas en el borde, y de color verde oscuro.
3. Brotes uninodales, de color café y de superficie muy rugosa.
4. Yemas largas, ovoides de color café-rojizo y resinosas.
5. Conos de 1 a 3 por grupo, **deciduos**, abiertos en la madurez, suavemente oblicuos y curvados, de ovoides y cónicos y de 9 a 15 cm de longitud.

- Semillas de 6 a 7 mm de longitud, con una ala oscura de 20 mm de longitud y 7 mm de ancho.

Clima

La especie prospera en climas templados subhúmedos con ocurrencia de precipitación de mayo a octubre, con un régimen de precipitación promedio anual de 1000 a 1200 mm; una temperatura media de 22° C en el mes de mayo y la mínima promedio de -5° C en el mes de diciembre. Así mismo, en lugares donde ocurre la especie las heladas son frecuentes, teniéndose en promedio hasta 100 días con presencia de las mismas en los meses de noviembre a febrero (May, 1971)².

Altitud

La especie ha sido reportada creciendo en un rango altitudinal que varía desde los 1,150 a 3,350 m sobre el nivel del mar, lo cual indica la gran diversidad de condiciones en la cual puede prosperar dicha especie (Jasso, 1986)³.

Vegetación

El pino Moctezuma es una especie que se puede encontrar en masas puras o mezcladas, cuando crece en masas mezcladas se le puede encontrar asociada a las especies siguientes: *Pinus leiophylla*, *Pinus rudis*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. michoacana*, *P. ayacahuite*, *P. ayacahuite* var. *veitchii*, *P. hartwegii*, *Abies religiosa* y latifoliadas de los géneros *Quercus*, *Arbutus*, y *Alnus* entre otros (Rodríguez, 1980⁴, Jasso, *op. cit.*).

Suelos

Es necesario conocer en primer lugar las relaciones existentes entre la especie a cultivar y las características de su medio, donde uno de los factores más importantes lo

² May N., A. 1971. Estudio Fitoecológico del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla.

³ Jasso M., J. 1986. Although *Pinus montezumae* is one of the most important timber species in México, the knowledge that has accumulated on its natural range, morphology, biology and genetics is fairly limited and appears in scattered publications.

⁴ Rodríguez F., C. 1980. Estudio epidémico de *Pinus montezumae* Lamb. mediante análisis troncales en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

constituye el suelo en que prospera la especie. Resultados de investigaciones desarrolladas por INIFAP, indican que *Pinus montezumae*, en la región centro de México, crece en suelos que presentan características como las siguientes: Los suelos son de origen volcánico, clasificados como de ando o húmedos, son suelos profundos, con texturas medias en todo el perfil, con variaciones en color de acuerdo a la profundidad de color negro a pardo oscuro, con alto contenido de arena en todas sus profundidades y a medida que aumenta de arcilla, disminuye. Su textura se clasifica como migajón-arenosa. El desarrollo de la estructura varía de debilmente desarrollada a moderadamente desarrollada, presentan una consistencia muy friable y una permeabilidad rápida, con altos contenidos de materia orgánica y pH que varía de 6 a 6.5, son suelos bien drenados. Estos suelos se caracterizan por tener una buena retención de humedad y por ser donde la especie alcanza su máximo potencial de desarrollo (Rodríguez y Ortiz, 1982)⁵.

SILVICULTURA DE *Pinus montezumae*

Fenología del Pino Moctezuma

En relación al establecimiento de masas arboladas, en primer lugar es necesario un adecuado conocimiento de los diferentes eventos, por los cuales pasan los árboles a través de su vida y los factores que influyen en los mismos, con la finalidad de generar una serie de prácticas que permitan asegurar el establecimiento y desarrollo de la futura masa arbolada, razón por la cual el INIFAP, se ha abocado a la tarea de estudiar los diferentes aspectos fenológicos de *Pinus montezumae*, habiendo obtenido una serie de conocimientos entre los que destacan los siguientes, con respecto a la producción de semilla:

Para que se alcance la producción de semilla, es necesario que los árboles pasen por diferentes estados de desarrollo, desde un estado juvenil hasta alcanzar su estado de maduración. Para la producción de flores, es indispensable que el árbol termine su estado juvenil y que se produzcan en él concentraciones críticas de hormonas de crecimiento reproductivo. Este punto en *Pinus montezumae* se alcanza a la edad de 14 años en el rango natural de la especie. El primer paso consiste en la diferenciación de los primordios florales, para que en la primavera siguiente se produzca la floración y polinización. Las flores masculinas se producen en la base de las hojas y se agrupan en racimos **buterminales** y varían de 1 a 5 por yema. Las flores femeninas, brotan entre una y dos semanas después de que el cono estaminado brota y terminan de brotar

⁵ Rodríguez F., C y Ortiz S., C. 1982. Levantamiento de suelo del CEF San Juan Tetla, Puebla.

antes que la dispersión de polen concluya. Ellas se producen cerca de la punta en yemas laterales o subterminales, solitarias o en grupos de dos o tres. La época de brotación de las flores masculinas ocurre de febrero a abril y la dispersión de polen a partir de marzo hasta abril. Las flores femeninas permanecen receptivas de 24 a 48 horas; una vez polinizadas la fecundación del óvulo se produce entre una y dos semanas después. Los conos se desarrollan y maduran en el otoño del mismo año, aunque en ocasiones esto ocurre hasta el invierno (Patiño, 1973⁶, Jasso, *op. cit.* y Pérez, 1988⁷), lo cual ha sido también corroborado por Ramírez (1985)⁸, quien recomienda que la mejor época para la colecta de conos maduros debe de ser entre los primeros días del mes de diciembre y mediados de enero.

En referencia a la producción anual de conos de esta especie, resultados de investigaciones indican que, es importante contar con una adecuada producción de conos, que garantice un abastecimiento continuo de semillas, con características tales que permitan su incorporación a la cama de germinación del suelo forestal y su posterior germinación. Los factores que influyen en la producción de conos y semillas son muy diversos, lo mismo que las condiciones meteorológicas, la presencia de incendios, plagas y enfermedades y las características intrínsecas de los árboles, así como las condiciones del sitio de crecimiento.

La producción de conos por árbol individual fue avalada durante los meses de enero y febrero, época durante la cual se determinó que los conos están maduros en tres tipos de densidades arboladas. Los resultados indicaron que la producción de conos de árboles individuales creciendo en condiciones abiertas es baja (166 conos/árbol), en comparación a una condición de crecimiento media en la cual la producción de conos por árbol en promedio es de 1,284; así mismo, se determinó que a medida que la densidad del rodal incrementa el número de conos por árbol tiende a decrecer, produciéndose por árbol en promedio 135 conos. Los resultados también indicaron que las características individuales de los árboles con mayor influencia en la producción de conos fueron la posición sociológica del mismo, las dimensiones de su copa y las características relacionadas con las dimensiones del fuste. La mayor producción de conos por árbol individual de acuerdo a sus dimensiones, se presentó en los árboles dominantes con una producción promedio de 864 conos y como máximo de 2402 conos. Así mismo, se determinó que a medida que el árbol tiende a decrecer en su posición sociológica la producción de conos por árbol disminuye a 96, 32 y 0 para las posiciones sociológicas codominante, intermedia y suprimida respectivamente (Pérez, Rodríguez y Fierros, 1988).

⁶ Patiño V., F. 1973. Floración, fructificación, recolección de conos y aspectos sobre semillas de pinos mexicanos, pp. 20-30.

⁷ Pérez B., J. L. 1988. Estimación de la producción de conos *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

⁸ Ramírez H., L. 1985. Determinación de la época de colecta de conos de *Pinus montezumae* Lamb.

En el proceso de regeneración natural de masas arboladas en especies de reproducción por semilla como el *Pinus montezumae* uno de los aspectos más importantes lo constituye la dispersión de semillas, en lo que se refiere al periodo de dispersión, la distancia de la misma, así como la cantidad y calidad de semillas dispersadas, aspectos que tienen que ser considerados en la asignación, selección y aplicación de la corta final de un método de regeneración por monte alto. Los resultados de este estudio (Acosta y Musálem, 1986)⁹ señalaron que el período de dispersión ocurre desde principios de febrero hasta finales de junio. La máxima dispersión de semillas llenas ocurre a mediados de marzo, fecha a la cual se obtiene más de un 50% de la semilla llena dispersada. La semilla dispersada en condiciones de crecimiento cerradas es de mejor calidad que en condiciones abiertas, aunque la distancia de dispersión no influyó en la calidad de la semilla. Se determinó que existe una tendencia a mejorar la calidad de la semilla a medida que aumenta el período de dispersión. El número de semillas llenas por hectáreas en condiciones cerradas fue de 200 mil, las vanas fueron 76 mil y las abortivas 115 mil; en condiciones abiertas el número de semillas llenas por hectáreas fue de 59 mil, las vanas 40 mil y las abortivas 54 mil. Finalmente, la distancia de dispersión con respecto a la calidad de la semilla indicó que a los 25 metros de dispersión se tiene la máxima cantidad de semilla llena dispersada con 104 mil por hectárea y que la calidad de semilla tiende a decrecer a medida que aumenta la distancia de dispersión en condiciones abiertas de crecimiento (Acosta, 1986)¹⁰.

Estructuras arboladas de *Pinus montezumae*

Antes de considerar las estructuras arboladas del pino Moctezuma, es importante tomar en cuenta algunas de las características relacionadas con las mismas en la región central de México, así como clarificar algunos conceptos. La información a continuación presentada fue resumida de Rodríguez (1986)¹¹, cuando sea de manera diferente, será señalado.

De acuerdo con Smith (1986)¹², un rodal se define como un grupo contiguo de árboles suficientemente uniforme en composición de especies, arreglo de clases de edad y condición, para ser diferenciado como una unidad. El arreglo interno de la estructura del rodal varía principalmente con respecto al grado en que las diferentes especies y clases de edad se mezclan. En el caso de masas **uniespecíficas** de *Pinus montezumae*, su estructura interna varía mayormente de acuerdo con el grado en que sus clases de

⁹ Acosta M., M. y M. A. Musálem. 1986. Dispersión de semillas de *Pinus montezumae* Lamb., en dos matarrasas del CEF San Juan Tetla, Puebla, pp. 35-40.

¹⁰ Acosta M., M. 1986. Estudio de dispersión de semillas de *Pinus montezumae* Lamb.

¹¹ Rodríguez F., C. 1986. Compare and contrast possible stand structures of even-aged and irregular-aged stands of *Pinus montezumae* of a given basal area or measure of stand density.

¹² Smith D., M. 1986. The practice of silviculture.

edad están mezcladas. Aunque, Larson (1982)¹³, señala que las clases de copa son otra característica a ser considerada en la estructura interna de rodales, por lo que es importante señalar que la distribución de las clases de edad es la característica principal del rodal determinando su estructura (Smith, *op. cit.*).

Son varios los factores que determinan las diferentes clases de edad, que pueden estar integrando un rodal, pero la mayoría de ellos están relacionados con disturbios (naturales o causados) los cuales determinan la aparición de nuevos árboles. La frecuencia e intensidad de los disturbios produce diferentes agregaciones de árboles, lo cual constituye una clase de edad donde casi todos los árboles son de la misma edad (Smith, *op. cit.*).

En la región central de México, los principales disturbios regenerativos, originando estructuras coetáneas e incoetáneas de rodales del pino Moctezuma son: incendios, ataque de insectos, enfermedades y disturbios causados por el hombre.

El papel del fuego en la región central del país a través del rango de distribución natural de *Pinus montezumae* está principalmente asociado con prácticas de pastoreo no controlado. El fuego es la clase de disturbio regenerativo más común, el cual mata el bosque desde su base hasta arriba, su daño es más probable que mate árboles pequeños que grandes (Smith, 1981)¹⁴. Los incendios en esta categoría pueden ser incompletos o catastróficos y cada uno de ellos da origen a diferentes tipos de estructuras. Los rodales del pino Moctezuma son mayormente afectados por incendios incompletos, debido a que son causados durante la época de sequía en el sotobosque con el objetivo de estimular los brotes de pastos nuevos en la época de lluvias siguiente. La ocurrencia de incendios en la región central ha sido estimada en un promedio anual de 1,476 eventos sobre 7,000 hectáreas de área arbolada afectada por año (S.F.F., 1980)¹⁵. De esto, puede ser señalada la importancia del fuego como un disturbio regenerativo en rodales de *Pinus montezumae*. De acuerdo a Musálem (1984)¹⁶ el establecimiento de plántulas de pino Moctezuma está relacionado a perturbaciones drásticas en el piso forestal o reducción de la competencia de raíces cuando el dosel es abierto. El efecto de los incendios incompletos es la muerte de grupos de árboles en el rodal, que libera espacio de crecimiento disponible para ser ocupado por una nueva clase de edad de regeneración de árboles de pino Moctezuma. Estos nuevos árboles se juntan a los grupos de árboles que no fueron destruidos y originan una nueva clase de edad en el rodal. Subsecuentemente, el desarrollo del rodal es por mucho tiempo

¹³ Larson B., S. 1982. Development and growth of even-aged and uneven-aged mixed conifer stands in eastern Washington. pp. 113-118.

¹⁴ Smith D., M. 1981. Patterns of development of forest stands. pp. 1-4.

¹⁵ S.F.F. 1980. Vademecum forestal mexicano.

¹⁶ Musálem, M. A. 1984. Effect of environmental factors on regeneration of *Pinus montezumae* Lamb. in a temperate forest of Mexico.

dominado por el patrón específico de crecimiento y desarrollo de esta especie. Aunque, cambios en la estructura del rodal ocurrirán como un resultado de la intensidad de incendios incompletos y las interacciones competitivas entre árboles de diferentes clases de edad. El número de clases de edad discreta que forman la masa incoetánea, será un resultado de la periodicidad discreta de ocurrencia de estos incendios en el mismo rodal.

La ocurrencia de incendios catastróficos usualmente inicia con un incendio incompleto y no controlado, durante la época más seca del estío. Estos incendios ocurren de marzo a abril cuando la sequía es más fuerte, debido a la escasez de precipitación (7 mm por mes), temperaturas máximas promedio por mes de 19.4° C y velocidades del viento mayores a 30 km/hr, las cuales son las condiciones apropiadas para la propagación del fuego (Anaya *et al.*, 1980)¹⁷. Esta clase de disturbio letal origina masas coetáneas de pino Moctezuma.

El ataque de insectos y enfermedades fungosas son disturbios regenerativos, que matan árboles de arriba hacia abajo (Smith, *op. cit.*). El efecto de estos disturbios causa la muerte de un grupo de árboles grandes antes que los pequeños y libera espacio de crecimiento disponible para ser ocupado por pequeños grupos de una nueva clase de edad de árboles de pino Moctezuma. La característica principal es que estos árboles están adaptados a iniciar su desarrollo como regeneración avanzada bajo el estrato de arbolado maduro. Musálem (*op. cit.*) indica que las semillas de pino Moctezuma son capaces de germinar bajo una pronunciada reducción de luz solar hasta que la intercepción de luz solar alcanza el 50%. Plántulas de 2 años de edad de esta especie pueden sobrevivir y soportar una fuerte sombra del dosel, sin una reducción sustancial en crecimiento en diámetro. También ha sido señalado que los rodales de pino Moctezuma pueden ser gradualmente abiertos para permitir el establecimiento de la regeneración y la corta de liberación puede ser aplicada después del segundo año. Estas características de los árboles del pino Moctezuma son las principales responsables de que puedan iniciar su desarrollo como crecimiento avanzado bajo un dosel de arbolado maduro. Subsecuentemente, cuando las aperturas del dosel han sido creadas en el rodal, estas son ocupadas por los grupos de regeneración avanzada, los cuales son aproximadamente de la misma clase de edad. Estos árboles están entremezclados con árboles que no fueron afectados por el ataque de enfermedades o de insectos. La ocurrencia de estos disturbios no catastróficos crea estructuras incoetáneas de pino Moctezuma. Los rodales de *Pinus montezumae*, son afectados principalmente por descortezadores (*Dendroctonus adjunctus*, *Dendroctonus mexicanus* y *Dendroctonus valens*) defoliadores (*Neodiprion* spp.) y enfermedades fungosas causadas en su mayoría por *Cronartium* (S.F.F., *op. cit.*).

¹⁷ Anaya L., A.; S. R. Hernández y X. Madrigal. 1980. La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccihuatl (México).

