

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 0185-2418

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 19 NÚM. 76 156 P. MÉXICO, D.F. JUL-DIC 1994



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS
DIVISION FORESTAL

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

COMITÉ EDITORIAL FORESTAL.

Presidente y Director de la Revista:	Ing. Carlos E. González Vicente.
Secretaria Técnica:	Sra. María de Jesús Barrios Núñez.
Vocales:	Ing. Gonzalo Novelo González. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, SARH.
	Dr. Daniel Piñero Dalmau. Centro de Ecología, UNAM
	Ing. Victor E. Sosa Cedillo. Dirección General de Protección Forestal, SFFS, SARH.
	Dr. Alejandro Velázquez Martínez. Programa Forestal, Colegio de Postgraduados.
	Ing. Avelino B. Villa Salas. Academia Nacional de Ciencias Forestales, A.C.
Coordinador Editorial:	Ing. Avelino B. Villa Salas.
Editores:	Dr. José Daniel Garza y Rueda. Lic. Javier Sosa Cedillo.

Los originales de los artículos de este número de la Revista **Ciencia Forestal en México**, fueron elaborados por el Dr. José Daniel Garza y Rueda y el Lic. Javier Sosa Cedillo, quienes contaron con la colaboración de la Sra. Ma. Benita Zuñiga Tovar.

Certificado de Licitud de Contenido Núm. 677

Certificado de Licitud de Título Núm. 1151

Número de la Serie Estándar Internacional (ISSN) : 0185-2418

CIENCIA FORESTAL

en México

VOL. 19

JUL-DIC 1994

NUM. 76

CONTENIDO

Pag.

PODA APICAL DE PLANTAS DE *Pinus ayacahuite* var. *velitchii* Shaw EN VIVERO.

Felipe Nepamuceno Martínez, Ma. del Pilar de la Garza López de L. y Rosalía Adela Cuevas Rangel.

3

ENSAYO DE PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Shower) EN LA ZONA NORTE DE JALISCO.

José Germán Garnica Flores.

15

DETERMINACIÓN DE LA ÉPOCA Y DOSIS DEL ESTERÓN 47M PARA EL CONTROL DEL MUÉRDAGO VERDADERO (*Psittacanthus calyculatus*) EN MEZQUITE (*Prosopis laevigata*)

Ignacio Vázquez Collazo.

27

UTILIZACIÓN DEL INDICE DE DENSIDAD DE REINEKE EN *Pinus douglasiana* EN ATENQUIQUE, JALISCO.

Jorge Valencia Vargas.

51

EFFECTO DE CINCO PROFUNDIDADES DE SIEMBRA EN LA EMERGENCIA DE *Pinus engelmannii* EN ALMÁCIGO.

José Angel Prieto Ruiz y Félix Rubio Chaidez.

77

ELABORACIÓN DE TARIFAS DE VOLÚMENES A PARTIR DE ANÁLISIS TRONCALES.

Mario Aguilar Ramirez.

89

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE PENSADO DEL TRIPLAY.

David Zavala Zavala.

103

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE MODELOS ECOLÓGICOS APLICABLES AL MANEJO DEL TERRITORIO.

Michel Godron.

133

ON SPATIAL STATISTICS IN FORESTRY

Matérn Bertil

141

CUERPO CONSULTIVO.

153

PODA APICAL DE PLANTAS DE *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw EN VIVERO.

Nepamuceno Martínez Felipe*
De la Garza López de Lara María del Pilar*
Cuevas Rangel Rosalía Adela*

RESUMEN

Con plantas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw en envases, a los dos años en vivero, se aplicaron tratamientos de poda apical que consistieron en dos variantes de corte (1/3 del último crecimiento y 1/4 de la altura total) y cinco fechas de corte (de abril de 1992 a febrero de 1993). Después de un año de crecimiento, los cortes apicales uniformaron el tamaño de las plantas y este efecto fue mayor con el corte de 1/4. También se provocó una disminución de la proporción parte aérea/parte radical (A/R) hacia valores de equilibrio cercanos a dos, sin diferencias significativas entre los tipos de corte y las fechas. Todos los tratamientos produjeron brotes subapicales y a los tres meses se pudo identificar la dominancia apical de alguno de ellos, proceso fisiológico que se hace más manifiesto conforme aumentó el tiempo después de la poda. Al transcurrir un año de realizada la poda, las plantas presentaron un brote plenamente identificado como dominante.

Palabras clave: Silvicultura, viveros forestales, poda apical, pinos, *Pinus ayacahuite*.

* Biólogos. Investigadores Titulares del CENID-COMEF, INIFAP, SARH.

ABSTRACT

With specimenes of *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shawn on containers, during two years on the forest nursery, were applied apical pruning treatments on two cut variables (1/3 of the last growth and 1/4 of total height), also five cut dates (from April, 1992 to February, 1993). After a growing year, the apical prunnings standarized the plants height, that effect was most important with the 1/4 cut. Also a disminution of proportional part aerial/radical (A/R) provoqued that the balance values almost reach 2, without significant differences between the dates and cut types. All treatments produced subapical shoots and after three months could be identified the apical dominance on some of them, the physiological proçess became more enfatic during the time after the pruning. One year after the pruning, the plants presented a dominant shoot totally identified.

Key words: Silviculture, forest nurseries, apical pruning, pines, *Pinus ayacahuite*.

INTRODUCCIÓN

En todos los viveros forestales dedicados a la producción de plantas para reforestación, siempre se han llevado a cabo distintas prácticas de cultivo, cuyos objetivos han sido los de mejorar la calidad de las plantas; tradicionalmente el efecto de estas prácticas se ha observado sobre la altura de las plantas y es solamente hasta tiempos mas recientes, que se ha reconocido y determinado el valor de otras importantes características, que son indicadores adecuados del crecimiento y estado biológicos.

Es en los viveros tecnificados y con elevada productividad, donde se han desarrollado los conceptos de "calidad de planta" y "planta tipo", los cuales se fundamentan sobre la premisa de que existen numerosas características biológicas que pueden ser manipuladas en el vivero, para producir intencionalmente una respuesta posterior en condiciones de campo. La "calidad de planta" es la condición óptima que se obtiene cuando todos los factores ambientales y condiciones de la misma, se manejan cuidadosamente para maximizar el crecimiento (Cleary *et al.* 1978)¹, con la observación de que cada especie tiene sus propios requerimientos para alcanzar sus crecimientos máximos. El concepto de "planta tipo" se refiere a aquellas características

¹Cleary, B. D.; R. D. Greaves and P. W. Owston. 1978. "Seedlings", pp. 63-97.

morfológicas y fisiológicas que pueden ser cuantitativamente asociadas con lo que sucede posteriormente en la reforestación o campo (Rose *et al.* 1990)².

Se ha determinado que en cuanto a la morfología de la planta, altura, diámetro y la proporción "parte aérea/parte radical" influyen la tolerancia a los colapsos ambientales. Una práctica cultural que modifica esta morfología es la poda apical. La poda apical es utilizada, según Mexal y Fisher (1984)³, para limitar el crecimiento en altura, mejorar la uniformidad en la cosecha, aumentar o modificar la proporción parte radical/parte aérea, facilitar la aplicación de fungicidas y mejorar los procesos de empaquetado, almacenamiento y plantación.

En *Pinus ponderosa*, desde hace ya varios años, Lansquist (1966)⁴ determinó que los efectos morfológicos de la poda apical en plantas a raíz desnuda de tres años, desaparecen un año después de realizada la plantación o un año y medio posterior a la poda, sin manifestarse efectos sobre el crecimiento. En *Pseudotsuga menziesii*, Duryea y Omi (1987)⁵ investigaron exhaustivamente los efectos morfológicos y fisiológicos de la poda apical, al establecer que esta poda debe ser continuada como tratamiento de cultivo en los viveros, pero que se requieren evaluaciones a largo plazo (más de dos años) para precisar los efectos totales sobre el crecimiento. La respuesta a la poda apical, de acuerdo con Mexal (1990)⁶, está en función de la cantidad de tallo removido y del estado fisiológico de las plantas en el vivero.

En México, los viveros forestales tradicionalmente no aplican podas apicales en las coníferas, y limitan este tratamiento a algunas especies de latifoliadas que han permanecido demasiado tiempo en el vivero. Una especie en la que la poda apical puede ser beneficiosa, es *Pinus ayacahuite*, debido a que crece con rapidez dentro del vivero, y puede alcanzar fácilmente alturas de más de 50 cm, con tallos que representan problemas potenciales de manejo, por lo que en el presente trabajo se propuso determinar en plantas de vivero de esta especie, los efectos morfológicos y fisiológicos de la poda apical.

²Rose, R.; W. C. Carlson and P. Morgan. 1990. "The Target Seedling Concept". pp. 1-8.

³Mexal, J. G. and J. T. Fisher. 1984. "Pruning loblolly pine Seedlings". pp. 75-83.

⁴Lansquist, K.B. 1966. "Top pruning of ponderosa pine". pp 3-8.

⁵Duryea, M. L. and S. K. Omi. 1987. "Top pruning Douglas-fir seedlings: morphology, physiology, and field performance". pp. 1371-1378.