Los disturbios causados por el hombre a través del rango natural del pino Moctezuma, están relacionados con cortas ilegales para obtención de materia prima para hacer vigas y leña combustible. Esta actividad está dispersa a través de los rodales de pino Moctezuma y constituye la corta de pocos árboles durante cada ocasión. De acuerdo con Larson y Oliver (1979)¹⁸ el efecto de esta actividad no promueve el establecimiento de regeneración, debido al tamaño pequeño de las aperturas del dosel. Ellos señalan que pequeñas aperturas promueven el establecimiento de especies de pastos y arbustos, los cuales posteriormente excluyen el establecimiento de nuevos árboles en caso de que un disturbio mayor ocurra. Por esta razón los disturbios pequeños causados por el hombre, no promueven la formación de masas coetáneas o incoetáneas de pino Moctezuma en la región central de México.

Cuando las plántulas de esta especie se establecen en aperturas de dosel rodeadas por arbolado remanente de la misma especie, pueden sobrevivir más exitosamente, porque ellas no son afectadas significativamente en sus estadios tempranos por supresión bajo masas naturales. Esto se debe a la protección parcial contra radiación solar proporcionada por los árboles aledaños, lo cual también reduce mortalidad de las nuevas plántulas (Musálem, *op. cit.*).

De acuerdo con las consideraciones precedentes, la alta frecuencia de masas irregulares de *Pinus montezumae* a través de su rango natural es resultado de las características: 1) La adaptación de la especie a crecer bajo condiciones de sombra, como una respuesta a las condiciones meteorológicas prevalecientes en la zona, 2) La respuesta de plasticidad de esta especie a soportar competencia, como un resultado de su tolerancia a la sombra, y 3) La frecuente, pero discontinua ocurrencia de pequeños disturbios como incendios incompletos, en todo el rango natural.

Establecimiento de regeneración

En el diseño de tratamientos silvícolas para asegurar la regeneración natural, es de gran importancia al conocer los factores ambientales que afectan la germinación de la semilla e influyen en el establecimiento y desarrollo posterior de las plántulas, ya que este conocimiento es básico porque permite generar una serie de estrategias de carácter silvícola para manipular la estructura arbolada al momento de aplicar la corta de regeneración para renovar la masa.

En esta disciplina Musálem (*op. cit.*) desarrolló una serie de experimentos para determinar los efectos de factores ambientales en la regeneración de *Pinus montezumae*, entre los resultados más sobresalientes de sus investigaciones resaltan los siguientes:

¹⁸ Larson B., C. and Ch. D. Oliver. 1979. Forest dynamics and fuelwood supply of the Stehekin Valley, WA. pp. 127-134.

1. Los conos de *Pinus montezumae*, tienen una longitud promedio de 14.3 cm, un diámetro de 4.9 cm, un peso fresco de 134 gr, con 144 semillas en promedio por cono y con una alta proporción de semillas vanas 68 (47%), el número de semillas llenas por cono fue de 52 (36%) y 22 semillas dañadas por barrenadores (17%). El número de semillas por kilogramo fue de 56,000. La germinación fue del 99% de las semillas llenas.
2. No se observó reducción de la viabilidad de la semilla almacenada en el piso forestal desde el tiempo de dispersión hasta la ocurrencia de la germinación. No existe influencia de la estructura remanente en la viabilidad de la semilla y se determinó que a medida que la diferencia entre el tiempo de dispersión de la semilla y su germinación es más largo, se reduce esta última al menos hasta los seis meses.
3. Se determinó que a medida que incrementa el tamaño de la semilla, se incrementa el % de germinación. Las plántulas que desarrollan de semilla grandes son superiores en el número de cotiledones, longitud de los mismos, longitud de hojas y raíces a las plántulas que provienen de semillas pequeñas.
4. Los resultados indicaron que la semilla de *Pinus montezumae* es capaz de germinar bajo condiciones pronunciadas de reducción de luz solar y que la capacidad de germinación se reduce significativamente cuando la intercepción de luz solar alcanza el 50%.
5. Las plántulas de un año de edad son fuertemente afectadas por la competencia de raíces y vegetación herbácea; cuando este material es eliminado no se afecta la sobrevivencia de las plántulas. Así mismo, se determinó que la mayor mortalidad ocurre de febrero a mayo, cuando las temperaturas son bajas y no ocurre precipitación pluvial.
6. La germinación se reduce en doseles cerrados, aunque se tengan disturbios en el suelo, cuando el dosel es abierto se realiza remoción de vegetación herbácea o exposición del suelo mineral, la germinación incrementa. El óptimo de germinación ocurre cuando se abre parcialmente el dosel, indistintamente del tratamiento del suelo. Después de la germinación se observó mortandad de plántulas causada por el ataque de hongos y por sequía. Lo anterior se evitó mediante la manipulación de la estructura remanente.
7. Finalmente, se concluye que el tratamiento silvícola más adecuado tiene que ser uno que combine un cierto grado de protección contra radiación solar directa y bajas temperaturas durante la germinación y los estadios iniciales de establecimiento, con una liberación posterior de la regeneración a partir del segundo año.

En los casos en que la regeneración natural de esta especie, se ha dificultado por eventos de disturbio que impiden su establecimiento y posterior desarrollo como lo son: el fuego, el pastoreo, la depredación de plántulas por ratones, pájaros, tuzas y hormigas, se han realizado investigaciones que tienden a solucionar dicho problema de una forma práctica, exitosa y barata, a través de la siembra directa y la aplicación de labores previas al sitio, en la época adecuada. Los resultados de esta investigación demostraron que la siembra se puede realizar manualmente, dejando la semilla descubierta, aplicándose labores previas de preparación al sitio como el quitar toda la vegetación dejando expuesto el suelo mineral o bien mediante la remoción de la vegetación y del suelo mineral, con la incorporación del material al suelo, con lo cual se alcanzan porcentajes de germinación elevados. La mejor época de siembra es la comprendida entre los meses de junio a agosto, no recomendándose realizarla posteriormente a esta fecha, además de no ser recomendable la aplicación de quemas controladas, como una práctica de preparación del sitio, dado que no favorecieron la germinación de la semilla y la supervivencia de las plántulas (Lepe, 1983)¹⁹.

Desarrollo de regeneración

Evaluaciones realizadas con la finalidad de determinar las características dasométricas de la regeneración establecida, después de 2 años de aplicada la corta de regeneración a través del método de árboles padres, en masas puras de *Pinus montezumae*, indicaron que la estructura vertical de la regeneración tiende a ser coetánea en términos de altura de la regeneración. Con respecto al primer estrato se estimó que tiene una altura promedio de 35 cm, con un diámetro en la base de 4.12 cm, y 9,642 individuos por hectárea. El segundo estrato presentó una altura promedio de 78 cm, con un diámetro en la base de 5.44 cm, y con 3,571 árboles por hectárea, lo cual da como resultado hasta 13,213 brinzales por hectárea, aunque, es necesario señalar que se estimó que esta regeneración se distribuye en un 64 % de la hectárea, por lo cual se recomienda la redistribución de brinzales en el terreno a fin de tener una cobertura más homogénea del mismo (Mora y Rodríguez, 1988)²⁰.

Guía de densidad

Diversos autores, han señalado que la manera de que un silvicultor conduce la evolución de un rodal hacia una condición, que le permita satisfacer un objetivo de

¹⁹ Lepe B., J. C. 1983. Sistema y época de siembra directa de *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

²⁰ Mora F., F. y C. Rodríguez F. 1988. Evaluación de la estructura de la regeneración de *Pinus montezumae* Lamb., en el ejido "Los Romeros", Tulancingo, Hidalgo.

manejo silvícola es a través de la manipulación de la densidad, la estructura y composición del rodal. Una herramienta de apoyo silvícola para realizar lo mencionado son las guías de densidad, las cuales se definen como diagramas en donde se definen las relaciones entre diámetro cuadrático medio (aquel diámetro que genera el área basal del árbol medio del rodal), área basal por hectárea y el número de árboles, que para su elaboración se basa en requerimientos de espacio de crecimiento (USDA, 1984)²¹.

En este caso Balderas y Rodríguez (1989)²² han generado guías de densidad para *Pinus montezumae*, basadas en límites de referencia como el factor de competencia de copas, que se fundamenta en la relación existente entre el diámetro de copa y el diámetro normal de árboles que crecen en condiciones aisladas, por lo que los árboles no están sujetos a competencia con otros árboles y por lo cual tienden a ocupar el máximo espacio de crecimiento que les es posible y forman copas bastante amplias y ramificadas, lo cual se traduce en la máxima eficiencia de crecimiento dada por la fotosíntesis de sus copas. Ello expresado a través de formulaciones matemáticas permite estimar el espacio máximo de crecimiento requerido por un árbol de un cierto diámetro normal, lo que al ser referido a una hectárea proporciona la estimación del número mínimo de árboles que es posible tener en esa unidad de superficie sin que estén creciendo en competencia entre sí.

El límite superior de la guía de densidad puede estar dado, por la relación existente entre el área ocupada por un árbol y su diámetro normal al cuadrado conocido como la relación área-árbol, o bien por el índice de densidad de Reineke, el cual se basa en la relación existente entre el diámetro cuadrático promedio y el número máximo de árboles por hectárea que crecen en rodales coetáneos y completamente densos, lo que se traduce en el número máximo de árboles por unidad de superficie, creciendo sin competencia y ocupando plenamente el espacio de crecimiento.

Lo anterior conduce a que en la guía de densidad se tengan tres zonas bien definidas que corresponden al nivel mínimo de referencia, en el cual por debajo del mismo se tienen densidades deficientes; el límite máximo, cuando se supera dicho límite indica que el rodal está excesivamente poblado y los árboles crecen en presencia de interacciones competitivas por espacio de crecimiento y finalmente la zona comprendida como zona de ocupación plena del espacio de crecimiento, sin competencia, la cual proporciona la zona de manejo para diferentes objetivos de producción. Por ejemplo, en el caso de tener un diámetro cuadrático de 10 cm, el espacio de crecimiento está deficientemente poblado cuando se tengan menos de 2,466 árboles por hectárea y excesivamente poblado cuando se tenga un número de árboles superior a 7,128 por hectárea, así mismo, el espacio de crecimiento está

²¹ USDA, Forest Service. 1984. Forest stand density and stocking: concepts, terms and the use of stocking guides.

²² Balderas, A. y C. Rodríguez F. 1989. Elaboración de tres guías de densidad para *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

adecuadamente poblado cuando el número de árboles se encuentre entre ambos límites. Sin embargo, si el objetivo de manejo es el producir la máxima cantidad de biomasa para celulosa y se tiene un 90 % de ocupación del sitio con un área basal de 54 m cuadrados y 6,300 árboles de 10 cm de diámetro y se dejaran crecer los árboles hasta 20 cm de diámetro y se desea tener el mismo porcentaje de ocupación del sitio y el mismo nivel de área basal, las intervenciones a realizar mediante aclareos son: una primera intervención que reduzca el número de árboles de 6,300 a 4,100 para que los árboles alcancen un diámetro de 12 cm; una segunda intervención cuando los árboles tengan un diámetro de 12.5 cm que reduzca el número de 4,100 a 2,900 árboles por hectárea y así sucesivamente hasta la corta final cuando los árboles tengan 30 cm de diámetro cuadrático. Lo anterior, constituye uno de los ejemplos más sencillos, sin embargo se pueden trabajar diferentes opciones de tal forma que con la aplicación de técnicas de programación lineal se pueden determinar soluciones que optimicen el número de árboles a dejar en pie en cada intervención y permitan incluir restricciones en la solución del mismo (Figuras Nos. 1 y 2)

Crecimiento de árboles individuales

Mediante la técnica de análisis troncales se han reconstruido, los patrones de crecimiento en diferentes dimensiones de *Pinus montezumae*, en rango de crecimiento altitudinal de 3,000 a 3,300 m sobre el nivel del mar, habiéndose determinado que esta especie alcanza en promedio un crecimiento de 1.9 m a los 10 años de edad y 31.4 m a los 70 años. El incremento medio anual en alturas es máxima a los 40 años de edad y el incremento corriente anual culmina a los 30 años de edad en promedio.

Con respecto a las altitudes, el máximo crecimiento ocurre en las altitudes de 3,000 a 3,100 y de 3,101 a 3,200 m sobre el nivel del mar a los 70 años de edad con 32.4 y 31.8 m respectivamente.

El crecimiento en diámetro normal va de 5.5 cm a los 10 años de edad a 46.5 cm a los 70 años de edad. El incremento medio anual culmina a los 40 años y el incremento corriente anual culmina entre los 10 y 20 años de edad. Se determinó que no existe efecto significativo de la altitud en el crecimiento en diámetro.

El crecimiento en volumen va de 0.008 metros cúbicos a los 10 años de edad a 2.96 metros cúbicos a los 70 años de edad. El incremento medio anual culmina a los 70 años y el incremento corriente anual culmina entre 60 y 70 años de edad. Se determinó que no existe efecto significativo de la altitud en el crecimiento en volumen (Rodríguez, *op. cit.*).

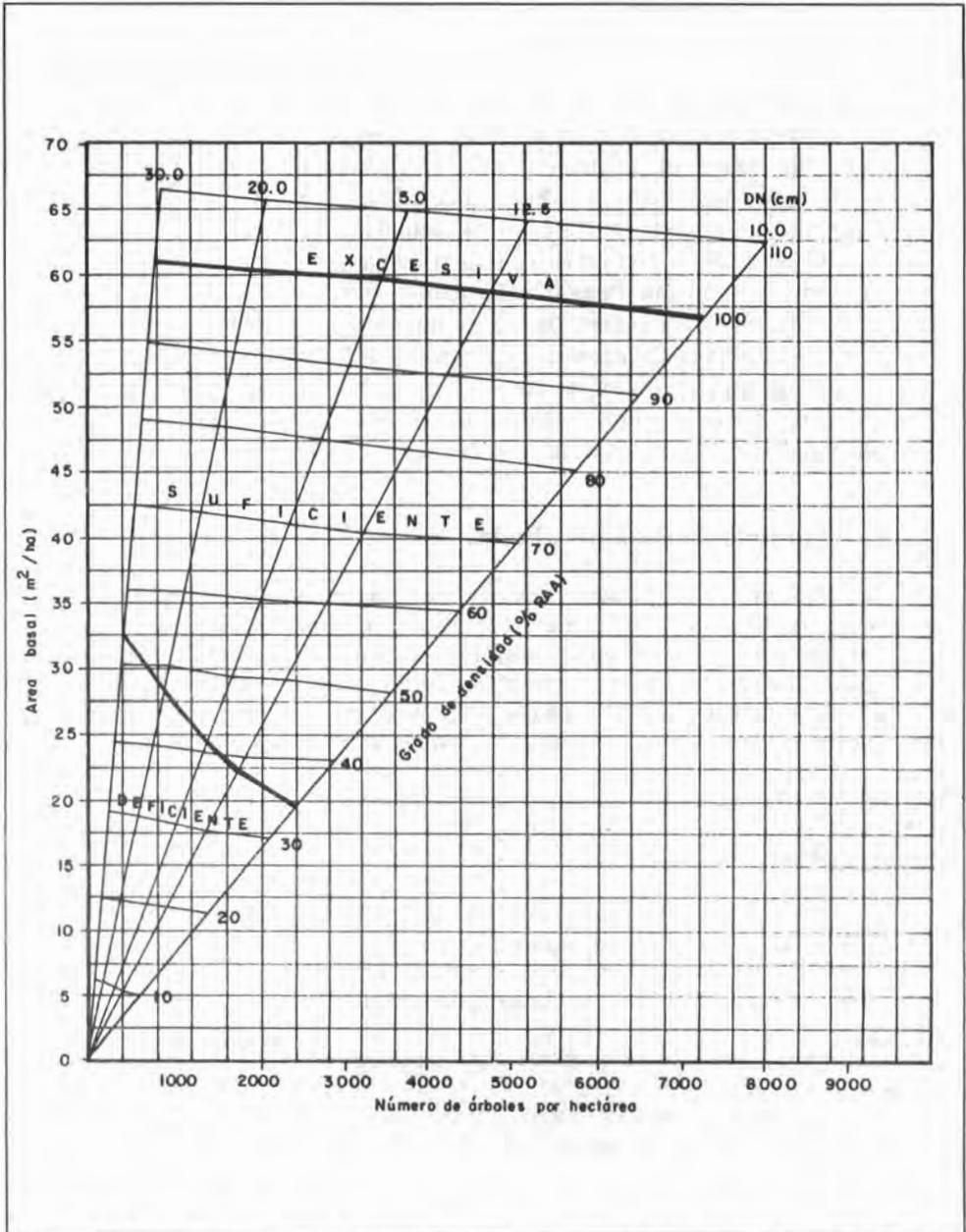


Figura N° 1. Guía de densidad para *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, estado de Puebla, México, utilizando a la RAA como norma de densidad.