⁶Mexal, J. G. 1990. "Target Seedling Concepts: Height and Diameter". pp. 17-35.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante los años de 1992 y parte de 1993, en el vivero forestal de Protectora de Bosques (PROBOSQUE) en Metepec, Mex. Las plantas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* utilizadas, crecieron durante todo el tiempo en envases de polietileno negro de cinco centímetros de diámetro por veinte centímetros de altura y fueron removidas de la platabanda original. El sustrato de crecimiento fue tierra de monte.

Los tratamientos de poda apical se hicieron en relación al estado fisiológico de las plantas, aplicándose en esta forma cinco fechas de poda (abril, junio, septiembre y noviembre de 1992, así como febrero de 1993). A su vez se ensayaron dos tipos o variantes de corte apical:

- a) Poda de 1/3 de la longitud del último crecimiento.
- b) Poda de 1/4 de la altura total.

La cantidad de tallo removido fue en promedio para todas las fechas, de 7.3 cm para la poda de 1/3 de la longitud del último crecimiento y 14.7 cm para la poda de 1/4 de la altura total. Los cortes se efectuaron con navaja de injertar (Figura N°1).

Aproximadamente 300 plantas fueron removidas de la platabanda y colocadas en cinco grupos de igual número, lo que correspondió a las cinco fechas de poda. En cada uno de los grupos y sobre 15 plantas se aplicaron cada uno de los dos tipos de corte apical, quedando el resto de las plantas como controles o testigos. La unidad experimental consistió de tres plantas, con tres repeticiones en un arreglo factorial.

Se realizaron evaluaciones aproximadamente tres meses después de las podas y en cada fecha se procesó una muestra de controles para obtener los pesos secos aéreos y radicales. En mayo de 1993 se llevó a cabo una evaluación final, para lo cual las plantas de todas las fechas fueron medidas en sus diámetros a la base del tallo, alturas o tamaños, longitudes y colocación de brotes subapicales y dominantes, así como los pesos secos de las partes aérea y radical. Los pesos secos se obtuvieron por secado en estufa a 75°C durante 48 horas, y con los datos obtenidos se calcularon las proporciones aéreas/radicales (A/R). Se aplicaron a los datos análisis de varianza (ANDEVA), y se hicieron determinaciones de frecuencias para la distribución de alturas.



Figura N° 1. Tipos de poda apical efectuados en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*.

RESULTADOS

Distribución de alturas

Las plantas no podadas (testigos o controles), alcanzaron para febrero de 1993 alturas con un intervalo de 51 hasta los 80 cm; la distribución de estas alturas se mostró muy heterogénea, con una media de 64 cm. Las dos variantes de poda aplicadas en abril de 1992, fueron efectivas en homogenizar la distribución de alturas y de acuerdo con los datos obtenidos en mayo de 1993 (un año después de la poda), las alturas tienden a ser más uniformes, y es la poda de 1/4 de la altura total la que induce una mayor uniformización, con una media de 52.5 cm. La poda de 1/3 del último crecimiento resulta un tratamiento menos drástico, ya que remueve una porción mucho más

pequeña de tallo y la media de altura es de 62.2 cm, muy cercana al tamaño de las plantas testigo o control (Figura N° 2).

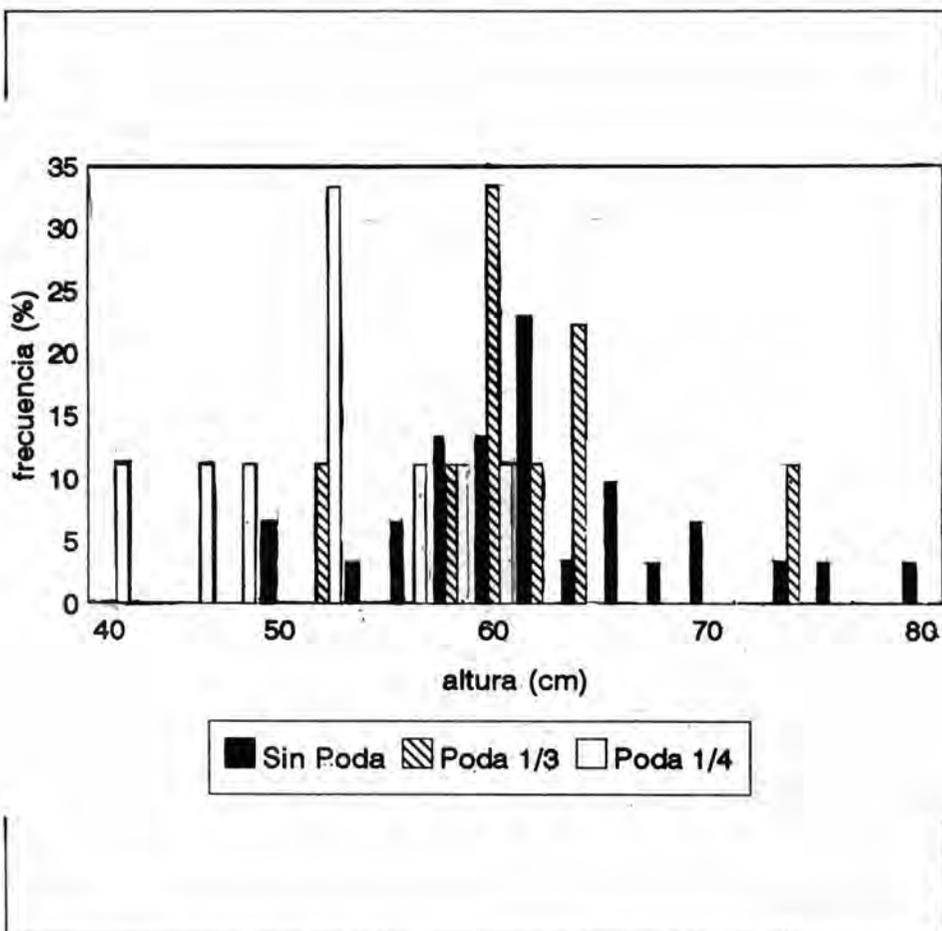


Figura N° 2. Distribución de alturas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con y sin poda apical.

La reactivación del crecimiento después de la poda, se inicia por la diferencia fisiológica y morfológica que experimentan los fascículos foliares cercanos al sitio del corte. La evaluación fenológica consigna que para todas las fechas y en las dos variantes de corte, tres meses después todos los tallos presentaban brotes subapicales en

crecimiento plenamente diferenciados; de estos brotes, algunos habían iniciado una colocación hacia una posición dominante, la cual se caracterizó morfológicamente por una colocación central y una longitud mayor; ésta figura morfológica se hace mas definida con el transcurso del tiempo. En la evaluación fenológica final (Cuadro N°1), un año después de las podas, se presentaron altos porcentajes de plantas con presencia de brotes plenamente definidos como dominantes, inclusive para la poda practicada en febrero de 1993 se detectó dos meses después la presencia definida de brotes dominantes; sin embargo en todas las fechas, la modificación morfológica causada por la poda apical es aún observable.

Tipo de poda	Fecha de poda	Tiempo postpoda (meses)	Presencia de brote dominante (%)		Long. brote dominante (cm)	Crecimientos (N°)	Brote sub-apical (N°)
			central	más largo			
1/3	Abr. 92	13	44	100	15.7	2	2
1/3	Jun. 92	11	66	44	11.3	1	3
1/3	Sep. 92	8	77	33	5.2	1	4
1/3	Nov. 92	6	22	66	3.4	1	4
1/3	Feb. 93	3	33	22	1.8	1	4
1/4	Abr. 92	13	55	66	12.4	2	3
1/4	Jun. 92	11	22	53	4.8	2	4
1/4	Sep. 92	8	66	44	3.3	1	4
1/4	Nov. 92	6	44	22	1.3	1	5
1/4	Feb. 93	3	33	0	0.8	1	4

Cuadro N° 1. Evaluación fenológica de las plantas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* después de la poda apical (hasta mayo de 1993).

En relación al número de crecimientos, solamente en la primera fecha, tanto en el corte de 1/3 de la longitud del último crecimiento, como el de 1/4 de la altura total, se presentaron dos flujos de crecimiento, asimismo se obtuvieron los brotes mas largos; esta configuración morfológica es asociada al mayor tiempo transcurrido de crecimiento.

Crecimiento de tallos (parte aérea) y raíces

En los cuadros N° 2 y 3 se presentan los promedios obtenidos en el crecimiento de tallos y raíces. En general, la poda de 1/4 de la altura total, modifica más drásticamente la morfología de las plantas debido a la mayor porción de tallo que se remueve y es la altura la característica más afectada, el análisis de varianza muestra diferencias significativas asociadas a los tipos y a las fechas de poda, también se detectó un efecto de interacción ($p < 0.01$).

En cuanto a la proporción parte aérea/parte radical (A/R), se consignó que los valores de A/R de 3.8 en los testigos o controles, son modificados a valores cercanos a dos en todos los tratamientos. No se determinaron diferencias significativas de A/R en relación a los tipos y fechas de poda. El peso seco de las raíces laterales y principales tampoco se vieron afectados por los tratamientos de poda.