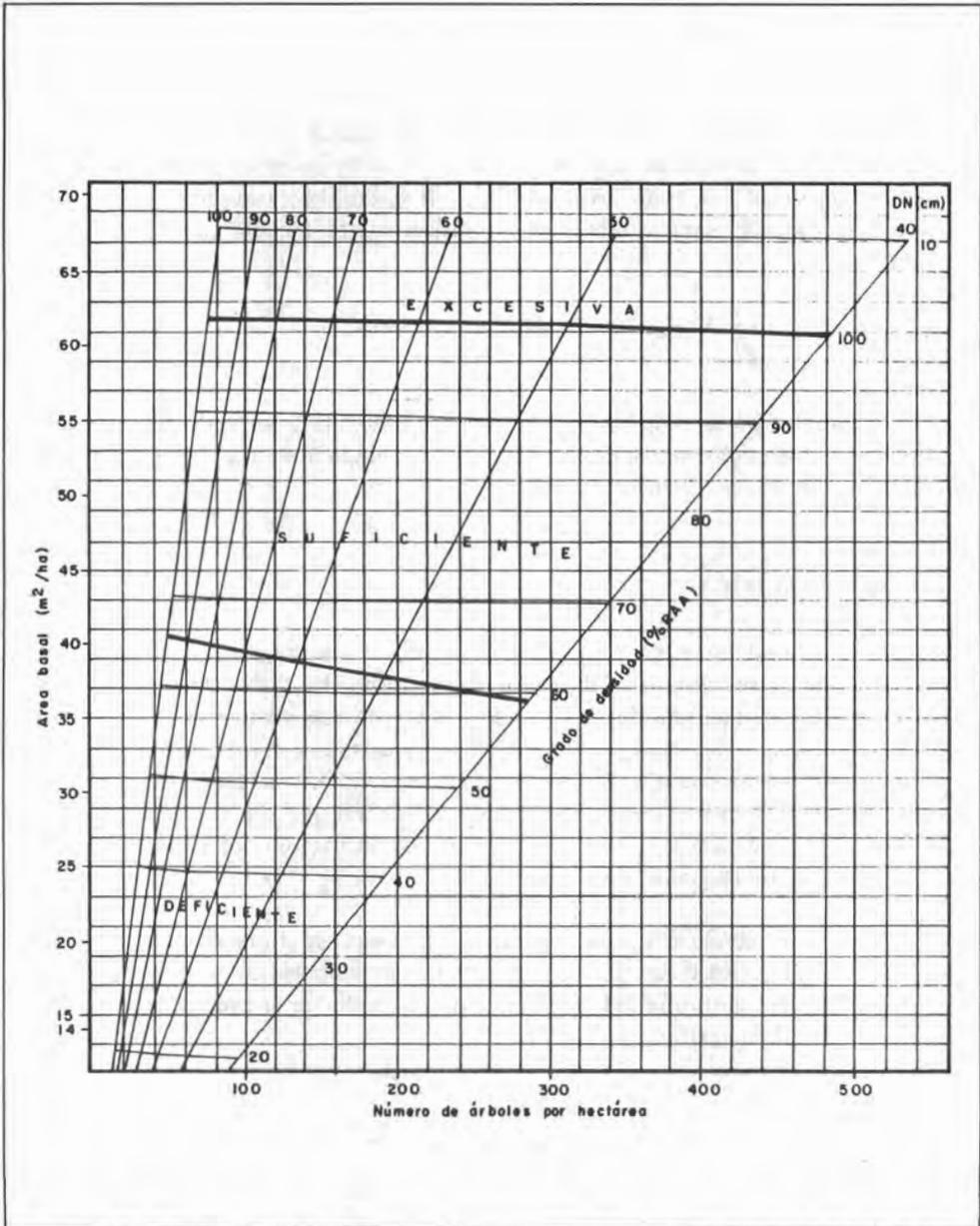


Figura N° 2. Guía de densidad para *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, estado de Puebla, México, utilizando a la RAA como norma de densidad.

Tabla de volumen de árboles individuales

Rodríguez y Moreno (1982)²³ con información proveniente de análisis troncales, determinaron un modelo de predicción de volumen total de fuste sin corteza, a partir del diámetro normal sin corteza y altura total. El modelo obtenido corresponde a un modelo logarítmico, el cual tuvo un coeficiente de determinación elevado, bajo cuadrado medio del error y altamente significativo, el modelo determinado es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log. Vol}_{sc} &= - 9.20360831 + 1.88663777 \\ &\text{Log DN} + 0.84536093 \text{ Log Alt.} \end{aligned}$$

En este estudio se presenta la tabla de volúmenes generada a partir de dicho modelo y se presenta la metodología a seguir para convertir volúmenes sin corteza a volúmenes con corteza para *Pinus Montezumae*.

Calidad de estación

La capacidad productiva de los suelos forestales para sostener y/o mantener el crecimiento de masas arboladas de *Pinus montezumae*, ha sido determinada para el rango de crecimiento natural de esta especie a través de análisis troncales relacionando la altura dominante y las características edáficas mediante la técnica del levantamiento detallado de suelos probada por Ortiz y Cuanalo en 1980²⁴. Los resultados indican que la especie prospera en tres clases de calidad de estación que son rica, media y pobre calificadas a la edad base de 50 años, a los cuales se alcanza un desarrollo en altura de 24.8, 24.1 y 22.2 m, respectivamente.

Las características edáficas que mayor influencia tienen en el crecimiento en altura y que determinan la calidad de estación son: el pH, contenido de limo y arcilla de la capa de suelo 0 a 50 cm de profundidad y contenido de arcilla de la capa de suelo de 50 a 100 cm de profundidad (Rodríguez, 1982)²⁵.

²³ Rodríguez F., C. y R. Moreno S. 1982. Elaboración de tablas de volúmenes a través de análisis troncales para *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

²⁴ Ortiz S., C. y H. Cuanalo de la C. 1982. Introducción a los levantamientos de suelos.

²⁵ Rodríguez F., C. 1982. Determinación de calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

Tablas de producción

Una tabla de producción se define como una serie de valores tabulares de las características dasométricas de una masa arbolada, a edades sucesivas, que son alcanzadas en un cierto nivel de densidad y para un índice de sitio dado.

En referencia a esto, se han determinado tablas de producción para *Pinus montezumae*, (Carrillo, 1984)²⁶, a través de inventarios forestales con sitios de muestreo temporales de un décimo de hectárea elegidos de manera selectiva en base a edades sucesivas de masas coetáneas de esta especie, creciendo en todas las condiciones de desarrollo posible dentro de su rango natural, por lo que dichas tablas se denominan empíricas porque sólo son referidas a una calidad de estación promedio y a un nivel de densidad promedio, por lo que sus estimaciones sólo proporcionan una idea del posible potencial de desarrollo de los rodales a lo largo de su espectro de vida. Sin embargo, las mismas pueden ser utilizadas como una herramienta preliminar en la planeación de intervenciones silvícolas, hasta que se desarrollen tablas de producción basadas en sitios permanentes de muestreo.

Las estimaciones de cada una de las características dasométricas, también pueden ser efectuadas a través de modelos de predicción en cada caso.

Dentro de los resultados relevantes obtenidos en estas tablas resaltan los siguientes:

1. El número de árboles por hectárea varía de 6728 a los 10 años de edad a 63 a los 80 años.
2. La altura va de 4.3 m a los 10 años de edad a 35.2 m a los 80 años.
3. El diámetro normal va de 5.9 cm a los 10 años de edad a 52.4 cm a los 80 años de edad.
4. El volumen por hectárea varía de 67.2 m³ a los 10 años de edad a 701.8 m³ a los 60 años, edad a partir de la cual la mortandad del arbolado aumenta considerablemente, por lo que se recomienda realizar la corta de regeneración a esta edad. Esto se debe también a que las dimensiones alcanzadas son de 26.6 m en altura y de 39.5 cm de diámetro normal, lo cual se puede considerar como buenas medidas comerciales para aserrió.

²⁶ Carrillo E., G. 1984. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, Puebla.

Con respecto a otras estimaciones más precisas del rendimiento de masas arboladas de *Pinus montezumae*, Acosta en 1991²⁷, determinó modelos de predicción del crecimiento y rendimiento, a partir del uso de información de sitios permanentes de muestreo en rodales puros, coetáneos de edad madura y de alta densidad.

La predicción del rendimiento fue realizada de dos maneras, la primera de ellas utilizando las técnicas de totalidad del rodal a partir del modelo de Schumacher para predecir volumen actual y volumen futuro. En ambos casos las variables predictoras consideradas fueron el índice de sitio y una medida de densidad del rodal, expresada a través del área basal.

La segunda manera empleada en la predicción del rendimiento fue mediante el ajuste de modelos de distribución diamétrica de la función de distribución Weibull.

Las variables predictoras que se utilizaron en los modelos para estimar los parámetros de la función Weibull como el área basal, diámetro cuadrático y diámetro normal, se proyectaron para predecirlos a edades futuras; para estimar el número de árboles por hectárea a edades futuras, se ajustó una función de mortalidad.

Indicador del efecto de competencia

Rodríguez en 1987²⁸, desarrolló un estudio para determinar el efecto de la densidad del rodal en el crecimiento en diámetro normal, altura total y volumen, además de determinar el efecto de la densidad del rodal en otras características tales como longitud de copa y tamaño de fuste.

De los resultados sobresalientes se encontró que la altura del árbol fue la característica más altamente relacionada con la estructura del rodal. También fue el mejor indicador de la edad de la mayoría de los árboles en el rodal y que la altura del árbol afecta fuertemente los atributos de copa de árboles individuales.

Otro de los factores responsables de las interacciones competitiva entre árboles por espacio de crecimiento aéreo fue la irregular distribución espacial de los árboles en el terreno, lo cual fue expresado a través de la distancia promedio del árbol sujeto a competencia a su más cercanos competidores.

²⁷ Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb.

²⁸ Rodríguez F., C. 1987. Development of a competition index for *Pinus montezumae* Lamb. in a temperate forest of Mexico.

El mejor indicador de las interacciones competitivas desarrolladas entre árboles fue el área lateral de copa. También, fue concluido que el área lateral de copa del árbol sujeto a competencia está altamente relacionada con el incremento periódico anual en volumen de dicho árbol.

Se concluye que el índice de competencia encontrado expresa la posición relativa del árbol en el rodal en relación a sus competidores, refleja el arreglo espacial de los competidores para un árbol dado, así como, sus tamaños, e indirectamente expresa su número.

Finalmente, se encontró alta eficiencia del índice de competencia obtenido, debido a la alta correlación entre el incremento periódico anual en volumen y el efecto de competencia. Se concluye que el índice de competencia puede ser utilizado para estimar el crecimiento potencial en volumen de árboles individuales de pino Moctezuma.

RECOMENDACIONES

1. En actividades de recolección de semilla se recomienda se inicie la colecta de conos a partir del mes de diciembre y máximo hasta mediados del mes de febrero.
2. Se recomienda se colecten conos de arbolado dominante, creciendo en estructuras de densidades medias (entre 60 a 80% de cobertura arbórea).
3. Se recomienda se apliquen las cortas de regeneración durante la época de invierno, como máximo durante todo el mes de enero, con la finalidad de que se tenga una adecuada dispersión de semilla, en los meses posteriores y además con las actividades de extracción se haga una remoción del suelo y se ponga el suelo mineral en contacto directo con la semilla.
4. De acuerdo con las distancias óptimas de dispersión de semilla, se recomienda se dejen en pie cuando menos 20 árboles padres por hectárea, homogéneamente distribuidos, para tener un cubrimiento adecuado del sitio con semilla.
5. En lugares difíciles para el establecimiento de la regeneración, se recomienda que el tratamiento silvícola más adecuado tiene que ser uno que combine un cierto grado de protección contra radiación solar directa y bajas temperaturas durante la germinación y los estadios iniciales de establecimiento, con una liberación posterior de la regeneración a partir del segundo año.

6. En lugares sujetos a eventos de disturbio constantes, se recomienda se realice la siembra directa durante los meses de junio a agosto, de preferencia aplicando una preparación previa al terreno a través de limpia o remoción.
7. En aquellos casos que se presente la regeneración de manera excesiva concentrada en manchones se recomienda se realice una redistribución de brinzales, tratando de cubrir homogéneamente el sitio.
8. Se recomienda la utilización de las guías de densidad determinadas para esta especie, para la definición de intensidades de aclareo de acuerdo a objetivos específicos de manejo forestal.
9. En base a los resultados de crecimiento de la especie y en base a los resultados de la tabla de producción se recomienda, la aplicación de aclareos cada 10 años, en masas coetáneas de esta especie, hasta los 50 años. Se recomienda, se aplique la corta final a los 60 años de edad.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M., M. 1986. Estudio de dispersión de semillas de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis Profesional. Div. de Ciencias Forestales. UACH., México. 64p.
- Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Div. de Ciencias Forestales. UACH., México. 88p.
- Acosta M., M. Y M. A. Musálem. 1986. Dispersión de semillas de *Pinus montezumae* Lamb., en dos matarrasas del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. Rev. Chapingo, México. Año XI. No. 52-53:35-40.
- Anaya L., A. L.; S. R. Hernández y X. Madrigal. 1980. La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccihuatl (México). INIF. Boletín Técnico # 65., 74p. Illus.
- Balderas, A. M. C. y R. Rodríguez F. 1989. Elaboración de tres guías de densidad para *Pinus montezumae* Lamb., en el C.E.F. San Juan Tetla, Puebla. Tesis Profesional. Div. de Ciencias Forestales. UACH. México. 71p.

- Carrillo E., G. 1984. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis Profesional. Div. de Ciencias Forestales. UACH, México. 82p.
- Jasso M. J. 1986. Although *Pinus montezumae* is one of the most important timber species in Mexico, the knowledge that has accumulated on its natural range, morphology, biology, and genetics is fairly limited and appears in scattered publications. Please, synthetize the current knowledge of this species. Question 3., Ph. D. Qualifying Examination. Yale University. USA. 70p.
- Larson B., C. 1982. Development and growth of even-aged and uneven-aged mixed conifer stands in easter Washington. In Proceedings symposium on forest succession and stand development research in the Northwest, held March 26, 1981 at Oregon State University, published in 1982. Means, J.E., editor. pp. 113-118.
- Larson B., C. y Ch. D. Oliver 1979. Forest dynamics and fuelwood supply of the Stehekin Walley, WA. Proceedings of the Conference on Scientific Research in the National Parks (2nd), held at San Francisco, CA, on 26-30 November 1979, U.S. Department of the Interior, Park Service, Vol. 10. pp. 127-134.
- Lepe B., J. C. 1983. Sistema y época de siembra directa de *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis Profesional. UACH. Chapingo, México. 78p.
- Little E., L. Jr. 1962. Tables for identification of Mexican species of pines (*Pinus*). In Seminar and study tour of Latin-American. Conifers. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales FAO. México. No. 1:61-64.
- May N., A. 1971. Estudio Fitoecológico del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Licenciatura. IPN-ENCP. México. 130p.
- Mora F., F. E. y C. Rodríguez F. 1988. Evaluación de la estructura de la regeneración de *Pinus montezumae* Lamb., en el ejido "Los Romeros", Tulancingo, Hidalgo.
- Musálem, M. A. 1984. Effect of environmental factors on regeneration of *Pinus montezumae* Lamb. in a teperate forest of Mexico. Ph.D. Dissertation. Yale University. USA. 224P.
- Ortiz S.,C. A. y Cuanalo de la C., H. 1982. Introducción a los levantamientos de suelos. México. C.P. Chapingo. 154p.

- Patiño V., F. 1973. Floración, fructificación, recolección de conos y aspectos sobre semillas de pinos mexicanos. Bosques y Fauna. II época 10 (4): 20-30.
- Pérez B., J. L. 1988. Estimación de la producción de conos *Pinus montezumae* Lamb., en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis Profesional. UACH., Chapingo, México. 57p.
- Pérez B., J. L., C. Rodríguez F. y A. M. Fierros M. 1988. Estimación de la producción de conos de *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Artículo Técnico. Rev. Chapingo. (En prensa).
- Ramírez H., L. 1985. Determinación de la época de colecta de conos de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Ing. Agr. esp. en Bosques. UACH, Chapingo, México. 82p.
- Rodríguez F., C. 1980. Estudio epidométrico de *Pinus montezumae* Lamb. mediante análisis troncales en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis Profesional. UACH., Chapingo, México. 274p.
- Rodríguez F., C. 1982. Determinación de calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría en Cienciads. C.P. Chapingo, México. 134p.
- Rodríguez F., C. 1986. Compare and contrast posible stand structures of even-aged and irregular-aged stands of *Pinus montezumae* of a given basal area or measure of stand density. Question 3., Ph. D. Qualifying Examination. Yale University, USA. 31p.
- Rodríguez F., C. 1987. Development of a competition index for *Pinus montezumae* Lamb. in a temperate forest of México. Dissertation presented to the faculty of the School of Forestry of Yale University in candidacy for the degree of Doctor of Forestry. New Haven, USA. 200p.
- Rodríguez F., C. y R. Moreno S. 1982. Elaboración de tablas de volúmenes a través de análisis troncales para *Pinus montezumae* Lamb., en el C.E.F. San Juan Tetla, Puebla. INIF. Bol. Téc. No. 90, México. 37p.
- Rodríguez F., C. y Ortiz S., C. 1982. Levantamiento de suelos del CEF San Juan Tetla, Puebla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Ciencia Forestal. Vol. 7 No. 40.

- Subsecretaría Forestal y de la Fauna. 1980. Vademecum forestal mexicano. 1980. SARH, SFF. México. 118p
- Smith D., M. 1981. Patterns of development of forest stands. In Proceedings symposium on forest succession and stand development research in the Northwest, held March 26, 1981 at Oregon State University, published in 1982. Means, J.E. editor. pp 1-4.
- Smith D., M. 1986. The practice of silviculture. 8th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 527p.
- USDA, Forest Service. 1984. Forest stand density and stocking: concepts, terms, and the use of stocking guides. 8p.

EL AGRUPAMIENTO MULTIVARIADO EN LA ESTRATIFICACIÓN VERTICAL DE UNA SELVA TROPICAL DEL SURESTE DE MÉXICO¹.

Sánchez Monsalvo Vicente²
Zamudio Sánchez Francisco J.³

RESUMEN

Se realizó un trabajo exploratorio tendiente a analizar la estratificación vertical de una selva, a partir de los datos de inventario de un área del Campo Experimental San Felipe Bacalar, en Quintana Roo, México. El planteamiento se llevó a cabo por la necesidad de desarrollar una metodología para obtener mayor información funcional del sistema selva y orientar los aprovechamientos maderables en la región. La hipótesis de trabajo fue que la luz es un factor crítico en el sistema selva y la estratificación es la solución al problema que dicho factor representa. El tamaño de cada árbol dentro del sistema es una función de la cantidad de luz que recibe y de la forma biológica de cada especie. Entonces, puede suponerse que al agrupar, mediante técnicas multivariadas, individuos con características físicas y funcionales similares, cada grupo obtenido, corresponde a un estrato vertical de la vegetación. Como resultado del análisis, de los seis grupos producidos, sólo uno se diferencia claramente del resto por la variable altura (H), mientras que el diámetro (DAP) y una variable combinada ($H \cdot D^{**2}$) caracterizan a grupos con árboles sobremaduros. Sin embargo, los tres primeros grupos que podrían relacionarse estrechamente con los estratos verticales, fueron los más frecuentes en toda la muestra, corroborándose lo reportado por otros autores. Se propone el análisis de la dominancia de las especies entre y dentro de cada grupo mediante el uso del primer componente principal interpretándolo como un índice de dominancia, el cual produce los mismos resultados que el Índice de Dominancia de Sarukhán. Aun cuando aparentemente la metodología tiene desventajas por las características de la base de datos utilizada, se sugiere que sea validada y mejorada para aportar mayor información funcional de las especies y así fundamentar su manejo.

Palabras clave: Agrupamiento multivariado, estratificación vertical, selva tropical.

¹ Parte de esta información se utilizó para la tesis de maestría del autor.

² M.C., Investigador del CIR-Golfo Centro, INIFAP, SAGAR

³ M.C., División de Ciencias Forestales, UACH.

ABSTRACT

An exploratory study was made to analyze vertical stratification of a tropical forest, by inventory data from an "San Felipe Bacalar" Experimental Station area, at Quintana Roo State, Mexico. The work was carried out for the need to obtain more functional information about tropical forest system to orientate regional wood harvesting. Work hypothesis was: sunlight is a critical factor in the tropical forest and vertical stratification is the solution to the problem such a factor represents. Size of any tree into the system is a function of the sunlight quantity and quality it receives and each species's biological form. Then can be supposed that grouping, by multivariate techniques, individuals with both similar physical and functional characteristics, each yielded group, corresponds to a vertical strata into vegetation. However, from six groups produced, just one is clearly differenced by the height variable (H), meanwhile diameter (DAP) and a combined variable ($H \cdot D^{**2}$) characterize overmature tree groups. On the other hand, the first three groups that could be closely related with vertical strata, were frequentest in total sample. Species dominance analysis inside and outside each group is proposed by using first principal component as a dominance index, wich produces same results as Sarukhan's Index Dominance does.

Key words: Cluster analysis, vertical stratification, tropical forest.

INTRODUCCIÓN

En los estudios donde se analiza la estructura de las selvas, se utiliza el término "estrato" para ubicar la posición sociológica de una planta dentro de la comunidad vegetal. Sin embargo, los estratos generalmente se definen mediante criterios no cuantitativos y se considera que su importancia es meramente ilustrativa. Por otro lado, la estratificación vertical de la selva, no siempre es un fenómeno evidente, ya que este tipo de vegetación se mantiene bajo una rápida y continua renovación natural, creando un mosaico formado por trozos de selva (ecounidades) con diferentes estructuras y estados de desarrollo. Este hecho hace difícil el estudio de la estratificación, ya que tendrían que seleccionarse fracciones muy pequeñas de selva, declaradas como en estado estable para poder analizarlas. Aun así, como la estructura meta de la selva es la multiestratificada, cualquier estado de desarrollo de ésta tiende a buscar una forma estratificada de sus componentes. De tal manera que en una extensión determinada de selva, cada ecounidad constituye un grado de alteración de la misma, por lo tanto, puede haber un número de ecounidades con características estructurales similares. Al respecto, la identificación física de todas

las ecounidades posibles en un área, sería una tarea difícil. sin embargo, mediante las técnicas de agrupamiento multivariado, el análisis de la dominancia y estructura de los grupos, pueden realizarse inferencias respecto a dicho fenómeno.

OBJETIVOS

- Determinar la estratificación vertical de la población total mediante la técnica de agrupamiento multivariado.
- Comparar los criterios clásicos para determinar los estratos en selvas con los aquí propuestos.
- Analizar la dominancia de las especies dentro de los estratos para caracterizar la selva estudiada.

ANTECEDENTES

Richards (1979)⁴, fue uno de los primeros en estudiar la estratificación de las selvas, de una manera completa, a través de histogramas de frecuencias de altura y perfiles diagramáticos. Estas técnicas de los perfiles, con algunas modificaciones, han sido usadas ampliamente para describir la estructura de las selvas de varias partes del mundo.

Oldeman (1989)⁵, afirma que la selva tropical se muestra como un mosaico compuesto por trozos de selva (ecounidades) de diferentes tamaños y en diferentes etapas de desarrollo, por lo tanto se observa realmente una estratificación horizontal dentro de la ecounidad de los "árboles del presente" (fisiológicamente maduros). Según Oldeman (*op. cit.*) la estratificación vertical o la "arquitectura escalonada" de la selva esta determinada por ecounidades de diferentes tamaños adyacentes. Una ecounidad se define entonces como aquella superficie en la que se ha iniciado el desarrollo de la vegetación, en la que la arquitectura, el funcionamiento ecofisiológico y la composición de especies se ordenan mediante un conjunto de individuos que se comporta como un sistema, mismo que transita a través de

⁴ Richards, P.W. 1979. The tropical rain forest: an ecological study.

⁵ Oldeman R., A.A. 1989. Dynamics in tropical rain forest

diferentes fases de desarrollo. Actualmente, la definición de estratos se ha realizado de acuerdo a la técnica de Richards (*op. cit.*), pero es posible hacerlo mediante métodos multivariados. Así por ejemplo, Arriaga y Sarukhán (1988)⁶, para detectar niveles de competencia y parasitismo en *Pinus hartwegii* Lind., utilizaron métodos multivariados para encontrar grupos de árboles con atributos ecológicos similares.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio forma parte del Campo Experimental San Felipe Bacalar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, el cual se encuentra a unos 49 km al noroeste de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Su ubicación geográfica es 18° 46' y 16° 51' latitud norte y 88° 20' a 88° 32' de longitud oeste. La altitud promedio es de 20 msnm, la topografía es plana. Predominan los suelos luvisoles gleycos y rendzinas con profundidad promedio de 50 cm. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26° C y la precipitación pluvial media anual de 1,254 mm. La vegetación es del tipo selva mediana subperennifolia, de acuerdo a la clasificación de Miranda y Hernández (1963)⁷.

La base de datos proviene de 130 sitios rectangulares de 0.1 ha (10 X 100 m), cada uno distribuido en forma sistemática sobre una superficie de 532 Ha, donde se levantó información de todos los árboles con diámetro normal mayor de 12.4 cm. La información procedente de árboles con diámetro menor de 12.4 cm no pudo utilizarse ya que las variables medidas no fueron las mismas. Se registró la especie, diámetro normal, altura total y altura de fuste limpio de cada individuo. Cabe aclarar que dicha base de datos es producto de un inventario para fines de aprovechamiento forestal. Se desconoce la calidad y precisión de la información levantada, sin embargo, se asume que es confiable debido a la participación del personal técnico del Campo Experimental San Felipe Bacalar. Por el tamaño del área muestreada era necesario rodalizar previamente para identificar cambios en la vegetación y así estratificar el muestreo, sin embargo, esto no se realizó. Ante esta situación, se asume que la metodología propuesta puede detectar dicha heterogeneidad. El historial del lugar puede consultarse en el trabajo de Sánchez (1993)⁸.

⁶ Arriaga F. y J. Sarukhán K., 1988. Identification of natural groups of trees in uneven-aged forests using multivariate methods. pp. 1092-1100.

⁷ Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. pp. 29-179.

⁸ Sánchez M., V. 1993. Estratificación vertical de una selva mediana subperennifolia en San Felipe Bacalar, Quintana Roo.

Inicialmente se analizaron siete variables mediante análisis de componentes principales y análisis de regresión, con el objeto de seleccionar aquellas que mejor expliquen el fenómeno estudiado. Las variables seleccionadas fueron: altura total (H), diámetro a la altura de pecho (DAP), y la variable combinada ($HD2=H*D**2$). Con estas tres variables se efectuó un agrupamiento multivariado de acuerdo con el siguiente algoritmo:

1. Del total de la muestra (4 752) se obtuvo una submuestra de 100 observaciones, seleccionadas como semillas, de acuerdo al método de agrupamiento disjunto de McQueen (Anderberg, 1973)⁹. Se utilizó el procedimiento FASTCLUS del paquete de cómputo SAS (Statistical Analysis System)¹⁰.
2. Las 100 observaciones sirvieron para obtener el número de grupos modales presentes en la submuestra, mediante el método de agrupamiento jerárquico del k-ésimo vecino más cercano de Wong y Lane (1983)¹¹. Se utilizó el procedimiento CLUSTER de SAS.
3. Se obtuvieron las semillas iniciales agrupando las 100 observaciones en el número de grupos producidos mediante el agrupamiento jerárquico.
4. Se produjo el agrupamiento de la muestra total utilizando las semillas iniciales. Se utilizó el método de agrupamiento disjunto de Hartigan(1975)¹², con el procedimiento FASTCLUS de SAS.

Una vez obtenidos los grupos, se realizó un análisis de componentes principales con las tres variables seleccionadas, con el objetivo de relacionar los componentes principales a cada grupo producido. El procedimiento para la obtención de componentes principales puede revisarse en Morrison (1976)¹³ y Pla (1986)¹⁴. Se efectuó una comparación de los grupos obtenidos con los estratos identificados en histogramas de frecuencias, así como con otros estudios relacionados.

Finalmente, se calculó el Índice de Dominancia (ID) de Sarukhán (1968)¹⁵, donde para cada especie dentro de un estrato, su frecuencia absoluta (FA) o número de muestras donde aparece, su Densidad Absoluta (DA) o número de individuos por

⁹ Anderberg, M. R. 1973. Cluster analysis for applications.

¹⁰ SAS Institute Inc. SAS/STAT. 1987. Guide for personal computers.

¹¹ Wong, M.A. y Lane, T. 1983. A k- th nearest neighbor clustering procedure. pp. 362-368.

¹² Hartigan, J.A. 1975. Clustering algorithms.

¹³ Morrison, D.F. 1976. Multivariate statistical methods.

¹⁴ Pla E., L. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales.

¹⁵ Sarukhan K., J. 1968. Análisis sinecológico de las selvas de Terminalia amazonia en la Planicie Costera del Golfo de México.

hectárea y su Área Basal (AB) por hectárea, definen su dominancia en la comunidad. Es decir, $ID = FA * DA * AB$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de agrupamiento

Como resultado del agrupamiento multivariado, se determinaron seis grupos cuyas características se muestran en el Cuadro N° 1.

GRUPO	ÁRBOLES	ALTURA (m)			DAP (cm)			VARIABLE COMBINADA		
		MEDIA	LÍMITE		MEDIA	LÍMITE		MEDIA	LÍMITE	
			I	S		I	S		I	S
1	2353	9.2	4.0	11.0	21.2	11.0	60.5	0.5	0.1	3.4
2	1874	13.3	11.0	16.0	28.5	12.0	63.7	1.2	0.2	5.3
3	484	17.1	12.0	23.0	44.0	16.5	82.2	3.5	0.5	8.6
4	30	19.6	16.0	27.0	82.5	62.0	100.0	13.5	8.4	20.0
5	7	19.0	15.0	22.0	122.0	108.0	135.0	28.5	22.5	38.3
6	4	20.7	17.0	23.0	154.2	144.0	163.0	48.9	45.2	51.7

DAP = Diámetro a la altura de pecho.

Cuadro N° 1. Características de los seis grupos obtenidos en el análisis de agrupamiento.

En cuanto a la variable altura, los grupos 1 y 2 están bien diferenciados, en los grupos 3 al 6 existe traslape, el cual se incrementa en ese sentido. Sin embargo, no ocurre lo mismo para las otras variables, el diámetro y la variable combinada, donde los grupos 1, 2 y 3 se encuentran traslapados y a partir del grupo 4 se diferencian

mejor. Aparentemente, a medida que el arbolado es de mayor tamaño, la diferenciación de los grupos se debe al diámetro y a la variable combinada y cuando son pequeños, la altura es la variable crítica. Arriba de los 11 m de altura, el tamaño del arbolado es heterogéneo.

Análisis de componentes principales

Los resultados del análisis de componentes principales indicaron que el primer componente principal (CPI), explicó el 74.6 % de la variación total, el segundo el 20.6 %, y el tercero solamente 4.8 %. El vector característico del CPI tiene coeficientes que le dan mayor peso a la variable combinada (HD2) y al DAP que a la altura (H), por lo que el CPI se interpreta como un índice de dominancia en biomasa. El segundo componente principal tiene coeficientes con mayor peso en H que en HD2 y DAP interpretándose como un índice de esbeltez o de dominancia en altura. La interpretación del tercer componente resultaría difícil de hacer, además que su aportación a la varianza total es poco significativa.

Al asociar los valores del primer componente principal a los grupos se observó una mayor consistencia con los mismos, ya que el traslape es mínimo (Cuadro N° 2).

GRUPO	PRIMER COMPONENTE			SEGUNDO COMPONENTE		
	MEDIA	LÍMITES		MEDIA	LÍMITES	
		I	S		I	S
1	4.94	2.15	7.32	7.69	3.13	9.44
2	7.42	6.05	9.96	11.00	8.35	13.68
3	10.75	8.62	15.42	13.42	6.77	17.83
4	18.31	13.99	24.19	11.13	7.74	15.91
5	27.36	21.77	34.86	4.14	1.63	7.23
6	40.83	36.76	43.61	-3.03	-4.71	-0.52

I = Inferior

S = Superior

Cuadro N° 2. Valores del primero y segundo componentes principales asociados a los grupos obtenidos

A medida que los árboles son de mayor tamaño, el CPI alcanza un valor mayor. Por otro lado, el segundo componente principal que puede interpretarse como un Índice de Dominancia en altura o de esbeltez de los árboles, ayuda a separar los grupos 5 y 6 del resto (Cuadro N° 2), los cuales corresponden a árboles con la mayor cantidad de biomasa y seguramente su crecimiento en altura es insignificante por ser sobremaduros. Los árboles de los grupos 2, 3 y 4 presentan mayor dominancia en altura, especialmente el grupo 3, y se diferencian claramente del grupo 1, que contiene árboles pequeños, probablemente suprimidos.