Tipo de poda	Fecha de poda	Tiempo postpoda (meses)	Altura del tallo (cm)	Peso aéreo (g)	Diámetro del tallo (cm)	Rel. A/R	Peso raíz lateral (g)	Peso raíz principal (g)
1/3	Abr. 92	13	62.2a	20.2	0.94	2.8	4.5	2.6
1/3	Jun. 92	11	58.8a	16.6	0.99	1.9	6.4	2.6
1/3	Sép. 92	8	51.7b	17.7	0.97	2.1	5.9	2.4
1/3	Nov. 92	6	50.7b	14.5	0.92	2.2	4.6	1.9
1/3	Feb. 93	3	40.6d	18.4	1.06	1.8	7.0	3.0
1/4	Abr. 92	13	52.5b	16.4	0.87	2.2	5.1	2.4
1/4	Jun. 92	11	46.1c	15.2	0.93	2.0	5.4	2.5
1/4	Sép. 92	8	44.0cd	15.8	0.90	2.0	5.4	2.3
1/4	Nov. 92	6	41.1d	13.4	0.90	1.8	4.6	2.7
1/4	Feb. 93	3	40.3d	15.4	1.03	1.8	5.5	3.0
significatividad ANDEVA			**	*	ns	ns	ns	ns

ns = no significativo

* = significativo ($P < 0.05$); ** = altamente significativo ($P < 0.01$)

Se utilizó la prueba del BLS (alfa = 0.05)

Error estándar de las medias de altura de tallo = 1.39

Cuadro N° 2. Crecimiento aéreo y radicular de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* después de la poda apical (hasta mayo de 1993).

Fecha	altura del tallo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Rel. A/R
Abr. 92	54.6	0.65	3.8
Jun. 92	53.9	0.71	3.1
Sep. 92	56.3	0.73	2.6
Nov. 92	54.4	0.75	1.9
Feb. 93	56.6	0.88	2.6
May. 93	70.3	1.07	2.0

Cuadro N° 3. Crecimiento aéreo y radicular de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* testigo o control (sin poda).

Para propósitos comparativos se determinó el ciclo de crecimiento de tallo y raíz de las plantas testigo, a través de la valoración de los pesos secos durante el tiempo de estudio (Figura N° 3). Se resaltó que de noviembre de 1992 a febrero de 1993 se manifestó un fuerte incremento de la tasa de peso seco aéreo y posiblemente este mismo incremento debió de ocurrir en las plantas podadas. En general, el ciclo de crecimiento correspondió a los distintos flujos que presentaron en el tiempo el tallo y la raíz.

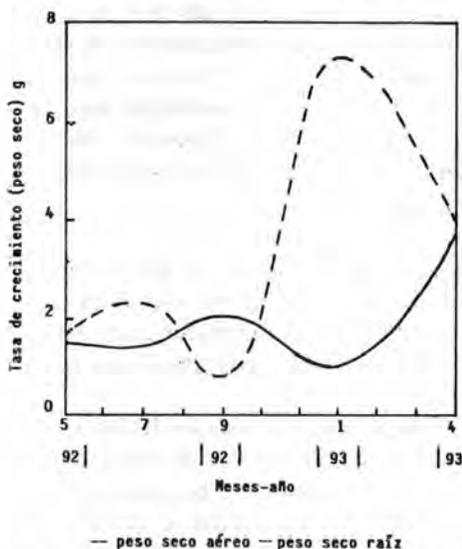


Figura N° 3. Ciclos de crecimiento en plantas sin podar (testigos o controles) de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*.

DISCUSIÓN

Las plantas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* respondieron a la poda apical con una rápida reactivación del crecimiento, que se continuó hasta la formación de brotes dominantes bien definidos. Esta respuesta se relaciona estrechamente con las condiciones ambientales, que determinaron los ciclos de crecimiento. En climas con una estación fría, las especies de coníferas muestran un patrón característico de crecimiento tanto para la raíz como para la parte aérea o tallo, lo que hace que la misma forma proporcional aérea/radical (A/R) se modifique respectivamente (Cleary *et al.*, *op. cit.*). Durante el crecimiento activo de la raíz, la proporción decrece, y durante el crecimiento activo del tallo la proporción aumenta. La poda apical, al eliminar tallos desproporcionadamente largos, por lo general hace disminuir la proporción A/R.

Los datos de A/R de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* sin podar y que estaba creciendo en la platabanda, al inicio del experimento se mostraron altos o desproporcionados (A/R=3.8), esta condición puede asociarse a que algunas raíces alcanzaron el suelo fuera del envase, lo que provocó excesivos alargamientos de los tallos, de hecho, la gráfica de tasa de crecimiento (Figura N°3) de las plantas testigo o control exhibe el efecto inicial de la remoción de las platabandas, y hasta la quinta fecha (noviembre de 1992), cuando se manifestó un fuerte incremento de los pesos secos, efecto que se asoció a una mejoría en la procuración de los riegos en el vivero. Los valores de A/R en las cinco fechas y en los dos tipos de corte disminuyeron en relación a los valores de las plantas sin podar, y se situaron en cifras cercanas a dos, lo que significó una relación balanceada, que puede ser una mejor condición para la plantación, aunque existieron controversias sobre la utilidad de la proporción A/R (Lavender, 1984)⁷. Lo anterior hace importante señalar que no debe usarse solamente el valor de A/R para caracterizar la calidad de plantas.

Un efecto de la poda apical es la uniformización de los tamaños de las plantas. Este efecto se mantuvieron en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* después de un año en los dos tipos de corte. Mexal y Fisher, *op. cit.* consignaron para los pinos del sureste de Estados Unidos, una mejoría en la distribución de alturas, por efecto de la poda apical.

En cuanto a la fenología, se observó que en todas las fechas y en las dos variantes de corte se indujeron brotes nuevos. La dominancia de algún brote se manifestó en las primeras fechas, al inicio y durante la estación de crecimiento; a su vez los brotes subapicales aumentaron al final de la estación y durante los meses fríos. En

⁷Lavender, D. P. 1984. "Plant physiology and nursery environment interactions affecting seedling growth". pp. 133-140.

Pseudotsuga menziesii, Duryea y Omi, *op. cit.* determinaron que las podas al inicio de la estación de crecimiento (podas tempranas) aumentaron el porcentaje de brotes dominantes múltiples, sin embargo, este porcentaje disminuyó en la segunda estación de crecimiento, a su vez, las podas tardías (cuando las yemas se colocaron) aumentaron los brotes dominantes múltiples. En *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* después de un año, la modificación morfológica causada por la poda apical aún es observable, aunque el crecimiento del brote dominante tendió a hacer desaparecer la cicatriz. Se espera que en la plantación, las diferencias morfológicas causadas por la poda desaparezcan completamente.

Los efectos benéficos de la poda apical, pueden ser analizados en dos aspectos. El primero es el de la uniformización de los tamaños o alturas, lo cual se traduce en un mejor manejo de las plantas en el vivero; el segundo aspecto, es el referente a la mejoría de la adaptación y sobrevivencia en el campo o terreno de plantación. En este sentido cabe hacer mención, que las prácticas de cultivo en el vivero pueden tener implicaciones genéticas, por el hecho de que modifican la estructura genética inicial de un lote de semillas, al producir finalmente un lote de plantas con una cierta estructura morfo-fisiológica o calidad de planta, por lo que una recomendación general sería la de realizar en el vivero, prácticas de cultivo que maximicen la adaptación y sobrevivencia en el campo, con mínimos cambios en la constitución genética del lote original de semillas (Campbell y Sorensen, 1984)⁸.

BIBLIOGRAFÍA

- Campbell, R.K. and F. C. Sorensen. 1984. "Genetic implications of nursery practices". In: Duryea, M. L. y T. D. Landis (eds.). 1984. Forest Nursery Manual: Production of bare root seedling. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. The Hague/Boston/Lancaster, for Oregon State University. pp. 183-191.
- Cleary, B. D., R. D. Greaves and P. W. Owston. 1978. "Seedlings". In: Cleary, B. D., R. D. Greaves y R. K. Hermann (Eds.). Regenerating Oregon's Forest. Oregon State University. pp. 63-97.

⁸Campbell R.K. y F. C. Sorensen. 1984. "Genetic implications of nursery practices". pp. 183-191.

- Duryea, M. L. and S. K. Omi. 1987. "Top pruning Douglas-fir seedlings: morphology, physiology, and field performance" *Can. J. For. Res.* 17: 1371-1378.
- Lanquist, K.B. 1966. "Top pruning of ponderosa pine". *Tree Planters Notes* 79: 3-8.
- Lavender, D. P. 1984. "Plant physiology and nursery environment interactions affecting seedling growth". *In: Duryea, M L. and T.L. Landis (eds.) 1984. Forest Nursery Manual: production of bare root seedling.* Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. The Hague/Boston/Lancaster, for Oregon State University. pp. 133-140.
- Mexal, J. G. and J. T. Fisher. 1984. "Pruning loblolly pine Seedlings". *In: Proceedings 1984 Southern Nursery Conferences.* USDA, Forest Service, Southern Region. Atlanta, GA. pp. 75-83.
- Mexal, J. G. 1990. "Target Seedling Concepts: Height and Diameter". *In: Rose, R., S. J. Campbell and T. Landis (eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations.* pp. 17-35.
- Rose, R., W. C. Carlson and P. Morgan. 1990. "The Target Seedling Concept". *In: Rose, R., S. J. Campbell and T. Landis (eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations.* pp. 1-8.

NOTA: Este trabajo se desarrolló como una colaboración entre Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE) y el INIFAP.

ENSAYO DE PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Shower) EN LA ZONA NORTE DE JALISCO.

Garnica Flores José Germán*

RESUMEN

El presente trabajo informa sobre los resultados de una investigación sobre la predicción del peso de hoja seca de arbustos de orégano (*Lippia berlandieri* Shower), en áreas semiáridas bajo aprovechamiento de los municipios de Colotlán, Totatiche y Santa María de los Ángeles, de la zona norte del estado Jalisco, México. Se ensayaron 683 plantas localizadas en 20 sitios de muestreo de 80 m² (distribuidos completamente al azar), a cada planta se le midió su altura, el diámetro de cobertura y el peso de hoja seca.

Con las variables independientes altura y diámetro de cobertura, tanto en forma natural como con algunas transformaciones, se construyeron y ensayaron varios modelos de regresión para conseguir el que mejor estimara la parte de biomasa correspondiente al peso de hoja seca del arbusto.

Las pruebas estadísticas de los resultados indicaron que con la transformación logarítmica de la variable dependiente (peso de hoja seca) y la variable diámetro de cobertura (independiente) sin transformación, se obtuvo el modelo más conveniente:

$$(\text{Ln (PHS)} = 1.4514 + 0.30408 \text{ D}).$$

Con este modelo se construyó una tarifa de peso de hoja seca. La variable altura por sí sola, ni en combinación con el diámetro de cobertura, no es buen estimador del peso de hoja seca de arbustos de orégano, ya que en general se aumentó la variación y en el mejor de los casos, no se mejoraron considerablemente los modelos.

Las características propias de la región estudiada y de la especie, restringen el uso de la tarifa obtenida a esta zona o en áreas similares. No obstante la metodología que se

*Investigador Titular del Campo Experimental los Colomos, CIR-Pacífico Centro, INIFAP, SARH.

presenta puede servir de base para el desarrollo de tablas y/o tarifas en otras regiones, incluso podría utilizarse en otras especies o productos y no solo de las zonas semiáridas.

Palabras clave: Orégano, *Lippia berlandieri*, tablas de producción, productos forestales no maderables, Jalisco.

ABSTRACT

The present paper informs about the research results on the prediction of oregano (*Lippia berlandieri* Shower) dry leaf weight bushes on semi-desertic areas under exploitation of Colotlán, Totatiche y Santa María de los Angeles municipalities, at the northern part on Jalisco, México. 683 plants were tested distributed on 20 sampling plots of 80 m². Height, coverage diameter and dry leaf weight was measured on each plant.

With independant variables of height and diameter coverage, natural and with some transformations, several regression models were developed and tested to find the most adequate to estimate the biomass part correspondent to the dry leaf weight of bushes.

The statistical tests of the results, showed that with the logarithmic transformation of dependant variable (dry leaf weight) and the coverage diameter variable (independant) without transformation, was obtained the adequate model:

$$(Ln (PHS) = 1.4514 + 0.38408 D).$$

With this model was established a dry leaf weight table. The height variable itself or combined with coverage diameter was not a good estimator of the dry leaf weight because the variation increased and almost in all situations the models were not better.

The proper characteristics of the studied specie and region, restrict the use of obtained table to the area were it grows or in a similar kind. However the methodology that is presented could be useful to develop other tables with application in other regions, species or products.

Key words: Oregano, *Lippia berlandieri*, production tables, non-wooded forest products, Jalisco.

INTRODUCCIÓN

La producción de materia prima, dentro de los recursos forestales en México, puede diferenciarse en maderables y no maderables. A éstos últimos, aunque son una fuente de trabajo y de satisfactores para un buen número de comunidades rurales, no se les ha dado la debida importancia (Romahn, 1984)¹. Dentro de éstos recursos tenemos a la vegetación de zonas áridas y semiáridas, que a pesar de cubrir el 40% de la superficie del país (Ruiz, Oliva y Ham, 1982)², no todas sus especies se han atendido con la profundidad requerida. Un caso específico es el del orégano (*Lippia berlandieri*), especie que crece en la zona norte del estado de Jalisco, en una superficie estimada de 45 000 Ha, la cual ocupa uno de los primeros lugares de producción en el país.

El aprovechamiento del orégano se realiza por campesinos cuyas actividades agrícolas y/o ganaderas, dadas las condiciones semidesérticas, les reditúan muy poco, implicando una situación económica precaria. Por lo que el orégano representa una importante fuente de ingresos adicionales. Esta ayuda podría incrementarse si, por un lado, se evitara el gran intermediarismo que existe, y por otro, se hiciera un replantamiento sobre la forma como se realizan los aprovechamientos de esta especie, ya que actualmente se carece de base técnicas; este replantamiento se debe soportar en la conservación del recurso.

Una de las bases relevantes para el buen aprovechamiento de cualquier recurso, es su evaluación cuantitativa y cualitativa. No obstante de que el orégano se ha aprovechado desde hace mucho tiempo, no se ha definido una metodología para evaluarlo. Las estimaciones de productividad y biomasa, actualmente las hacen los técnicos forestales a través de las cosechas que se realizan año tras año, lo cual puede llevar a la destrucción del recurso. CONAZA (1976)³, señala que dichos aprovechamientos deben basarse en el conocimiento del potencial, la dinámica y capacidad de recuperación del recurso, debido a que los ecosistemas de las zonas áridas y semiáridas son muy frágiles y su equilibrio es fácilmente alterado por la intervención del hombre. Sin embargo, Ruiz, Enriquez y Oliva (1982)⁴, *cfr.* (Revista Ciencia Forestal N° 39) señalan que se ha encontrado muy poca información referida a la temática de inventarios de especies y/o productos de la vegetación desértica.

¹Romahn de la V. C., F. 1984. Principales productos forestales no maderables de México.

²Ruiz A., M.; R. Oliva G. y J. Ham T. 1982. "Ensayo de una metodología para elaborar una tabla de rendimiento de peso de hoja seca y peso de fibra seca de datilillo (*Yucca valida*)". 45-64.

³CONAZA. 1976. Informe de actividades 1972-1976.

⁴Ruiz A., M.; M. Enriquez R. y R. Oliva G. 1982. "Ensayo de cinco esquemas de muestreo aplicados al inventario de datilillo (*Yucca valida*) y cardón (*Pachysereus pringlei*)". 23-43.

Por lo anterior y siendo el orégano una especie de importancia comercial en la zona norte de Jalisco, se llevó a cabo el presente trabajo, con el objetivo de establecer una metodología general para estructurar una tabla y/o tarifa de rendimiento de peso de hoja seca de arbustos de orégano, en base a características de la planta simples de medir, como son su altura y diámetro de cobertura.

ANTECEDENTES

Mercado

El uso más común del orégano es como condimento en la preparación de gran variedad de platillos y conservas en muchos países del mundo. En México además de su uso en la alimentación, es empleado como remedio casero, ya sea como té o agua de uso para la tos, padecimientos de los riñones, cólicos y en elaboración de infusiones para el control de la fiebre y enfermedades de la vías respiratorias (CONASUPO, 1985)⁵.

En Estados Unidos de América el orégano también es industrializado y se utiliza en la licorería, perfumería, para linimentos antirreumáticos, pomadas contra dermatitis, etc. (CONASUPO, *op. cit.*).

En México sólo se consume el 10% de la producción nacional, el resto se exporta en forma esporádica o continua a varios países, tales como: Estados Unidos de América, Argentina, Cuba, Canadá, Colombia, Italia, Japón, Puerto Rico, Alemania, Panamá, Brasil y el Reino Unido.

Estados Unidos es el principal importador con casi el 50% del volumen las exportaciones del país (CONASUPO, *op. cit.*).

En cuanto a la oferta, aunque existen varios países productores de orégano, la mayor parte del total de la oferta mundial (93.7%) la cubren Grecia (con el 22.5%), Turquía (33.2%) y México (38%) (CONASUPO, *op. cit.*). Sin embargo, debido al accidente nuclear sucedido en Chernobyl (Ucrania), Estados Unidos estableció una veda a las importaciones de Grecia y Turquía, lo cual traerá como consecuencia (mientras dure la veda), una mayor demanda del orégano mexicano. En México, los estados que cuentan

⁵CONASUPO. 1985. Proyecto para la instalación de una planta beneficiadora y empaquetadora de orégano en Colotlán, Jalisco.

con "áreas oreganeras" importantes, donde la especie representa cierto nivel de comercialización, son: Jalisco, Durango, Zacatecas, Chihuahua, Queretaro, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Baja California Sur, Guanajuato, Tamaulipas y Coahuila.

Evaluación de especies desérticas

El manejo adecuado de los recursos renovables implica la necesidad de conocer su cuantía, ubicación y características (Medina, 1982)⁶. *cfr.* (**Revista Ciencia Forestal N° 37**).

En relación a la vegetación y especies útiles del desierto mexicano, existe abundante literatura sobre aspectos botánicos, taxonómicos, fotoquímicos, etc.; sin embargo, se ha encontrado muy poca información sobre inventarios de especies y su producción. Los pocos intentos que se han realizado carecen de uniformidad de criterios en cuanto a las técnicas de muestreo, el tipo y precisión de los datos a generar, los parámetros a derivar y el marco en general de los resultados (Ruiz, Oliva y Ham, *op. cit.*).