La estratificación vertical

Puesto que solamente se presentó un límite claro de la variable altura entre los grupos 1 y 2, podría establecerse que el grupo 1 corresponde al estrato inferior de la selva, mientras que el resto son grupos con árboles que tienen características particulares de desarrollo. En este sentido, se observa en los Cuadros Nos. 1 y 2 que los grupos 5 y 6 contienen árboles sobremaduros, con mayor biomasa, mientras que los grupos 2, 3 y 4 tienen árboles mayores de 11 m de altura, con valores de biomasa intermedios, con la mayor dominancia en altura, esto puede interpretarse como más esbeltos, es decir, que su relación H/D es mayor que en el resto de los grupos.

Para comparar estos resultados se elaboró el histograma de frecuencias de toda la muestra para la variable altura, con intervalos de clase de 1 m (Figura N° 1). Las discontinuidades pronunciadas en la distribución, generalmente se atribuyen a la presencia de estratos, aunque dichas discontinuidades no siempre son evidentes (Meave, 1983)¹⁶. En la Figura N° 1 se observan 5 discontinuidades: a los 9, 11, 17, 19 y 21 m. Es notable la discontinuidad a los 11 m de altura, la cual coincide con el límite entre los grupos 1 y 2, además que los límites superior e inferior de los grupos 2 y 4 respectivamente, que es a los 16 m de altura, se aproxima a la discontinuidad en 17 m de la Figura N° 1. Las demás discontinuidades no se relacionan claramente con los otros grupos.

¹⁶Meave C., J.A. 1983. Estructura y composición de la selva alta perennifolia en los alrededores de Bonampak, Chis.

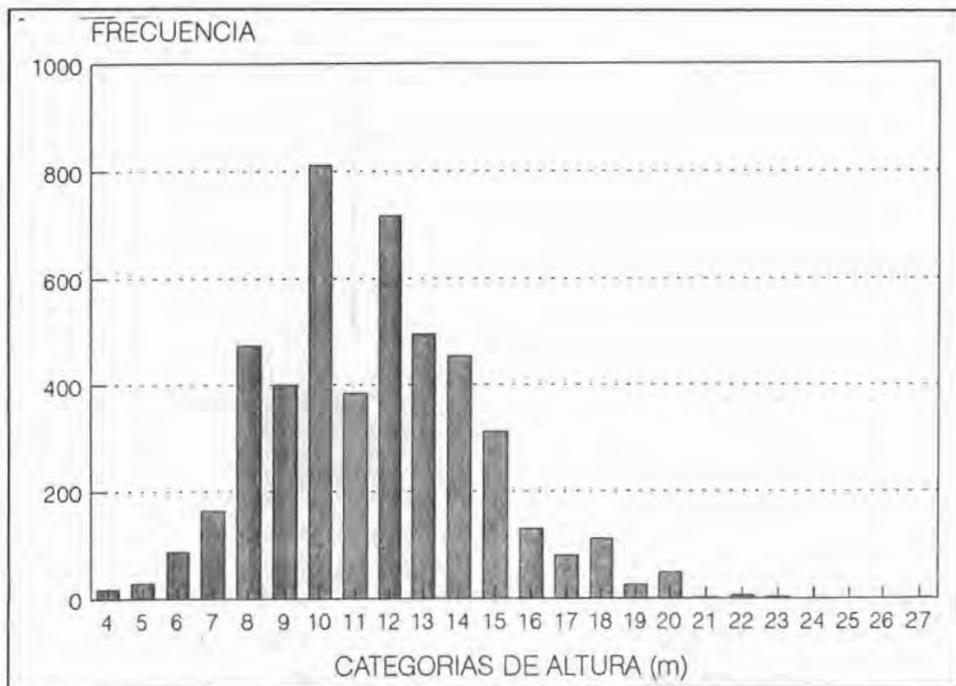


Figura N° 1. Histograma de frecuencias de altura de la muestra total.

Al comparar los 6 grupos aquí obtenidos con los estratos descritos por otros autores (Cuadro N° 3), se observa que hay cierta coincidencia en el límite del estrato 1. Pennington y Sarukhán (1968)¹⁷ presentan valores estándar para diferenciar las selvas existentes en México, basados en observaciones de campo. Dichos valores estándar sirven aquí para hacer la comparación. En cuanto al estrato 2, existen discrepancias debido al tipo de vegetación estudiado, ya que Richards (1979)¹⁸, Meave (*op. cit.*), y Sánchez (1987)¹⁹, trabajaron en selvas altas, mientras que los otros autores lo hicieron en selvas medianas. Agrupando de esta manera los resultados, el estrato 2 de las selvas medianas alcanza entre 16 y 18 m de altura, pero en cuanto al estrato 3 la discrepancia es mayor.

¹⁷ Pennington, T.D. y J. Sarukhan K. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México.

¹⁸ Richards, P.W. 1979. The tropical rain forest: an ecological study.

¹⁹ Sánchez M., V. 1987. Estudio fitosociológico de una selva alta perennifolia en una zona de Uxpanapa, Oax.

ESTRATO	PENNINGTON y SARUKHAN [†]	MEAVE [‡]	SANCHEZ [§]	RICHARDS [¶]	ESPINOZA [•]	ESCOTO ^{¶¶}	BACALAR ^{**}
1	10 o 12	10	9	14	9	10	11
2	20 o 22	20	24	20	18	16	16
3	30 o 35	40	33	30	27	22	23
4		45	45				27

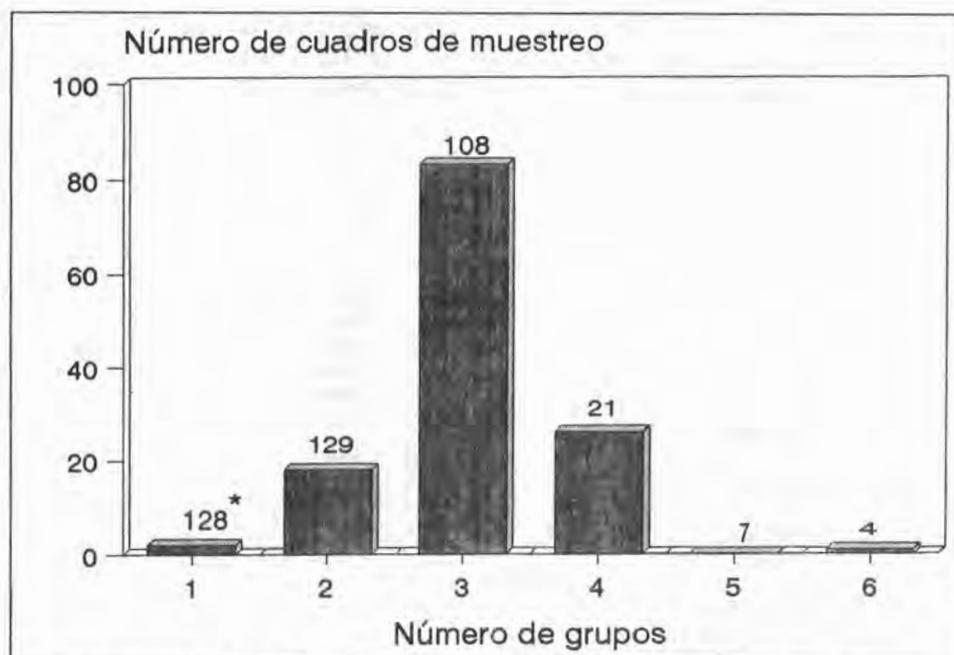
* Son valores promedio del estrato

** Valores de los primeros 4 grupos del presente estudio

Cuadro N° 3. Límites de estratos (m) definidos por varios autores comparados con los del presente estudio.

Ante estos resultados es importante regresar al planteamiento inicial, en cuanto al concepto de ecounidad (Oldeman, *op. cit.*)²⁰. En el presente trabajo, la información proviene de un inventario forestal por lo que no hubo identificación de ecounidades. Los resultados obtenidos corroboran lo siguiente: un sitio de muestreo pudo haber contenido más de una ecounidad o en parte de ella. Un acercamiento puede hacerse obteniendo la frecuencia de sitios que tuvieron el número de grupos identificados. En la Figura N° 2, puede verse que el 64 % de los sitios tuvieron 3 grupos mientras que solo el 21 % presentó más de 3. Un sólo sitio tuvo los 6 grupos y ninguno tuvo 5. Los números de la parte superior de cada barra indican el número de sitios para cada grupo independiente, de tal manera que el valor máximo para cada uno de ellos sería 130 (número total de cuadros de muestreo). De este modo se puede establecer que los grupos 1 y 2 fueron los más frecuentes, seguidos por el grupo 3. En conclusión, la gráfica demuestra que 3 grupos de árboles son los más frecuentes y que los grupos 1, 2 y 3 son los más frecuentes en la zona de estudio. Este hecho corrobora lo encontrado por diversos autores, en cuanto al número de estratos que caracterizan a la selva.

²⁰ Oldeman, R.A.A. 1989. *Dynamics in tropical rain forests.*



Nota.- El número ubicado arriba de cada barra indica la frecuencia de cada grupo independiente.

Figura N° 2. Frecuencia de los grupos en la muestra total.

Composición florística por estratos

Con la ayuda del Índice de Dominancia (ID), en el Cuadro N° 4 se muestran las cinco especies más importantes de cada estrato. En términos del CP1, el cual sintetiza la información de las tres variables utilizadas en el agrupamiento multivariado, los árboles más pequeños pertenecen al grupo 1, mientras que los árboles más grandes pertenecen al grupo 6. Árboles de tamaño intermedio pertenecen a los grupos 2, 3, 4 y 5, sucesivamente. Este hecho corrobora la interpretación del primer componente como un Índice de Dominancia. El orden descendente del Índice de Dominancia para las especies, dentro de cada grupo es el mismo que produce el primer componente principal, por lo que puede establecerse que la dominancia de una especie en una comunidad, es explicada tanto como una función de su área basal total, frecuencia y densidad absolutas, como por la sumatoria del CP1, el cual resume la variación total de las variables altura total, diámetro y la variable combinada. Este hecho resulta importante ya que el cálculo del CP1 es relativamente más sencillo y tiene la misma utilidad que el ID. En el Cuadro

Nº 4 se observa que la especie *Brosimum alicastrum* Sw. es dominante y *Spondias mombin* L. es codominante en los estratos medios. Los árboles de porte mayor, perteneciente a los grupos 4, 5 y 6 son poco frecuentes y dominan un estrato emergente discontinuo.

GRUPO	ESPECIE	ÁRBOLES POR Ha	ÍNDICE DE DOMINANCIA	ALTURA MEDIA (m)	PRIMER COMPONENTE PRINCIPAL
1	<i>Sabal japa</i>	34	11.9	9.0	600.82
	<i>Spondias mombin</i> L.	21	7.2	9.4	575.09
	<i>Alseis yucatanensis</i> Standl.	14	2.3	8.9	376.82
	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	7	0.6	9.4	250.08
	<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	8	0.6	8.7	210.11
2	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	21	17.1	13.7	1469.36
	<i>Spondias mombin</i> L.	19	14.6	13.1	1250.30
	<i>Sabal japa</i>	26	5.5	12.9	658.31
	<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	7	0.4	13.0	286.15
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) D.C.	3	0.2	12.9	307.38
3	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	12	11.5	17.3	1692.41
	<i>Spondias mombin</i> L.	5	1.4	16.8	746.25
	<i>Piscidia communis</i> (Blake) I.M. Johnst.	2	0.02	17.1	165.08
	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	2	0.02	17.7	140.53
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) D.C.	1	0.01	17.0	137.29
4	<i>Cedrela odorata</i> L.	1	0.017	20.1	171.45
	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	1	0.011	20.2	157.77
	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	0.3	0.001	19.2	73.64
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) D.C.	0.2	0.0002	17.5	33.33
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	0.2	0.0001	20.5	37.98
5	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq) Griseb.	0.2	0.0014	17.4	71.29
	<i>Cedrela odorata</i> L.	0.2	0.0004	20.0	55.99
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	0.1	0.0001	22.0	33.18
	<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	0.1	0.0000	18.0	24.12
	<i>Cedrela odorata</i> L.	0.2	0.0022	22.0	118.09
6	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	0.1	0.0001	17.0	33.95

Cuadro 4. Las primeras cinco especies dominantes de cada estrato.

CONCLUSIONES

1. La metodología desarrollada para la obtención de grupos o estratos parece ser adecuada, el uso del primer componente principal como variable explicatoria de la estratificación es un resultado que puede servir para identificar hábitos de especies, así como su dominancia dentro de los estratos. Un aspecto a considerar en este trabajo es que en la base de datos utilizada no hubo una identificación y discriminación previa de las diferentes condiciones y estados de desarrollo que evidentemente se encontraban en esa selva al momento del muestreo. En este sentido, la metodología debe probarse en ecounidades bien definidas, con el objeto de comprobar su efectividad.
2. Mediante el agrupamiento multivariado utilizado se obtuvieron 6 grupos, utilizando las variables altura total (H), diámetro normal (DAP) y la variable combinada (HD2).
3. El primer componente es interpretado como un Índice de Dominancia en biomasa y el segundo como un Índice de Dominancia o de crecimiento en altura.
4. El grupo 1 correspondió con el estrato 1 observado en el histograma de frecuencias de altura, el cual se acerca al límite encontrado por otros autores. La variable altura, es determinante en la formación del primer grupo, mientras que para los grupos 4, 5 y 6, las variables indicadoras de biomasa (DAP y HD2) tienen la mayor influencia. El grupo 3 está representado por árboles intermedios con la mayor dominancia en altura, sin embargo, no conforma un estrato vertical definido. El grupo 2 se diferencia claramente del grupo 1, sin embargo, está contenido prácticamente en el grupo 3.
5. Se encontró que los primeros 3 grupos obtenidos son los más frecuentes en toda la muestra y que el número más frecuente de grupos es de 3, lo que corresponde con la mayoría de los autores que admiten que la selva forma 3 estratos arbóreos. Sin embargo, salvo el primer grupo, sería arriesgado afirmar que cada grupo obtenido corresponde a un estrato vertical.
6. La alta dominancia de especies secundarias como *Spondias mombin*, *Sabal japa*, entre otras, indica que la vegetación estudiada está siendo sujeta a fuertes perturbaciones, lo que seguramente se está expresando en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderberg, M. R. 1973. Cluster analysis for applications. Academic Press, Inc. New York.
- Arriaga, F. y J. Sarukhán K. 1988. Identification of natural groups of trees in unevenaged forests using multivariate methods. *J. of Ecology* 76:1092- 1100.
- Escoto P., J. C. 1987. Estudio florístico-sinecológico de una selva mediana subperennifolia en la parte central de Quintana Roo. Tesis profesional. Universidad de Guadalajara. Facultad de Agricultura, Guadalajara, México. 96 p.
- Espinoza B., A. 1988. Dinámica sinecológica de cuatro etapas sucesionales de una selva mediana subperennifolia en Escárcega, Campeche. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Monterrey, México. 115 p.
- Hartigan, J. A. 1975. Clustering algorithms. Jhon Wiley & sons. New York.
- Meave C., J. A. 1983. Estructura y composición de la selva alta perennifolia en los alrededores de Bonampak, Chiapas. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México, D. F.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 28: 29-179. México. D. F.
- Morrison, D. F. 1976. Multivariate statistical methods. 2nd ed. McGraw. New York.
- Oldeman R., A. A. 1989. Dynamics in tropical rain forest. In: Holm-Nielsen, L. B. Nielsen y H. Baslev (eds.). *Tropical forest botanical dynamics, speciation and diversity*. Academic Press.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México. INIF-FAO. México, D. F. 413 p.
- Plá E., L. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. OEA, Washington, D. C.
- Richards, P. W. 1979. The tropical rain forest: an ecological study. Cambridge University Press.

- Sánchez M., V. 1987. Estudio fitosociológico de una selva alta perennifolia en una zona de Uxpanapa, Oax. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 183 p.
- Sánchez M., V. 1993. Estratificación vertical de una selva mediana subperennifolia en San Felipe Bacalar, Quintana Roo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 133 p.
- Sarukhán K., J. 1968. Análisis sinecológico de las selvas de *Terminalia amazonia* en la Planicie Costera del Golfo de México. Tesis de maestría. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT. 1987. Guide for personal computers, version 6 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. North Carolina. 1028 p.
- Wong, M. A. y Lane T. 1983. A k- th nearest neighbor clustering procedure. J. R. Statist. Soc. B. 45(3):362- 368.

COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN CULTIVOS EN CALLEJONES CON *Erythrina poeppigiana*, *Calliandra calothyrsus* y *Gliricidia sepium**

Limón Limón Arturo¹
Kass Donald L.²
Oñoro Pedro R.²
Jiménez Jorge M.²

RESUMEN

El experimento se realizó en la finca experimental "La Montaña" del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica de junio a diciembre de 1992, con el objetivo de evaluar la influencia de tres especies forestales sobre el comportamiento vegetativo y reproductivo de cuatro genotipos de maíz, considerando la posición del surco en los callejones. Se estableció el maíz, en callejones de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. COOK, *Calliandra calothyrsus* Meissn y *Gliricidia sepium* (Jacquin) Steud; se incluyó un tratamiento de monocultivo como testigo. Los genotipos de maíz utilizados fueron: Tuxpeño H₃, H₅ y Centapasaquina.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con parcelas divididas. La parcela grande fueron las especies forestales y monocultivo; la subparcela correspondió a los genotipos de maíz, con tres repeticiones y 16 tratamientos. Se efectuaron cuatro evaluaciones en subparcelas al azar dentro de las unidades experimentales, formadas por seis surcos de maíz. En cada evaluación del maíz se hicieron mediciones en las especies forestales. La poda de los árboles se realizó a los seis meses. Se evaluaron las variables de crecimiento, rendimiento e índices morfológicos, fisiológicos y de cosecha. Los resultados incluyen un análisis por especies forestales incluyendo el monocultivo, genotipos y la ubicación del surco de maíz en el callejón a excepción del rendimiento

* Trabajo financiado por CONACYT, como parte del apoyo de beca para estudio de postgrado, número de registro 63458.

¹ M.C., Investigador del C. E. Humanguillo, INIFAP, SAGAR.

² M.C. Investigador del CATIE, Costa Rica.

por hectárea, además se presenta el crecimiento y producción de biomasa de los árboles.

A los 65 días se observó el mayor efecto de las especies arbóreas en el crecimiento y producción de biomasa del maíz. Los promedios más altos en el crecimiento, producción de biomasa e índice de área foliar del maíz se obtuvieron al asociarlo con *Calliandra calothyrsus*.

Los genotipos evaluados alcanzaron el mayor crecimiento e índices de área foliar y crecimiento relativo a los 65 días de la siembra. El mayor rendimiento de grano se obtuvo en el monocultivo.

El genotipo H₃ fue el mejor, con mayor crecimiento en área foliar, altura de planta, diámetro de tallo, índice de área foliar, producción de materia seca y grano.

Al aumentar los distanciamientos de la planta de maíz con respecto al árbol, se obtuvo mayor eficiencia fotosintética y por ende mayor producción de grano *C. calothyrsus* y *E. poeppigiana* obtuvieron el mayor crecimiento en altura, número de rebrotes y diámetros de copa hacia el maíz y hacia los árboles. Los promedios más altos en producción de biomasa seca los presentó *C. calothyrsus*.

Palabras clave: Genotipos, maíz, cultivos en callejones, análisis de crecimiento, posición de surcos, especies forestales.

SUMMARY

The experiment was conducted in the "La Montaña" experimental farm at the Tropical Agricultural Center for Research and Training (CATIE) in Turrialba, C.R. from June to December 1992, to evaluate the influence of three species on the vegetative and reproductive behavior of four genotypes of maize, considering row position in alley cropping. Maize, were established, in alleys of *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. COOK, *Calliandra calothyrsus* Meissn y *Gliricidia sepium* (Jacquin) Steud; a monoculture treatment was included. The maize genotypes used were: Tuxpeño, H₃, H₅ and Centapasaquina.

The random block with divided plots design was used. The main plot was dedicated to tree species and monoculture; a subplot corresponded to maize genotypes, with three repetitions and 16 treatments. Four evaluations were carried out in maize, in randomly chosen subplots within the experimental units, formed by six rows. Measurements of

tree species were made in each crop evaluation. Trees were pruned at six months. Growth, yield and morphological, physiological, and harvest index variables were evaluated. Results included and analysis by tree species, the monoculture, genotypes and location of the maize row in the alley, at exception off yield per hectare. Tree growth and biomass production is also presented.

At 65 days after planting, the greatest effect of tree species growth, and biomass production in maize was observed, the highest averages in the maize growth, biomass production and foliar area index was obtained in the association with *C. calothyrsus*. The genotypes evaluated showed the highest growth, foliar area index and relative growth at 65 days after seeding. The greatest grain yield was obtained in the monoculture.

The H₃ was best genotype with a highest growth in foliar area, plant height, stem diameter, foliar area index and dry material and grain production.

When the distance between plants was increased with respect to trees, greater photosynthetic efficiency was obtained and thus greater straw and grain production. *C. calothyrsus* and *E. poeppigiana*, showed the greatest growth in height, number of regrowths and canopy diameter in maize and trees. The highest averages in dry material production were shown with *C. calothyrsus*.

Key words: Genotypes, maize, alley cropping, analysis of growth, position, forest species.

INTRODUCCIÓN

La agroforestería es una práctica tradicional antigua que coincide con los orígenes de la agricultura y es una forma de manejo integrado de la tierra que promueve la utilización del componente forestal en los diferentes sistemas de producción; prevé la necesidad de mejorar la diversidad y estabilidad productiva resaltando el papel que desempeña el follaje en el componente arbóreo.

Dentro de éstos sistemas se encuentra el cultivo en callejones, donde los cultivos anuales se siembran entre hileras de árboles y arbustos, los que son podados para evitar la sombra, reducir la competencia por radiación solar, agua y nutrientes con la finalidad de incorporar la biomasa en los callejones como abono verde para favorecer

el crecimiento de las especies agrícolas (Kang *et al.*, 1981)³. La asociación de leguminosas arbóreas con cultivos anuales representa una alternativa en la incorporación de materia orgánica, nitrógeno y otros elementos a los cultivos (Budelman, 1989)⁴.

El maíz (*Zea mays* L.) ha sido el cultivo anual más estudiado en los sistemas en callejones, aunque hay observaciones contradictorias a cerca de sus consecuencias en la productividad agrícola, ya que no todos los investigadores han obtenido resultados positivos, como sucede con Lal (1989)⁵; Gichuru y Kang (1989)⁶; Soto (1992)⁷. Sin embargo otros autores como Yamahoa *et al.* (1986)⁸; IITA (1987)⁹; Kass *et al.* (1987)¹⁰; Kass *et al.* (1989)¹¹; Jiménez (1990)¹², encontraron mayores rendimientos en los callejones en comparación con el control. Los reportes de Sánchez (1989)¹³ y Rao y Richard (1992)¹⁴, indican que a través del tiempo existe una evolución positiva en los callejones con respecto a los nutrimentos del suelo que favorece la estabilidad y rendimientos del cultivo de maíz, en relación al monocultivo.

La mayor parte de los trabajos sobre el tema se han enfocado hacia el estado nutrimental del suelo y producción del cultivo, sin considerar el crecimiento durante su ciclo vegetativo y la posibilidad de buscar nuevos genotipos aptos para los sistemas de cultivos en callejones. Por estas razones se realizó el presente trabajo cuyo objetivo fue determinar el efecto de la *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F.C., *Calliandra calothyrsus* Meissn y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud en el crecimiento y producción de cuatro genotipos de maíz, considerando la posición del surco en los callejones.

³ Kang, B. T.; Wilson, G. T.; Spikens, L. 1981. Alley cropping *Zea mays* and *Leucaena leucocephala* (Lamb) in Southern Nigeria. pp. 165-179.

⁴ Budelman, A. 1989. Nutrient composition of the leaf biomass of three selected woody leguminous species. pp. 39-51.

⁵ Lal, R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol 3. Changes in soil chemical properties. pp. 113-132.

⁶ Gichuru, M. P. y T. B. Kang. 1989. *Calliandra calothyrsus* (Meissn) in an alley cropping system with sequentially cropped maize and cowpea in Southwestern Nigeria. pp. 191-230.

⁷ Soto P., M. L. 1992. Dinámica de la eficiencia de uso y balance de nutrimentos en sistemas agroforestales y en cultivos con enmiendas orgánicas en La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

⁸ Yamoah, C. F.; A. A. Agboola y G. F. Wilson. 1986. Nutrient contribution and maize performance in ally cropping systems. pp. 247-254.

⁹ International Institute of Tropical Agriculture (IITA). 1987. Annual report and research highlights. pp.34-35.

¹⁰ Kass, D.; E. Bustamante; W. Bermúdez. 1987. Efecto del cultivo en callejones (alley cropping) con *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, sobre la incidencia de pudriciones de la mazorca en maíz (*Zea mays* L.)

¹¹ Kass, D.; A. Barrantes; W. Bermúdez; W. Campos; M. Jiménez y J. Sánchez. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivos en callejón en La Montaña. pp.5-24.

¹² Jiménez B., J. M. 1990. Análisis de crecimiento y fenología del maíz *Zea mays* c.v. Tuxpeño en un cultivo en callejones con poró *Erythrina poeppigiana* (Walpers).

¹³ Sánchez, J. F. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones.

¹⁴ Roa, M. R. y C. Richard. 1992. Agroforestry field experiments. pp 4-8

ANTECEDENTES

El crecimiento de muchas plantas sigue un patrón similar, generalmente sigmoideo. Este se inicia con un crecimiento relativamente bajo, que posteriormente se incrementa conforme las plantas crecen (fase exponencial del crecimiento) y culmina con una disminución en los incrementos, denominada fase de senescencia del crecimiento (Fargas, 1986)¹⁵

De acuerdo con Tanaka y Yamaguchi (1972)¹⁶, se observó que el proceso del crecimiento de las plantas de maíz puede ser dividido en cuatro fases:

- Fase inicial, que incluye la brotación y desarrollo de hojas, con una producción lenta de materia seca y que termina al iniciarse la diferenciación de los órganos reproductivos y elongación de los entrenudos;
- Fase vegetativa activa, en la que ocurre un incremento activo del peso de las hojas y, posteriormente, del culmo, terminando con la emisión de los estigmas;
- Fase inicial del llenado del grano, que implica el incremento continuo de materia seca de los componentes de la planta, y es transitoria entre la vegetativa y la del llenado del grano;
- Fase del llenado del grano activo, con un rápido incremento en el peso del grano y la reducción del peso de los demás componentes de la planta.

El interés de utilizar árboles leguminosos ha aumentado porque presentan características deseables para el sistema; y son excelente fuente de abono verde e incorporan nitrógeno al sistema (Hawkings *et al.*, 1990)¹⁷. La cobertura producida por árboles y arbustos disminuye la erosión, mejora las propiedades físicas de los suelos y favorece el ciclaje de nutrimentos (Sánchez, 1987)¹⁸. Según Kass (1985)¹⁹, el cultivo de maíz en callejones de leguminosas arbóreas y aplicaciones de mulch parece ser una fuente viable de nitrógeno al maíz; principalmente cuando el nivel de este elemento en el suelo ha disminuido durante varios años de cultivo.

¹⁵ Fargas, J. 1986. Conceptos básicos sobre análisis de crecimiento de las plantas. pp. 1-7

¹⁶ Tanaka, A. y Y. Yamaguchi. 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz.

¹⁷ Hawkings, R.; H. Sembiring; D. Lubis and Suwardjo. 1990. The potential of alley cropping in the uplands of East and Central Java.

¹⁸ Sánchez P., A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. pp. 205-223.

¹⁹ Kass, D. 1985. Alley cropping of annual food crops with woody legumes in Costa Rica. pp. 197-208.

Kass *et al.* (*op. cit.*), determinaron para maíz en asocio con *G. sepium*, que los surcos localizados a menos de dos metros del árbol tuvieron un rendimiento de grano inferior, aunque no hubo diferencias significativas en la producción de biomasa. En el maíz del surco más distante del árbol, solamente 15.7 % de las mazorcas fueron dañadas por pudriciones, en tanto que en los surcos más cercanos a los árboles el 30 % sufrió daños en un cultivo de temporal y con una precipitación normal en relación a los años anteriores. Sin embargo los resultados de Jiménez (*op. cit.*), indican que la posición del surco de maíz no tuvo mayor efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En Junio de 1992, se estableció el experimento en la finca experimental La Montaña, del CATIE en Turrialba, Costa Rica; ubicada a 9° 53' latitud norte y 83° 43' longitud oeste a una altitud de 602 msnm. La temperatura es de 21.5° C y una precipitación media anual de 2,623 mm; con un clima tropical húmedo (García, 1973)²⁰. El suelo pertenece a un Cambisol húmico. La textura es franco arcilloso con pH de 5.5.

El experimento tuvo como tratamientos tres especies forestales y un testigo sin árboles; así como cuatro genotipos de maíz, los cuales fueron: Tuxpeño, H₃, H₅ y Centapasaquina. Se empleó un diseño de bloques al azar en parcelas divididas y tres repeticiones. La parcela grande correspondió a las especies forestales y monocultivos; las subparcelas estuvieron formadas por los genotipos de maíz.

Los árboles tenían 1.5 años de edad, fueron podados cada seis meses una semana antes de la siembra del cultivo, la altura de poda en *Gliricidia*, fue a 0.75 m, en *Calliandra* y *Erythrina* a 1.2 m. La unidad experimental constó de 51, 27 y 15 árboles de *Gliricidia*, *Calliandra* y *Erythrina* respectivamente, distribuidas en tres hileras de árboles a un distanciamiento de 6 m x 0.50 m, 6 m x 1 m y 6 m x 2 m respectivamente, el uso de estos distanciamientos obedece a recomendaciones obtenidas en ensayos anteriores, donde resultaron tener mejor respuesta en el sistema de producción, originando dos callejones de 6 x 8 m cada uno. Además, para el análisis del efecto del árbol sobre el desarrollo del maíz no se consideró el efecto confundido de árbol por distanciamiento entre árboles. La evaluación del componente arbóreo se realizó en la hilera central de cada unidad experimental, localizada dentro de la parcela útil, se evalúan 13, 7 y 3 árboles de acuerdo al orden de las especies forestales antes mencionado.

²⁰ García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.

El maíz fue sembrado el 25 de junio a 0.80 m x 0.50 m entre surcos y plantas dentro de los callejones previa preparación mecánica del terreno, mediante el uso de arado y rastra. El surco de maíz más cercano a los árboles se estableció a 1.0 m; inicialmente se sembraron 3 semillas por golpe, tres semanas después se raleó, dejando 2 plantas por hoyo. El combate de maleza se realizó a los 20 y 55 días después de la siembra, no se realizó ninguna fertilización, únicamente se aprovechó el aporte del abono orgánico incorporado a través del follaje de las especies forestales. La dobla del maíz se efectuó después de alcanzar la madurez fisiológica y la cosecha final se realizó a los 125 días.

En cada parcela útil se eligieron subparcelas, para los muestreos del análisis de crecimiento; las evaluaciones sobre el crecimiento se realizaron en seis surcos de maíz, formados por tres surcos a ambos lados de la hilera central de árboles. Estas evaluaciones se efectuaron individualmente para cada una de las plantas, los surcos fueron identificados de una a seis en cada parcela útil. Se llevaron a cabo cuatro muestreos en el maíz, de acuerdo con (IBSNAT, 1988)²¹; cuando la mitad de las plantas presentaron la sexta hoja visible a nivel del cuello (V6), en el momento que la mitad de las plantas tuvieron algunos estigmas visibles fuera del jilote (R1), al existir la mitad de las plantas con granos en estado de maíz tierno "el endospermo tiene consistencia pastosa, ocurre a los 24 a 28 días después de emerger los pelos" (R4) y en el estado de cosecha final (R7). En cada muestreo se evaluó el área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo, longitud de los entrenudos y el peso seco de cada uno de los componentes de la planta. También se determinaron los índices de área foliar (IAF), razón área foliar (RAF), crecimiento relativo (ICR) y asimilación neta (IAN). En los árboles se midieron la altura y diámetro de copa, durante los muestreos del cultivo.

La cosecha del maíz se efectuó en una subparcela con un área de 24 m² y los rendimientos de los granos se expresaron al 14% de humedad. Al momento de la poda de los árboles se evaluaron las variables anteriormente mencionadas y el número de rebrotes y la producción de biomasa.

Para determinar el efecto de los árboles con respecto a la posición del surco de maíz en los callejones, se agruparon éstos en tres posiciones, considerando la identificación antes mencionada (1.0 m, 1.8 m y 2.6 m del árbol), que corresponden a los surcos 3 y 4, 2 y 5, 1 y 6 respectivamente.

Para las variables de crecimiento se efectuó un análisis de varianza que correspondió a un diseño de bloques al azar en parcelas subdivididas, y se incluyó como tercer factor (sub-parcelas) las posiciones de los surcos en relación con el árbol, para el caso de los componentes del rendimiento, se hizo un análisis de varianza, de acuerdo con el

²¹ International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, 1988. Experimental design and data collection procedures for IBSNAT.

planteamiento original del ensayo (diseño de bloques al azar en parcelas divididas). El crecimiento y producción de la biomasa de los árboles se analizó mediante un diseño de bloques al azar, los promedios se compararon con la prueba de Tukey y Polinomios ortogonales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de las especies arbóreas.