Evaluación del orégano

La investigación sobre diferentes aspectos de la técnicas de inventario de las poblaciones silvestres de orégano es relativamente reciente, por lo que en México hay muy poca información confiable sobre la superficie que cubre el orégano, su potencial productivo, su calidad, la ubicación de los rodales silvestres, el ritmo de crecimiento del follaje y las localidades de mayor producción; lo cual es en sí, un problema que tiene dos componentes: el primero se refiere a la aplicación de un método de inventario que proporcione la información anterior a nivel local, regional y nacional, y el segundo, al desarrollo de investigaciones que incidan en la elaboración de un sistema práctico que proporcione dicha información con cierto nivel de confiabilidad (Ruiz, 1985)⁷.

Estimación de biomasa

Turk *et al.* (1976)⁸, definen biomasa como "la masa total de materia orgánica presente en un momento determinado en un ecosistema". Para estimar la biomasa, en general

⁶Medina B., R. 1982. "Técnicas usadas en los inventarios forestales de México", 46-60.

⁷Ruiz A., M. 1985. Consideraciones generales sobre el sistema de inventario del orégano y los avances de la investigación en algunas de sus fases.

⁸Turk, A.; J. Turk; J.T. Wittes y R. Wittes. 1976. Tratado de Ecología.

existen dos métodos: el directo que implica la cosecha y destrucción del recurso, y el indirecto que se menciona enseguida.

González *et al.* (1980)⁹, indican que este último se realiza a través del establecimiento de una relación entre medidas de la planta, fácilmente obtenibles y la biomasa, técnica que se conoce como "análisis dimensional" y que se basa en la metodología de regresión y correlación. Caballero (1975)¹⁰ señala que aunque existen varios antecedentes en la aplicación de esta técnica, el más conocido en el ámbito forestal es en la elaboración de tablas o tarifas de volumen para árboles, con las que por medio del conocimiento de la altura junto con el diámetro normal, o de únicamente el diámetro normal, puede predecirse el volumen de madera que contiene un árbol dado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en áreas en aprovechamiento en la zona norte de Jalisco, la cual es una de las "regiones oreganeras" más importantes del país. La colecta de muestras se hizo en los tres municipios que se indican enseguida: Totatiche, Colotlán y Santa María de los Ángeles, en los que se concentra una gran actividad de recolección de orégano.

Geográficamente el área de estudio se ubica aproximadamente entre los meridianos 103° 11' y 103° 26' longitud oeste y los paralelos 22° 02' y 22° 17' latitud norte.

Descripción general del área de estudio

En esta zona se encuentran, según la clasificación de Köppen, climas secos o desérticos, muy cálidos, semicálidos y templado húmedo. Su topografía es accidentada, con la mayor frecuencia de altitudes entre los 1 200 msnm (SPP, 1981a)¹¹.

⁹González M., F.; A. Castillo; G. R. Durán; C. Martínez del R. y J. M. Quintanilla. 1980. "Estimaciones de biomasa a partir de la altura y la cobertura de las plantas xerófilas", 416-420.

¹⁰Caballero D., M. 1983. Estadística práctica para dasonomos.

¹¹Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981a. Atlas Nacional del Medio Físico.

La vegetación predominante es el matorral subtropical donde destacan el huizache (*Acacia* sp.), el casahuate (*Ipamea* sp.), el nopal (*Opuntia* sp.) y algunos pastos (*Sporobolus* sp. y *Aristida* sp.). En términos generales la litología de la zona esta constituida por rocas ígneas extrusivas básicas y ácidas (SPP. 1981b)¹².

Elección de muestras

Usando como premuestreo la información de un trabajo hecho en 1984 en esta misma zona, y considerando el peso de hoja seca de los arbustos muestreados, la varianza de los datos, junto con un nivel de significancia al 99% y una desviación con respecto a la media de 3 gramos, se determinó un tamaño de muestra de 439 plantas. Considerando afianzar más la representatividad del muestreo, el tamaño de muestra se estableció en aproximadamente 600 plantas.

La unidad muestral fueron los arbustos de orégano, sin embargo, dadas las dificultades prácticas que implicaría el muestrear a éstos en forma individual repartidos en una región tan amplia, se consideró conveniente trabajar con sitios de muestreo. La forma de éstos fue definida en base a su facilidad de trazo, siendo la circular la más indicada para este tipo de vegetación. De acuerdo a experiencias en otros trabajos de las zonas áridas, el tamaño de los sitios fue de 80 m².

En el mismo trabajo de premuestreo, se utilizaron sitios de 80 m², los cuales arrojaron en promedio 30 plantas. Considerando el tamaño de la muestra de aproximadamente 600 plantas, se determinó suficiente muestrear 20 sitios de 80 m².

Estos sitios fueron ubicados en tres "áreas oreganeras". En base a las características observadas del área objeto de estudio, se decidió utilizar el muestreo simple al azar.

Mediciones de campo

Una vez ubicados los sitios de muestreo en mapas topográficos, se procedió a su localización en el terreno. Seguido de esto se delimitaron, para lo cual se usó un lazo de 5.046 m que corresponde al radio de un círculo de 80 m². A todos los arbustos de orégano que se localizaron dentro de los sitios de muestreo se les midió su altura y el diámetro de cobertura.

Para la medición de altura se tomo desde la base del arbusto hasta el nivel mas alto de la mayoría de las ramas. Se llamó "cobertura de la planta" al área del terreno que es

¹²Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981b. Síntesis Geográfica de Jalisco.

abarcada por las proyecciones de los contornos del arbusto, visto en forma vertical de arriba hacia abajo. Como "diámetro de cobertura" se tomó el promedio entre el diámetro mayor y el menor de la cobertura de la planta.

Peso de la hoja seca

A cada una de las plantas muestreadas se les quitaron las hojas y en forma separada se colocaron en bolsas de plástico con su respectiva identificación. Posteriormente las hojas se secaron al aire libre. Ya secas se limpiaron de ramas e impurezas. Las mediciones del peso de las muestras se hicieron en una báscula eléctrica, aproximándose hasta décimas de gramo.

Análisis de la información

El problema esencial del presente trabajo, fue el de encontrar una ecuación que hiciera posible estimar el peso de hoja seca (variable dependiente) de los arbustos de orégano, en función de su altura y/o diámetro de cobertura (variables independientes). Para conseguir esto se probaron mas de cuarenta modelos estadísticos, creados a partir de diferentes combinaciones y transformaciones de las variables.

Para la selección del modelo que mejor se ajustara a las observaciones y por lo tanto estimara mejor el peso de hoja seca, se aplicaron los criterios siguientes:

- Coeficiente de correlación (r).
- Error típico o estándar de estimación
- Cuadrado medio del error.
- Significancia de la estimación ("F" de Fisher)
- Análisis de residuales.
- Utilidad práctica.

Para la obtención de los estadísticos necesarios para el análisis de los modelos, se hizo uso del cómputo electrónico, procesando los datos en una computadora ALPHA MICRO 1030.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número total de plantas muestreadas fue de 683, con un promedio de 34 plantas por sitio. El promedio de altura fue de 91.4 cm, con un rango que osciló entre 30 y 250 cm. La media del diámetro de cobertura fue de 62.8 cm, con un rango que varió desde los 10 hasta los 90 cm. El peso de hoja seca promedio por planta fue de 44.26 gramos, oscilando entre 2.4 y 320 gramos, encontrándose el mayor número de plantas entre los 10 y 50 gramos.

De acuerdo al análisis de los modelos ensayados, se observó que en estos hubo una tendencia clara de que, los modelos que consideraban tanto al diámetro de cobertura como a la altura fueron los que mejor estimaron el peso de hoja seca, en cada una de las diferentes situaciones. Aunque estos presentaron prácticamente iguales resultados que los modelos que tan sólo consideraban el diámetro de cobertura. Siendo, por lo tanto, ésta última variable, por sí sola, el mejor estimador del peso de hoja seca. La variable altura presentó en todos los casos una correlación muy baja.

Finalmente el modelo mas conveniente que se encontró, es el que considera la transformación logarítmica de la variable dependiente (peso de hoja seca), manteniendo la variable independiente (diámetro de cobertura) sin transformación. El coeficiente de correlación fue de 0.85, siendo su ecuación la siguiente:

$$\ln(\text{PHS}) = 1.4514 + 0.30408 D$$

Ya que solo se usaría una variable independiente se desarrolló una tarifa, es decir una tabla de una entrada, la cual se denominó "Tarifa de hoja seca de orégano" (Cuadro N° 1). Para utilizarla el valor del diámetro de cobertura, de un arbusto dado, se ubica en la categoría diamétrica que le corresponda, obteniéndose directamente el peso de hoja seca estimado.

Categoría diamétrica* (cm)	Peso de hoja seca (g)	Categoría diamétrica* (cm)	Peso de hoja seca (g)
5	4.968	105	104.004
10	5.783	110	121.085
15	6.733	115	140.973
20	7.839	120	164.127
25	9.127	125	191.083
30	10.626	130	222.467
35	12.372	135	259.006
40	14.404	140	301.546
45	16.769	145	351.073
50	19.524	150	408.734
55	22.730	155	475.865
60	26.464	160	554.022
65	30.810	165	645.016
70	35.871	170	750.955
75	41.762	175	874.294
80	48.622	180	1.017.890
85	56.607	185	1.185.071
90	65.905	190	1.379.710
95	76.729	195	1.606.317
100	89.332	200	1.870.142

Cuadro N° 1. Tarifa de peso de hoja seca, obtenida a partir de la ecuación:

$Ln (PHS) = 1.4514 + 0.30408 D$, para arbustos de orégano en la zona norte de Jalisco.

CONCLUSIONES

En base al estudio realizado en áreas bajo explotación, se tienen las conclusiones siguientes:

1) En la zona norte de Jalisco para la predicción del peso de hoja seca de orégano, es suficiente conocer el diámetro de cobertura de los arbustos.

* Diámetro de cobertura.

- 2) La variable altura, por sí sola, no es buen estimador del peso de hoja seca de arbustos de orégano.
- 3) La relación de la altura y el diámetro de cobertura en la estimación del peso de hoja seca, presentó resultados prácticamente iguales a los de la relación diámetro-peso de hoja seca.
- 4) Con la tarifa de peso de hoja seca de orégano calculada en el presente trabajo, podrán hacerse estimaciones del potencial de este recurso en áreas similares a la del estudio.
- 5) La metodología que se presenta puede servir de base para el desarrollo de tablas y/o tarifas en otras regiones, incluso podría utilizarse en otras especies o productos y no solo de las zonas semiáridas.

BIBLIOGRAFÍA

- Caballero D., M. 1983. Estadística práctica para dasónomos. Dir. Gral. Inv. Nal. Ftal. Publicación No. 26. México, D. F. 195 p.
- CONASUPO. 1985. Proyecto para la instalación de una planta beneficiadora y empacadora de orégano en Colotlán, Jalisco. Fideicomiso Comisión Promotora para el Mejoramiento Social. México, D.F. 230 p.
- CONAZA. 1976. Informe de actividades 1972-1976. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Mexico, D. F. 98 p.
- González M., F.; A. Castillo; G. R. Durán; C. Martínez del R. y J. M. Quintanilla. 1980. "Estimaciones de biomasa a partir de la altura y la cobertura de las plantas xerófilas". General Technical Report WO-28:416-420. Developing Cost-Efficient Service. U.S.A.
- Medina B., R. 1982. "Técnicas usadas en los inventarios forestales de México". INIF. Ciencia Forestal 37 (7): 46-60. México, D. F.

- Romahn de la V., C.F. 1984. Principales productos forestales no maderables de México. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Publicación especial. México. 516 p.
- Ruiz A., M. R. Oliva G. y J. Ham T. 1982. "Ensayo de una metodología para elaborar una tabla de rendimiento de peso de hoja seca y peso de fibra seca de datilillo (*Yucca valida*)". INIF. Ciencia Forestal 38(7):45-64. México, D. F.
- Ruiz A., M.; M. Enriquez R. y R. Oliva G. 1982. "Ensayo de cinco esquemas de muestreo aplicados al inventario de datilillo (*Yucca valida*) y cardón (*Pachysereus pringlei*)". INIF. Ciencia Forestal 39 (7) : 23-43. México, D. F.
- Ruiz A., M. 1985. Consideraciones generales sobre el sistema de inventario del orégano y los avances de la investigación en algunas de sus fases. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Inédito.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981a. Atlas Nacional del Medio Físico. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. México, D. F. 224 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981b. Síntesis Geográfica de Jalisco. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística e Informática. México, D. F. 306 p.
- Turk, A., J. Turk; J. T. Wittes y R. Wittes. 1976. Tratado de Ecología. Nueva Editorial Interamericana. México. 453 p.

DETERMINACIÓN DE LA ÉPOCA Y DOSIS DEL ESTERÓN 47M PARA EL CONTROL DEL MUERDAGO VERDADEDO (*Psittacanthus calyculatus*) EN MEZQUITE (*Prosopis laevigata*)

Vázquez Collazo Ignacio*

RESUMEN

El experimento se estableció en el Ejido Puentecillas, cercano a la ciudad de Guanajuato, con la finalidad de determinar la mejor época y dosis de aplicación del herbicida Esterón 47M, para el control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus calyculatus*) en mezquite (*Prosopis laevigata*). Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, donde la parcela principal fue la época de aplicación (verano y primavera) y la parcela secundaria fue la dosis del herbicida Esterón 47M (200, 300, 400, 500, 700 ml/100 litros de agua y el testigo); la parcela útil fue de un árbol y el experimento contó con tres repeticiones; se hizo una sola aplicación, preparándose 50 litros de solución, asperjando porciones iguales en las tres repeticiones. Las evaluaciones se llevaron a cabo a los 6 y 12 meses para cada una de las épocas de aplicación, considerando el número de muérdagos verdaderos afectados en cada árbol o repetición. Los resultados mostraron que existe diferencia en las tres fuentes de variación (época, dosis e interacción), siendo la mejor época la de primavera que es cuando éste muérdago inicia su crecimiento vegetativo y el herbicida se concentra en los tejidos jóvenes, donde el producto muestra sus mayores efectos al interferir con los procesos normales del crecimiento. Las dosis más eficientes de Esterón 47M para el

* Investigador Titular del Campo Experimental Forestal y Agropecuario Uruapan, CIR Pacifico Centro, INIFAP, SARH.

control del muérdago verdadero en mezquite son las de 300, 400 y 700 ml/100 de agua.

Palabras clave: Control químico, herbicidas, Esterón 47M, muérdago verdadero (*Psittacanthus calycalatus*), mezquite (*Prosopis laevigata*), Guanajuato.

ABSTRACT

This study was settled down in the in the Puentecillas common land, near to the city of Guanajuato, with the object of determining the better time and dose of application of the Esteron 47M herbicide, for the control chemical of the true mistletoe (*Psittacanthus calyculatus*) in mesquite (*Prosopis laevigata*) An experimental design of divided parcels was utilized, where the principal parcel was the time of application (summer and spring) and the secondary parcel was the dose of the Esteron 47M herbicide (200, 300, 400, 500 , 700 ml/100 lts of water and the witness); the useful parcel was from a tree and the experiment relied on tree repetitions; and only application was made, getting ready 50 lts from solution sprinkle same portions in the tree repetitions. The evaluations where carried out 6 and 12 months for each one of times os application, considering the number of mistletoe affected in each tree or repetition. The outputs showed that difference in the tree fountains of variation (time, exists dose and interaction), being the better time the of spring that it is when the mistletoe begins their vegetative growth and the herbicide majors in the young tissue, where the product shows their senior goods upon interfering with the normals processes of the growth, the dose most efficient of Esteron 47M for the control of the true mistletoe in mesquite is the of 300, 400 and 700 ml/100lts of wter.

Words key: Chemical control, herbicides, Esteron 47M, true mistletoe (*Psittacanthus calycalatus*), mesquite (*Prosopis laevigata*), Guanajuato.

INTRODUCCIÓN

En México, los mezquites y los huizaches ocupan una superficie aproximada de 2.8 millones de ha (SARH, 1992)¹; sobresalen en superficie cubierta por estas especies, los

¹SARH, 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión.

estados de Sonora (773 600 ha), Tamaulipas (749 375 ha) y Guanajuato (639 720 ha) (Caballero y Avila, 1989)²; estos estados tienen una importante producción maderera de esta especie y el estado de Guanajuato ocupa el cuarto lugar en este rubro; los principales usos de la madera de mezquite son el carbón, leña de raja, brazuelo, postes para cerca, madera aserrada, muebles, hormas para zapato y parquet. Uno de los principales problemas patológicos de estos árboles son los muérdagos verdaderos del género *Psittacanthus*, que cuando la infección es fuerte llegan a matar al árbol; aún cuando el problema es serio, existe sólo un trabajo en México, sobre el control del muérdago verdadero (*Psittacanthus calyculatus*) en mezquite (*Prosopis laevigata*), por lo que el objetivo del presente experimento es el de determinar la mejor época y dosis de aplicación del herbicida Esterón 47M, para el control químico de esta planta parásita.

ANTECEDENTES.

El bosque de mezquite es una comunidad vegetal que se encuentra muy difundida en México, se le puede encontrar desde el nivel del mar hasta por arriba de los 2 000 m de altitud y prospera bien en los climas BW, Ac y Cw (Rzedowski, 1978)³. Sólo se reportan dos especies de mezquite: *Prosopis laevigata* y *P. juliflora*; la primera se encuentra distribuida en la mesa central y norte del país, mientras que la segunda se localiza en las zonas costeras; por otro lado, *P. laevigata* es una especie que normalmente tiene crecimiento arbóreo, alcanzando portes hasta de 18 m y un diámetro normal (DAP) de 95 cm (McVaugh, 1987)⁴. Presenta una sola floración y sus flores tardan en madurar aproximadamente 110 días, con una producción media de 16.3 semillas por fruto (Cantú, 1990)⁵.

Los muérdagos son muy abundantes en México, se tienen reportados 9 géneros y más de 151 especies en casi todos los ecosistemas naturales (Cházaro *et al.*, 1993)⁶; uno de los géneros más ampliamente distribuidos es *Psittacanthus*, género que presenta 14

²Caballero D., M. y Avila, R. R. 1989. Necesidades de investigación en *Prosopis* spp.

³Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México.

⁴McVaugh, R. 1987. Flora Novo-Galiciana.

⁵Cantú A., C. 1990. Fenología de la floración y fructificación del mezquite *Prosopis laevigata* en Nuevo León y el efecto de las cabras sobre la dispersión de la semilla.