El efecto de las especies forestales sobre el desarrollo del cultivo de maíz se detectó desde los 26 días hasta la madurez de cosecha en algunas de las variables de crecimiento, biomasa total seca y componentes de la biomasa (hoja, tallo y grano).

Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre el maíz asociado con *Calliandra calothyrsus* y el cultivado con *Erythrina poeppigiana* (Cuadros Nos. 1 y 2), como consecuencia de un mayor diámetro de copa alcanzado por la *E. poeppigiana*, que reduce la exposición de las plantas de maíz a la radiación solar. Además, las plantas de maíz en asociación con *C. calothyrsus* obtuvieron mayor elongación de entrenudos a los 65 días, esto permitió una mayor altura en el cultivo, alcanzando una posición menos sombreada que favorece el área foliar y por ende la producción de biomasa. Una baja captación de luz en el cultivo origina un menor desarrollo del follaje, diámetro de tallo, crecimiento general y producción de la planta (Tieszen, 1983²²; Lafitte, 1989²³). Comportamientos similares en crecimiento de área foliar, altura de planta, diámetro de tallo y producción de biomasa reportó Jiménez (*op. cit.*) para el Tuxpeño asociado con *E. poeppigiana* al aumentar la sombra, debido a una mayor densidad de árboles en los callejones (espaciamientos de 6 x 1 m). Lo cual resulta perjudicial para el cultivo de maíz.

El mayor índice de área foliar (IAF) para el cultivo de maíz en todas las fechas evaluadas (26, 65 y 89 días) se presentó con *Calliandra calothyrsus* y a los 65 días alcanzó su mayor valor con 2.648 cm²/cm²; con respecto a los demás índices morfológicos y fisiológicos del maíz, las variaciones del cultivo en el asocio con las especies forestales fueron mínimas.

²² Tieszen, L. L. 1983. Photosynthetic systems: implications for Agroforestry. pp. 323-346.

²³ Lafitte, H. R. 1989. Identificación de los problemas de la producción de maíz.

ESPECIES	DÍAS	ÁREA FOLIAR (cm ²)	ALTURA PLANTA (cm)	DIÁMETRO TALLO (cm)	LONGITUD ENTRENUDOS (cm)	BIOMASA TOTAL SECA (g)
CA		493.7 A	41.4 A	1.0 A	.....	3.0 A
CO	26	360.4 AB	39.6 A	0.8 A	.....	2.3 A
GL		343.4 AB	39.2 A	0.8 A	.....	2.2 A
PO		287.2 B	37.7 A	0.7 A		2.2 A
CA		5295.6 A	213.0 A	1.8 A	13.8 A	93.1 A
CO	65	4862.1 AB	200.8 AB	1.7 AB	12.8 A	83.0 A
GL		4829.0 AB	195.6 AB	1.7 AB	12.3 AB	77.4 A
PO		3492.4 B	156.6 B	1.4 B	9.9 B	50.8 A
CA		3720.9 A	252.1 A	1.7 A	14.0 AB	195.5 A
CO	89	3566.4 A	232.5 A	1.7 A	14.6 A	195.4 A
GL		3609.1 A	221.7 A	1.8 A	13.7 AB	195.4 A
PO		2390.9 B	180.5 A	1.4 B	11.9 B	119.3 B
CA		.....	223.8 A	.....1.7 A	14.6 B	202.2 A
CO	120	.....	218.3 AB	1.7 A	14.7 A	205.1 A
GL		.....	217.0 AB	1.7 A	14.3 A	212.8 A
PO		.....	184.2 B	1.4 B	12.8 A	139.0 A

Los promedios sin letras en común presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey

CA = *C. Calothyrsus* CO = Control GL = *G. sepium* PO = *E. poeppigiana*

Cuadro 1. Medias para variables de crecimiento del maíz a los 26, 65, 89 y 120 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

En la cosecha del maíz, existieron diferencias significativas ($P < 0.01$ a 0.05) según la especie de árbol para el número de mazorcas buenas y rendimiento (Cuadro N° 3). Los contrastes realizados detectaron diferencias estadísticas ($P < 0.01$) en las variables antes mencionadas al comparar el monocultivo con respecto al cultivo en callejones y en la comparación del maíz cultivado con *Erythrina poeppigiana* sobre las demás especies arbóreas. La mayor cantidad de mazorcas buenas y rendimiento (Cuadro N° 4) se obtuvo en el monocultivo.

DÍAS	ESPECIES	PESO SECO (g/planta)		
		HOJA	TALLO	GRANO
65	<i>C. calotryrsus</i>	27.8 A	41.2 A	.....
	CONTROL	25.5 A	38.1 A	.....
	<i>G. sepium</i>	24.8 A	33.0 A	.....
	<i>E. poeppigiana</i>	18.0 A	21.6 A	.....
89	<i>C. calotryrsus</i>	26.1 A	53.7 A	39.6 A
	CONTROL	26.6 A	54.9 A	39.0 A
	<i>G. sepium</i>	26.6 A	54.5 A	36.9 AB
	<i>E. poeppigiana</i>	16.9 B	34.4 B	24.1 B
120	<i>C. calotryrsus</i>	18.4 A	43.8 A	83.8 A
	CONTROL	17.0 AB	43.6 A	82.6 A
	<i>G. sepium</i>	19.3 A	42.0 A	87.6 A
	<i>E. poeppigiana</i>	13.1 B	27.4 A	60.7 A

Promedios con alguna letra en común no son diferentes entre sí al 0.05, según la prueba de Tukey.

Cuadro N° 2. Medias para los componentes de la biomasa maíz por especies a los 65, 89 y 120 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	MAZORCAS MALAS	MAZORCAS BUENAS	RENDIMIENTO (Kg/Ha)
BLOQUE	2	215.27 NS	145.65 NS	955353 NS
ESPECIE	3	26.58 NS	4290.53 ***	11188762 ***
ERROR (A)	6	53.35	69.84	549821
GENOTIPO	3	73.47 **	710.58 ***	1755523 ***
ESP*GEN	9	11.53 NS	122.95 NS	158718 ***
ERROR (B)	24	15.22	74.40	228904
CV %		25.7	13.3	16.6

** Significativo al 5% *** Significativo al 1%

Cuadro N° 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables del rendimiento de grano del maíz en callejones. Turrialba, Costa Rica. 1993.

ESPECIES	MAZORCAS MALAS	MAZORCAS BUENAS	RENDIMIENTO (Kg/Ha)
<i>C. calothyrsus</i>	14.8 A	59.8 B	2802 B
Control	13.4 A	89.9 A	4050 A
<i>G. sepium</i>	16.8 A	65.8 B	2999 B
<i>E. poeppigiana</i>	15.9 A	44.4 C	1694 C
Genotipos			
Tuxpeño	12.7 B	55.7 C	2538 B
H ₃	13.8 B	73.2 A	3426 A
H ₅	18.3 A	62.1 BC	2726 B
Centapasaquina	16.1 AB	68.9 AB	2856 B

Los promedios sin letras en común presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Cuadro N° 4. Medias por especies y genotipo de maíz para los componentes del rendimiento en cultivos en callejones. Turrialba, Costa Rica, 1993.

Para las especies forestales los menores promedios de rendimiento del cultivo agrícola los presentó el maíz asociado con *Erithrina poeppigiana*. Los porcentajes de reducción en el rendimiento de grano por hectárea, al comparar los genotipos de cada sistema productivo con su correspondiente genotipo evaluado en monocultivo (Cuadro N° 5), indican que los genotipos asociados con *E. poeppigiana* fueron los más afectados, con una disminución superior al 50 % con respecto al control. Los reportes existentes en la literatura son muy diferentes, algunos autores como (Kang *et al.*, 1989²¹; Lal, *op. cit.*; Soto, *op. cit.*) coinciden con los resultados obtenidos. Sin embargo otros difieren de estos resultados (Yamoah *et al.*, *op. cit.*; Jiménez, *op. cit.*).

Además, en el presente trabajo influyó el arreglo espacial del cultivo, dado que en los callejones se tiene menor densidad de plantas por unidad de superficie (20%). Probablemente los bajos rendimientos en los callejones se deban a que el sistema se encuentra en su segundo año de evaluación, lo cual no permite destacar el potencial existente en el sistema y los beneficios obtenidos por el aporte de biomasa y la incorporación de nutrientes. Al respecto, Sánchez (*op. cit.*) y Rao y Richard (*op. cit.*), apoyan lo anterior ya que sus resultados indican que a través de los años hay una recuperación productiva de los callejones que superan al control.

²¹ Kang, B. T.; I. Reynolds y A. N. Atta-Krah. 1989. Alley farming advances in agronomy. pp. 315-359.

ESPECIES ARBOREAS	TUXPEÑO	GENOTIPOS		
		H ₃	H ₅	CENTAPASAQUINA
REDUCCION (%)				
<i>C. calothyrsus</i>	23	22	41	35
<i>G. sepium</i>	28	19	29	29
<i>E. poeppigiana</i>	56	45	64	68

El rendimiento de cada genotipo en el monocultivo se consideró como un 100%.

Cuadro N° 5. Porcentajes de la reducción del rendimiento de grano en genotipos de maíz cultivados en callejones comparados con el monocultivo. Turrialba, Costa Rica. 1993.

Crecimiento de los genotipos de maíz.

Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los genotipos de maíz a los 26, 65, 89 y 120 días para el crecimiento y producción de biomasa, a excepción de algunas variables tales como diámetro de tallo a los 65 días, área foliar y altura de planta a los 89 días; biomasa total seca y para los componentes hoja y grano a los 120 días. En general los promedios indican que los híbridos mostraron superioridad sobre las variedades alcanzando un mayor crecimiento y producción de biomasa (Cuadros Nos. 6 y 7). Esto indica que el comportamiento en el crecimiento y producción de biomasa de los cultivares depende de la respuesta genética de cada genotipo para utilizar aquellos factores que afectan la fotosíntesis: temperatura, luz, nutrientes y agua (Arze, 1977)²⁵. La reducción en el área foliar del genotipo afecta la acumulación de carbohidratos y reduce la velocidad de crecimiento y por ende la producción de biomasa de maíz (Duncan *et al.*, 1965)²⁶.

La interacción especie por genotipo fue significativa ($P < 0.05$) a los 65 días para el diámetro del tallo de la planta, observándose que los genotipos se comportaron de manera diferente en cada una de las especies de árboles con las cuales fueron asociados, siendo superior el H₅ en el asocio con *Calliandra calothyrsus* y en monocultivo (Cuadro N° 8). Este genotipo parece tener un mejor potencial genético para crecer en condiciones de sombra en relación a los demás cultivares y responde mejor en callejones de *C. calothyrsus* especie que presenta diferente tamaño y disposición de las hojas y orientación de ramas comparadas con las *Erythrina*

²⁵ Arzen B. J. A. 1975. Condiciones de radiación solar y otros factores microclimáticos dentro de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes densidades y orientaciones de surco.

²⁶ Duncan, W. G.; A. L. Hatefield y J. L. Reagland. 1965. The growth and yield of corn, 2. Daily growth of corn, 2. Daily growth of corn kernels. pp. 221-223.

poeppigiana donde la penetración de luz es menor y esto reduce el diámetro de tallo en los genotipos de maíz; por otro lado posiblemente existe mayor disponibilidad de nutrimentos necesarios para su crecimiento en comparación con el monocultivo y la asociación con *Gliricidia sepium*.

GENOTIPOS	DÍAS	ÁREA FOLIAR (cm ²)	ALTURA PLANTA (cm)	DIÁM. TALLO (cm)	LONGITUD ENUDOS (cm)	BIOMASA TOTAL SECA (g)
TUXPEÑO	26	266 B	32.2 C	0.6 B	.....	1.7 C
H ₃		462 A	45.3 A	0.9 A	.....	3.2 A
H ₅		372 AB	39.2 B	0.8 A	.....	2.3 BC
CENTA-PASAQUINA		385 A	41.2 AB	0.8 A	.....	2.6 AB
TUXPEÑO	65	4080 B	163.0 B	1.6 A	9.6 C	62.5 B
H ₃		4830 AB	222.3 A	1.7 A	15.3 A	83.1 AB
H ₅		5219 A	212.1 A	1.8 A	13.3 B	89.7 A
CENTA-PASAQUINA		4350 AB	168.7 B	1.6 A	10.6 C	69.1 AB
TUXPEÑO	89	3028 A	234.9 A	1.5 B	13.0 C	165.6 B
H ₃		3478 A	238.0 A	1.8 A	15.7 A	205.9 A
H ₅		3412 A	226.2 A	1.7 AB	14.0 B	180.7 AB
CENTA-PASAQUINA		3386 A	187.7 A	1.6 AB	11.5 D	153.5 B
TUXPEÑO	120	.....	205.8 BC	1.5 B	14.2 B	184.1 A
H ₃		.....	234.7 A	1.7 A	15.5 A	197.5 A
H ₅		.....	212.9 B	1.7 A	14.4 B	180.2 A
CENTA-PASAQUINA		.....	190.2 C	1.6 AB	12.4 C	197.1 A

Los promedios sin letras en común presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey

Cuadro N° 6. Medias para variables de crecimiento en genotipos de maíz a los 26, 65, 89 y 120 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

DÍAS	GENOTIPO	PESO SECO (g/planta)		
		HOJA	TALLO	GRANO
65	TUXPEÑO	20.3 B	26.9 C	.....
	H ₃	25.1 AB	37.9 AB	.....
	H ₅	28.2 A	40.3 A	.....
	CENTAPASAQUINA	22.5 AB	29.0 B	.....
89	TUXPEÑO	21.5 B	47.6 AB	31.7 B
	H ₃	27.2 A	57.7 A	42.9 A
	H ₅	24.0 AB	53.3 A	35.9 AB
	CENTAPASAQUINA	23.4 AB	38.9 B	29.2 B
120	TUXPEÑO	18.1 A	37.3 AB	76.5 A
	H ₃	16.5 A	45.8 A	85.0 A
	H ₅	14.4 A	38.7 AB	72.2 A
	CENTAPASAQUINA	18.9 A	35.3 B	83.1 A

Promedios con alguna letra en común no son diferentes entre sí al 0.05, según la prueba de Tukey.

Cuadro N° 7. Medias para los componentes de la biomasa de los genotipos de maíz a los 65, 89 y 120 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

ESPECIES ARBOREAS	TUXPEÑO	H ₃	H ₅	CENTAPASAQUINA
<i>C. calothyrsus</i>	1.73	1.86	2.05	1.63
CONTROL	1.84	1.79	1.91	1.37
<i>G. sepium</i>	1.61	1.73	1.74	1.77
<i>E. poeppigiana</i>	1.15	1.50	1.50	1.63

Cuadro N° 8. Diámetro del tallo (cm) en genotipos de maíz según las especies de árboles a los 65 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

También fue altamente significativa ($P < 0.01$) la interacción especie por genotipo a los 120 días para el peso seco de grano, los mejores rendimientos fueron para la variedad Centapasaquina en asocio con *Gliricidia sepium* y en monocultivo (Cuadro N° 9). *G. sepium* presentó menor crecimiento en el diámetro de su copa y su crecimiento Ortótopo origina menos sombreado sobre las plantas de maíz comparado con las

otras especies, lo cual favoreció el potencial productivo de este genotipo. Además una mayor disponibilidad de luz favorece el llenado de grano (Hanway, 1962)²⁷.

ESPECIES ARBOREAS	TUXPEÑO	H ₃	H ₅	CENTAPASAQUINA
<i>C. calothyrsus</i>	94.8	84.7	79.3	76.7
CONTROL	72.1	83.7	73.8	101.9
<i>G. sepium</i>	66.2	86.2	94.5	105.5
<i>E. poeppigiana</i>	82.1	88.1	44.9	41.1

Cuadro N° 9. Peso seco del grano (g/planta) en genotipos de maíz según las especies de árboles a los 65 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

Los índices morfológicos evaluados en los genotipos de maíz, fueron superiores en el H₅, obteniéndose el mayor promedio por razón de área foliar a los 26 días (192.93 cm²/g) y a los 65 días para el índice de área foliar (2.609 cm²/cm²). Los índices fisiológicos de las evaluaciones realizadas indicaron que las variaciones entre los genotipos son mínimas y no resultan importantes en el comportamiento de los cultivares.

En la cosecha del maíz, se detectaron diferencias significativas ($P < 0.01$ y 0.05) entre los genotipos para los componentes del rendimiento. Los contrastes entre los genotipos, indican diferencias estadísticas ($P < 0.01$ y 0.05) entre estos. Los híbridos fueron superiores a las variedades y dentro de híbridos sobresale el H₃, que produjo la mayor cantidad de mazorcas buenas y rendimiento de grano (Cuadro N° 4). Además el H₃ obtuvo una menor reducción en el porcentaje del rendimiento de grano comparado con los otros genotipos cuando se cultivó en callejones. Entre variedades únicamente existieron diferencias estadísticamente significativas para el número de mazorcas malas y buenas con superioridad de la Centapasaquina, que también obtuvo la mayor cantidad de mazorcas malas. La interacción especie por genotipo no fue significativa.