⁶Cházaro M., B., et. al. 1993. Conociendo a los Muérdagos.

especies en la república mexicana y tiene un rango de distribución altitudinal muy amplio, ya que lo podemos encontrar desde el nivel del mar hasta por arriba de los 3 300 m; además, se reportan alrededor de 150 especies de vegetales como hospedantes de esta planta parásita (Resendiz *et al.*, 1989)⁷. El ciclo de vida de este muérdago tiene una duración de 5 años de fruto a fruto (Vázquez, 1989)⁸ y los daños que causan al hospedante van desde la pérdida de volumen maderable (0.0843 m³/árbol en *Pinus montezumae*) (Vázquez *et al.*, 1982)⁹, pérdida de producción de conos (disminución del 37.5 %) y germinación de la semilla (reducción del 25%) (Vázquez y Pérez, 1989)¹⁰ y, cuando el grado de infección es fuerte, la muerte del arbolado.

Los trabajos sobre el control de muérdagos verdaderos en el mundo, son abundantes; se tiene algunas experiencias en Australia, donde se ha tenido cierto éxito en el control de *Amyema miquelli* con la aplicación de 2,4-D, Roundup, Garlon 480, Lontrel y Velpar, inyectados al tronco de ocho especies de *Eucalyptus*; se recomienda que la aspersión se lleve a cabo en árboles que tengan menos del 30% de infección de la copa y con DAP mayores de 30 cm (Nicholson, 1955)¹¹; (Greenham y Brown, 1957)¹²; (Martin, 1987)¹³; (Minko y Fagg, 1989)¹⁴

En Europa varios investigadores han asperjado e inyectado los siguientes productos químicos para el control del muérdago *Viscum album* en *Abies*, árboles frutales y pinos (*Pinus sylvestris*, *P. nigra* y *P. laricis*): 2,4-D amina, 2,3-MCPB, 2,4,5-T, ácido fosfónico, sulfato de cobre, Ethrel y Velpar, los resultados muestran que con todos los productos se tiene buen efecto y que hay diferencia entre los mismos para el control del muérdago; además, no hay diferencia entre las dos formas de aplicación, pero se observó que en las inyecciones el efecto se presenta de arriba hacia abajo (Delabrazé y Lanier, 1972a)¹⁵; (Delabrazé y Lanier, 1972b)¹⁶, (Valentín, 1982)¹⁷. Por otro lado, se ha

⁷Resendiz R. J. *et al.* 1989. Contribución al conocimiento de la distribución geográfica, altitudinal y hospederos del muérdago verdadero *Psittacanthus* sp.

⁸Vázquez C., I. 1989. Ciclo biológico y fenología del muérdago verdadero (*Psittacanthus cabyculatus*).

⁹Efecto del parasitismo del muérdago (*Psittacanthus schiedeanus*) en el desarrollo de tres especies del género *Pinus*.

¹⁰Vázquez C., I. y Pérez, Ch. R. 1989. Efecto del muérdago en la producción de semilla de pino.

¹¹Nicholson, D. I. 1955. The effect of 2, 4-D Injection and of Mistletoe on the Growth of *Eucalyptus polyanthemos*.

¹²Greenham, C. G. y Brown, A. C. 1957. The control of Mistletoes by Trunk Injection. pp. 308-318

¹³Martin, D. 1987. Mistletoe-Friend and Foe.

¹⁴Minko, G. y Fagg, P. C. 1989. Control of some Mistletoes species on *Eucalyptus* by trunk injection with herbicides. pp.94-102.

¹⁵Delabrazé, E. y Lanier, L. 1972a. Contribution a la lutte chimique contre le gui (*Viscum album* L.). pp. 135.

¹⁶Delabrazé, E. y Lanier, L. 1972b. Contribution a la lutte chimique contre le gui (*Viscum album* L.) pp. 95-103.

tenido buen control de muérdago verdadero (*Loranthus europaeus*) en encino, con la inyección de los herbicidas MCPB y MCPP; la dosis a aplicar de cada producto está en relación con el DAP de los árboles (Gostel y Krapfenbauer, 1986)¹⁸.

En la India se inyectaron diversos herbicidas (Sencor, Sulfato de cobre, 2,4-D, Gramoxone, Linurón, Tolcan y Dalapón) para el control del muérdago (*Dendrophthoe falcata*) en té (*Tectona grandis*); los resultados mostraron que el mejor producto fué, el Sencor al 0.25% de I.A. aplicado durante los meses de febrero y marzo; dos meses después de la aplicación todos los parásitos estaban muertos y no se observó fitotoxicidad. Otros compuestos como el Sulfato de cobre y el 2,4-D mostraron eficiencia, pero daños al hospedante a largo plazo; los demás productos también tuvieron eficacia contra el muérdago pero a dosis mayores (Ghosh *et al.*, 1982)¹⁹, (Ghosh *et al.*, 1983)²⁰. En otro estudio, se tuvo un excelente control de la planta parásita con dos aspersiones del 2,4-D a concentración de 0.5 % con un mes de intervalo (Seth, 1958)²¹.

En los Estados Unidos se tiene buen control del muérdago (*Phoradendron flavescens*) en nogal, con la aspersión de 2,4-D en todas sus formulaciones; la dosis utilizada es de 10 000 ppm de ingrediente activo más 0.1 % de surfactante (v/v). Se tiene mejor control con las formulaciones, éster que con las amina y se observó fitotoxicidad en la madera joven; otros herbicidas efectivos fueron el Amitrole y la Atrazina (Bayer *et al.*, 1967)²².

En México se tienen dos trabajos sobre el control químico del género *Psittacanthus*, uno en pino y otro en mezquite; en el experimento con pino (*Pinus leiophylla*) se probaron 4 herbicidas y los mejores resultados, a los 6 meses de la aspersión, se lograron con el 2,4-D en su forma éster (Vázquez *et al.*, 1986)²³. Con relación al experimento en mezquite (*Prosopis laevigata*), se asperjaron diferentes dosis (300 y 400 ml/ 100 litros de agua) del Esterón 47 M (herbicida derivado del 2,4-D) durante el

¹⁷Valentin, G. J. 1982. El muérdago, planta parásita y también planta útil. pp. 47-49.

¹⁸Gostel, H. y Krapfenbauer, E. 1986. Experiments on the control of Oak Mistletoe (*Loranthus europaeus*) with herbicides.

¹⁹Ghosh, S. K. *et al.*, 1982. Chemical control of *Dendrophthoe falcata* on teak through trunk injection: a preliminary field study.

²⁰Ghosh, S. K. *et al.*, 1983. Possible teak mistletoe control through trunk injection of weedicide.

²¹Seth, J. N. 1958. Comparative effect of certain herbicides on bandha (*Dendrophthoe falcata*), pp. 424-426.

²²Bayer, D. E. *et al.*, Control of Mistletoe, *Phoradendron flavescens*, on english walnuts in California. pp. 10-11.

²³Vázquez, C. I. *et al.*, 1986. Efecto del parasitismo del muérdago (*Psittacanthus schiedeanus*) en el desarrollo de tres especies del género *Pinus*. pp. 48-64.

otoño y se efectuaron dos evaluaciones a los 6 y 12 meses; los resultados indican que hay un buen control del muérdago verdadero al utilizar el herbicida en cualquiera de las dosis, pero el efecto es más rápido con la dosis más alta (Vázquez, 1991)²⁴.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El experimento se estableció en el Ejido Puenteillas, cercano a la ciudad de Guanajuato, se utilizó un diseño en parcelas divididas (Cochran y Cox, 1978)²⁵ (Little y Hills, 1976)²⁶, donde la parcela grande o principal fue, la época de aplicación (verano y primavera) (Cuadro N° 1) y la parcela chica o secundaria fue, la dosis del herbicida Esterón 47M (200, 300, 400, 500, 700 cc/100 litros de agua y el testigo) (Cuadro N° 2). La parcela útil fue de un árbol y el experimento contó con tres repeticiones; se hizo una sola aplicación y ésta se efectuó con una bomba de parihuela; se prepararon 50 litros de solución, asperjando porciones iguales en las tres repeticiones (árboles).

EPOCA	FECHA DE APLICACION
Verano	23 de agosto de 1991
Primavera	12 de abril de 1992

Cuadro N° 1. Fechas de aplicación de las diferentes dosis del herbicida Esterón 47M.

²⁴Vázquez, C. I. 1991. Control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus sp.*).

²⁵Cochran, W. G. y Cox, G. M. 1978. Diseños experimentales.

²⁶Little, T. M. y Hills, F. J. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en agricultura.

Dosis de Esterón 47M	ml de I.A.
200 ml	92.2
300 ml	138.3
400 ml	184.4
500 ml	230.5
700 ml	322.7

Cuadro N° 2. Diferentes dosis del herbicida Esterón 47M y su equivalente en ingrediente activo.

Durante la aplicación de Verano, el muérdago se encontraba en la fase fenológica de vegetativa plena y final, y floración inicial y plena; mientras que el mezquite se encontraba en las fases de vegetativa plena y final. En la época de Primavera las fases fenológicas estaban: para el muérdago, vegetativa inicial y plena; para el mezquite, vegetativa plena y final.

Las evaluaciones se llevaron a cabo a los 6 y 12 meses para cada una de las épocas de aplicación, considerando el número de muérdagos afectados en cada árbol o repetición (Cuadro N° 3).