²⁷ Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility, 2. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. pp. 217-222.

Efecto de la posición de los surcos de maíz

El cultivo de maíz mostró diferencias significativas ($P < 0.01$ y 0.5) debido al efecto de la posición de los surcos con respecto a la hilera de árboles, a los 65 y 120 días para la altura de planta, el diámetro de tallo, longitud de entrenudos y biomasa total seca. El análisis de tendencia para estas variables indica una respuesta lineal para el factor posición y para el efecto de la posición dentro de las especies. Los promedios observados (Cuadro N° 10) muestran un aumento al alejarse los surcos de maíz del árbol, lo que implica competencia de este hacia el cultivo. A los 65 días la posición de los surcos en el asocio de maíz con *G. sepium* no mostró ningún efecto, debido a que en esta evaluación el crecimiento en el diámetro de copa del árbol era insuficiente para ejercer una competencia significativa.

POSICIÓN (m)	ÁREA FOLIAR (cm ²)	ALTURA PLANTA (cm)		DIÁMETRO TALLO (cm)		LONGITUD ENUDOS (cm)		BIOMASA TOTAL SECA (g)	
		65	120	65	120	65	120	65	120
días después de la siembra									
	65	65	120	65	120	65	120	65	120
1.0	4003	172	196	1.5	1.5	10.9	13.5	66	141
1.8	4508	190	209	1.7	1.6	12.1	14.0	74	180
2.6	5140	203	221	1.8	1.8	13.0	14.3	82	232

Cuadro N° 10. Promedios para variables de crecimiento según la posición de los surcos del maíz a los 65 y 120 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

La interacción genotipo por posición fue significativa ($P < 0.05$) a los 65 días para el área foliar y altura de la planta. Se observó una tendencia lineal para el efecto de posición dentro de genotipos en las variables mencionadas. Los promedios se incrementaron conforme existió mayor distanciamiento de los surcos con respecto a la hilera de árboles (Cuadro N° 11). El crecimiento en área foliar y altura de planta de H₃ no fue afectado por la posición de los surcos a los 65 días ni a los 120 días en la altura de planta para la Centapasaquina. Los genotipos H₃ y Centapasaquina, no mostraron diferencias en el crecimiento de las plantas más cercanas a los árboles con respecto a los surcos de maíz más alejados de las especies arbóreas debido posiblemente a su potencial genético. Estos mismos genotipos obtuvieron los mayores promedios en el rendimiento de grano y número de mazorcas buenas por hectárea (Cuadro N° 4).

GENOTIPOS	POSICIÓN (m)	ÁREA FOLIAR (cm ²)	ALTURA PLANTA (cm)	
			65	120
			días después de la siembra	
			65	120
TUXPEÑO	1.0	2897	130	183
TUXPEÑO	1.8	3556	150	214
TUXPEÑO	2.6	5004	190	223
H ₃	1.0	4578	211	217
H ₃	1.8	5139	230	242
H ₃	2.6	4489	215	240
H ₅	1.0	4684	190	201
H ₅	1.8	4914	206	208
H ₅	2.6	5718	221	233
CENTAPASAQUINA	1.0	3851	158	182
CENTAPASAQUINA	1.8	4422	173	172
CENTAPASAQUINA	2.6	5347	188	190

Cuadro N° 11. Promedios para variables de crecimiento en genotipos de maíz según la posición de los surcos a los 65 y 120 días después de la siembra. Turrialba, Costa Rica. 1993.

Para los índices de crecimiento, la evaluación realizada a los 65 días, indicó mayor índice de área foliar (IAF), razón área foliar (RAF) y crecimiento relativo (ICR) para las plantas de maíz localizadas en el centro del callejón, y sin variación en el índice de asimilación neta. Resultados similares reportó Jiménez (*op. cit.*), en el IAF del Tuxpeño asociado con *Erythrina poeppigiana* para el espaciamiento de 6 x 2 m, pero sin diferencias para los demás índices.

En general, el efecto ejercido por el árbol se refleja en: reducción del desarrollo foliar, la altura de la planta, el grosor del tallo, los índices de crecimiento y la producción de biomasa de las plantas más cercanas a los árboles.

Los resultados de Jiménez (*op. cit.*), para el asocio del Tuxpeño en callejones de *Erythrina poeppigiana*, muestran reducciones en el crecimiento y producción de biomasa de las plantas del maíz cercanas al árbol especialmente en los espaciamientos de 6 x 1 m y 6 x 2 m. Los reportes de Yamoah *et al.*, (*op. cit.*) utilizando *Cassia* sp, *Flemingia* sp y *Gliricidia sepium* a 0.5 x 4 m, indican que la planta del maíz tiene

mayor crecimiento y producción de biomasa en los surcos que están en el centro del callejón. Resultados similares fueron reportados por Kass *et al.*, (*op. cit.*) en maíz cultivado en callejones de *G. sepium* establecidos a 6 x 0.50 m.

ESPECIES FORESTALES	DÍAS	ALTURA DEL ÁRBOL (cm)	DIÁMETRO DE COPA HACIA	
			MAÍZ (cm)	ÁRBOL (cm)
<i>C. calothyrsus</i>	26	143.2 A	60.2 A	63.1 A
<i>G. sepium</i>		77.8 B	26.3 B	26.2 B
<i>E. poeppigiana</i>		149.1 A	74.8 A	73.2 A
<i>C. calothyrsus</i>	65	202.1 A	167.6 B	155.5 B
<i>G. sepium</i>		126.1 B	79.3 C	61.8 C
<i>E. poeppigiana</i>		182.8 A	193.7 A	195.6 A
<i>C. calothyrsus</i>	89	261.0 A	233.0 A	205.3 A
<i>G. sepium</i>		172.1 B	120.2 B	84.2 B
<i>E. poeppigiana</i>		217.8 AB	245.9 A	243.8 A
<i>C. calothyrsus</i>	120	311.8 A	318.2 A	240.4 B
<i>G. sepium</i>		208.6 C	157.0 B	105.3 C
<i>E. poeppigiana</i>		257.9 B	302.4 A	280.0 A

Los promedios sin letras en común presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Cuadro N° 12. Medias de las variables del crecimiento en tres especies forestales a los 26, 65, 89 y 120 días después de la siembra del maíz. Turrialba, Costa Rica. 1993.

Crecimiento y producción de biomasa de los árboles

La altura del árbol fue significativamente inferior ($P < 0.05$) en *Gliricidia sepium* a los 26 y 65 días con respecto a las demás especies arbóreas; a los 89 días mostró superioridad *Calliandra calothyrsus* sobre *G. sepium* y a los 120 días fueron superior la altura de *C. calothyrsus* (Cuadro N° 12). El diámetro de copa hacia el árbol y hacia el maíz a los 26 y 89 días fue inferior ($P < 0.05$) en *G. sepium* y comparado con *C. calothyrsus* y *Erythrina poeppigiana* a los 65 días las variables antes indicadas fueron superiores en *E. poeppigiana*, sin embargo a los 120 días para el diámetro de copa hacia maíz sobresalen *C. calothyrsus* y *E. poeppigiana* y en el diámetro de copa hacia el árbol fue significativamente superior *E. poeppigiana* sobre las otras especies arbóreas.

Los promedios del diámetro de copa por árbol fueron mayores en *E. poeppigiana*. Este comportamiento resultó lógico dado que el espaciamiento entre árboles fue de 2 m, esto implica que la competencia se reduce en comparación con *G. sepium* y *C. calothyrsus* las cuales se establecieron a 0.50 y 1 m de distancia entre árboles respectivamente. Los resultados de Jiménez (*op. cit.*), muestran mayor diámetro de copa hacia el árbol, conforme los distanciamientos entre estos aumentan.

El desarrollo del maíz asociado con *C. calothyrsus* se vio favorecido debido posiblemente a una mayor disponibilidad de nutrimentos por parte de la biomasa incorporada al sistema en comparación con *G. sepium* que presenta menor rendimiento de materia seca. En relación al sombreado, *C. calothyrsus* presenta menor diámetro de copa, además existe la posibilidad de que el tamaño de la hoja y su disposición en las ramas permita una mayor penetración de luz sobre las plantas de maíz comparado con *E. poeppigiana*.

A pesar de que existe poca información acerca del comportamiento *C. calothyrsus* en cultivos en callejones con maíz, su respuesta indica que puede ser promisorio. Su capacidad para crecer en asociación con los cultivos agrícolas ha sido mencionada por (IITA, *op. cit.*; Gichuru y Kang, *op. cit.*; Hawkins *et al.*, *op. cit.*).

Se detectaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre especies para el crecimiento y producción de biomasa a los seis meses. La comparación de los promedios (Cuadro N° 13) indican que la altura, diámetro de copa y número de rebrotes fue mayor para *C. calothyrsus* y *E. poeppigiana*; los valores obtenidos para la *E. poeppigiana* fueron inferiores a los reportados por Jiménez (*op. cit.*) para el espaciamiento de 6 x 2 m.

El rendimiento de biomasa seca por hectárea por componente y total (Cuadro N° 13) fue mayor para *C. calothyrsus* ($P < 0.05$), al presentar un mayor porcentaje de materia seca con respecto a las demás especies. La producción de biomasa total seca de *C.*

calothyrsus obtenida en el presente trabajo, resultó superior a los resultados reportados por Gichuru y Kang (*op. cit.*), en un sistema de producción maíz-caupi asociado con *C. calothyrsus*, en su segundo año de evaluación, con cuatro podas anuales y un distanciamiento de 4 x 1 m.

ESPECIES FORESTALES	ALTURA DEL ÁRBOL (cm)	DIÁMETRO DE COPA HACIA		NÚMERO DE BROTES
		MAÍZ (cm)	ÁRBOL (cm)	
<i>C. calothyrsus</i>	352.2 A	389.9 A	285.5 A	13 A
<i>G. sepium</i>	230.4 B	168.7 B	112.1 B	6 B
<i>E. poeppigiana</i>	319.6 A	390.5 A	321.6 A	13 A

ESPECIES FORESTALES	PESO SECO (Kg/Ha)			MATERIA SECA (%)
	HOJA	TALLO	TOTAL	
<i>C. calothyrsus</i>	2082 A	3775 A	5857 A	40 A
<i>G. sepium</i>	715 C	1363 B	2078 B	28 B
<i>E. poeppigiana</i>	1373 B	1507 B	2880 B	21 C

Los promedios sin letras en común presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Cuadro N° 13. Crecimiento y producción de biomasa en tres especies forestales asociadas con maíz a los seis meses después de la poda, Turrialba, Costa Rica. 1993.

CONCLUSIONES

Al inicio de la etapa reproductiva (65 días) se observó el mayor efecto de las especies arbóreas en el crecimiento y producción de biomasa del maíz. Los promedios más altos en el crecimiento, producción de biomasa e índices de área foliar del maíz se obtuvieron en el asocio con *Calliandra calothyrsus*. El mayor rendimiento de grano se obtuvo en el monocultivo.

- Los genotipos de maíz alcanzaron el mayor crecimiento e índice de área foliar y crecimiento relativo a los 65 días después de la siembra. El H₃ fue el mejor genotipo con mayor crecimiento en área foliar, altura de planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, producción de materia seca y grano.
- La mayor eficiencia fotosintética y por ende mayor rendimiento de grano se obtuvo en las plantas de maíz localizadas en el centro de los callejones.
- *Calliandra calothyrsus* y *Erythrina poeppigiana* obtuvieron el mayor crecimiento en altura y diámetro de copa hacia el maíz y hacia los árboles. Los promedios más altos en el número de rebrotes y producción de biomasa seca por hectárea los presentó *C. calothyrsus*.

BIBLIOGRAFÍA

- Arze B., J. A. 1975. Condiciones de radiación solar y otros factores microclimáticos dentro de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes densidades y orientaciones de surco. Tesis Ms. Sc., CATIE. Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- Budelman, A. 1989. Nutrient composition of the leaf biomass of three selected woody leguminous species. *Agroforestry Systems (Holanda)* 8:39-51.
- Duncan, W.G.; A. L. Hatefield and J. L. Reagland. 1965. The growth and yield of corn, 2. Daily growth of corn, 2. Daily growth of corn Kernels. *Agronomy Journal. (EE.UU.)* 57:221-223.
- Fargas, J. 1986. Conceptos básicos sobre análisis de crecimiento de las plantas. *In: Conceptos metodológicos sobre investigación y desarrollo de tecnología para sistema de producción de cultivos*. CATIE. Serie de materiales de Enseñanza No. 26, Vol. 2. Turrialba, Costa Rica. pp. 1-7.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía. UNAM. México. 71 p.
- Gichuru, M. P. and T. B. Kang. 1989. *Calliandra calothyrsus* (Meissn) in an alley cropping system with sequentially cropped maize and cowpea in Southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems (Holanda)* 9:191-203.

- Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility, 2. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agronomy Journal* (EE.UU.). 53:217-222.
- Hawkings, R.; H. Sembiring; D. Lubis and Suwardjo. 1990. The potential of alley cropping in the uplands of East and Central Java. Salatiga, Java, UACP-FSR/Agency for Agricultural Research and Development Department of Agriculture. Indonesia. 71 p.
- International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer. 1988. Experimental design and data collection procedures for IBSNAT. IBSNAT. Technical Report N° 1. 71 p.
- International Institute of Tropical Agriculture (IITA). 1987. Annual report and research highlights, 1986. Ibadan, Nigeria. pp. 34-35.
- Jiménez B., J. M. 1990. Análisis del crecimiento y fenología del maíz *Zea mays* c.v. Tuxpeño en un cultivo en callejones con poró *Erythrina poeppigiana* (Walpers). O.F. Cook, plantado en cuatro arreglos espaciales. Tesis Ms. Sc., CATIE. Turrialba, Costa Rica. 124 p.
- Kang, B. T.; G. T. Wilson and L. Spikens. 1981. Alley cropping *Zea mays* and *Leucaena leucocephala* (lamb) in Southern Nigeria. *Plant and soil* (Holanda) 63:165-179.
- _____ ; L. Reynolds; A. N. Atta-Krah. 1989. Alley farming advances in agronomy (EE.UU.) 43:315-359.
- Kass, D. 1985. Alley cropping of annual food crops with woody legumes in Costa Rica. *In: Advances in agroforestry research*. Eds. V. W. Bench; H. W. Fassbender, H. Heuvelodp. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 117. Turrialba, Costa Rica. pp. 197-208.
- Kass, D.; E. Bustamante y W. Bermúdez. 1987. Efecto del cultivo en callejones (alley cropping) con *Gliricidia sepium* (Jacq) Steud. sobre la incidencia de pudriciones de la mazorca en maíz (*Zea mays* L.). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 11 p.
- _____ ; A. Barrantes; W. Bermúdez; W. Campos; M. Jiménez y J. Sánchez. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivos en callejones en La Montaña, Turrialba, Costa Rica. *Chasqui* (C.R.) No. 19:5 -24.

- Lafitte, H. R. 1989. Identificación de los problemas de la producción de maíz. Guía de campo. CIMMYT. México. 91 p.
- Lal, R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol 3. Changes in soil chemical properties. *Agroforestry Systems* (Holanda) 8:113-132.
- Rao, M. R. and C. Richard. 1992. Agroforestry field experiments: Evaluating the results of agroforestry research. *Agroforestry Today* (Kenia) 4: 4-8.
- Sánchez, J. F. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones. Tesis Ms. Sc., CATIE. Turrialba, Costa Rica. 174 p.
- Sánchez, P. A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. *In: Agroforestry a decade of development*. Eds. M. A. Stepler, P. K. R. Nair. ICRAF, Nairobi, Kenia. pp. 205-223.
- Soto P., M. L. 1992. Dinámica de la eficiencia de uso y balance de nutrimentos en sistemas agroforestales y en cultivos con enmiendas orgánicas en La Montaña, Turrialba, Costa Rica. Tesis Ms. Sc., CATIE. Turrialba, Costa Rica. 125 p.
- Tanaka, A. y Y. Yamaguchi. 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 124 p.
- Tieszen, L. L. 1983. Photosynthetic systems: Implications for Agroforestry. *In: Plant research and agroforestry*. Ed. P.A. Huxley. ICRAF, Nairobi, Kenia. pp. 323-346.
- Yamoah, C. F.; A. A. Agboola and G. F. Wilson. 1986. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry systems* (Holanda) 4: 247-254.