Valor	% muérdagos dañados
1	0 - 20
2	21 - 40
3	41 - 60
4	61 - 80
5	81 - 100

Cuadro No. 3. Escala de evaluación.

El ANVA se realizó en las mismas fechas que las evaluaciones con una probabilidad del 95 % y la separación de medias se realizó mediante la prueba más honesta de Tukey. Además, se realizó un análisis económico simple considerando como única variable la dosis del herbicida, ya que los demás gastos de operación son fijos (renta de maquinaria, combustible y mano de obra) para todas las dosis.

RESULTADOS

Para una mejor comprensión y análisis de los resultados, éstos se presentan por fecha de evaluación (6 y 12 meses) y del mismo modo se expone la separación de las medias.

a).- **Primera evaluación (6 meses).**

Los valores obtenidos en la primera evaluación, por tratamiento y, época de aplicación, se pueden observar en el cuadro N° 4.

De forma general se puede observar que, en la época de verano, en los tratamientos A y B (200 y 300 cc del Esterón 47M), se presentó poco daño foliar en las plantas parásitas, mientras que con los tratamientos C, D y E (400, 500 y 700 cc) el daño fue severo y en algunos casos se produjo defoliación total de los muérdagos (Fig. N° 1); en todos los casos el testigo, tratamiento F, presentó daño muy leve debido al acarreo del producto por el viento. Sin embargo, en todos los tratamientos se observan brotes nuevos del parásito, aún con la dosis más alta (700 ml). Durante esta evaluación (febrero), el muérdago se encuentra en la etapa fenológica de fructificación plena y final, y vegetativa inicial y plena.

Epoca	Trat.	Dosis	I	II	III	Media
Verano	A	200	2	4	2	2.66
	B	300	2	2	2	2.00
	C	400	4	5	4	4.33
	D	500	4	5	5	4.66
	E	700	5	5	4	4.66
	F	Testigo		0	1	0
Total parcela principal			17	22	17	3.10
Primavera	A	200	4	4	4	4.00
	B	300	5	5	5	5.00
	C	400	5	4	4	4.33
	D	500	4	4	4	4.00
	E	700	5	5	5	5.00
	F	Testigo		0	0	1
Total parcela principal			23	22	23	3.78
Total del bloque			40	44	40	3.44

Cuadro No. 4. Valores obtenidos a los 6 meses organizados por época y tratamiento.

En la época de primavera, en la dosis de 200 ml/100 litros de agua (Tratamiento A) se observa el 80 % de las plantas con defoliación y no hay presencia de brotes nuevos; no se pudo determinar la etapa fenológica. En la dosis de 300 ml (tratamiento B) se cuantificó un 100 % de plantas defoliadas (Fig. No. 1), se observan algunas de ellas con brotes incipientes (vegetativa inicial). En el tratamiento C (400 ml/100 litros de agua) se produjo una fuerte defoliación (100 %) en todos los muérdagos; además se detectó la presencia de algunos brotes nuevos en los tumores (vegetativa inicial). En la dosis D (500 ml/100 litros de agua) se presentó daño severo y defoliación en el 80 % de los muérdagos, algunos de ellos no presentaron daño aparente, por lo que podemos inducir que la cobertura no fue buena al momento de la aplicación. Por último, en el tratamiento E (dosis de 700 ml/100 litros de agua) encontramos todos los muérdagos

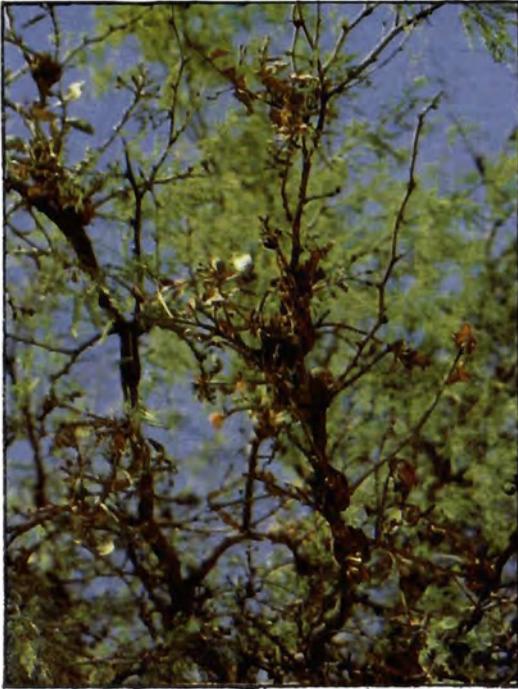


FIGURA No. 1. Dosis de 300 ml aplicados en primavera (A) y Dosis de 700 ml asperjados en la misma época (B).



afectados por el herbicida y con 100 % de defoliación; no se observó la presencia de brotes nuevos (Fig. N° 1).

El análisis de varianza de la evaluación de los 6 meses, se puede observar en el cuadro No. 5; los valores calculados de F para época, tratamiento e interacción, son superiores a los valores de F tabulada, lo que nos indica que hay diferencia significativa para los tres factores de variación en esta primera evaluación.

FV	GL	SC	CM	F cal.	Prob.
Epoca	1	4.00	4.000	8.47	0.043
Error (a)	4	1.89	0.472		
Tratamiento	5	92.22	18.444	107.10	0.000
Interacción	5	13.00	2.600	15.10	0.000
Error (b)	20	3.44	0.172		
CV = 12.25 %					

Cuadro No. 5. ANVA del experimento a los seis meses.

La separación de las medias se efectuó para cada época de aplicación (Cuadro N° 6) y podemos ver que el arreglo es muy similar, aunque los valores medios son más altos en la primavera; por otro lado, en el verano se forman 3 grupos, donde los tratamientos D, E y C no son significativamente diferentes entre sí, pero son significativamente diferentes de los tratamientos A, B y F; los tratamientos A y B son significativamente diferentes de los tratamientos D, E y C, pero son iguales entre sí y son significativamente mayores que el tratamiento F; por último, el tratamiento F es significativamente menor que todos los demás tratamientos. En la primavera sólo tenemos dos grupos; los tratamientos B, E, C, A y D son significativamente diferentes del tratamiento F, pero son iguales entre sí. Esto nos indica que la mejor época de aplicación es la primavera, ya que podemos lograr el control químico del muérdago verdadero aún con la dosis más baja del herbicida Esterón 47 M (200 ml/100 litros de agua), pero los valores medios más altos para el control del mismo, se obtienen con las

dosis de 300, 400 y 700 ml/100 litros de agua, mientras que los valores más altos en verano se obtienen con las dosis más altas (400, 500 y 700 ml/100 litros de agua).

Verano		Primavera	
Trat.	Media	Trat.	Media
D	4.66 a	B	5.00 a
E	4.66 a	E	5.00 a
C	4.33 a	C	4.33 a
A	2.66 b	A	4.00 a
B	2.00 b	D	4.00 a
F	0.33 c	F	0.33 b

Cuadro No. 6. Agrupación de medias por época y dosis, a los seis meses de aplicación.**

b). - Segunda evaluación (12 meses).

Los resultados de la segunda evaluación se pueden observar en el cuadro No. 7; en la época de verano existe una considerable reducción de los valores medios en todos los tratamientos, a excepción de la dosis de 700 ml, donde el valor de la media tiene una reducción de solo 0.66. Observaciones particulares en cada tratamiento nos señalan que en el tratamiento A, sólo un árbol presenta daño regular, mientras que en los otros dos árboles el síntoma es muy leve; en esta misma dosis, el muérdago se encuentra en etapa fenológica de floración inicial y plena, durante el mes de septiembre. En el tratamiento B (300 ml de Esterón 47M / 100 litros de agua) se presentó daño muy leve en todos los árboles asperjados y la fase fenológica del muérdago es de floración plena y final, y fructificación inicial (flores pistiladas), sin presencia de frutos. Con el tratamiento C (400 ml/100 litros de agua) se observa poco daño en las plantas parásitas producida por el herbicida (Fig. No. 2), pero es evidente que existe un retraso en la fenología del muérdago ya que en esta dosis, la fase es de vegetativa inicial y floración

** Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

inicial y plena. Con la dosis de 500 ml/100 litros de agua (tratamiento D) se observa un comportamiento parecido al tratamiento anterior, pero además se observa un crecimiento raquítrico en los muérdagos, poca producción de flores y retraso en la fenología del muérdago (floración inicial). Los muérdagos tratados con el tratamiento E muestran mortandad y algunos están brotando (menos del 20 %) (Fig. N° 2), los daños son más evidentes en este tratamiento y la fenología se encuentra en vegetativa inicial y floración inicial y plena. Los testigos no muestran daños y tampoco hay evidencias de fitotoxicidad en los mezquites.

Epoca	Trat.	Dosis	I	II	III	Media
Verano	A	200	1	1	2	1.33
	B	300	1	1	1	1.00
	C	400	1	1	1	1.00
	D	500	1	1	1	1.00
	E	700	4	4	4	4.00
	F	Testigo	0	0	0	0.00
Total parcela principal			8	8	9	1.38
Primavera	A	200	4	4	5	4.33
	B	300	5	5	5	5.00
	C	400	5	5	5	5.00
	D	500	4	5	5	4.66
	E	700	5	5	5	5.00
	F	Testigo	0	0	0	0.00
Total parcela principal			23	24	25	3.99
Total del bloque			31	32	33	2.68

Cuadro No. 7. Valores obtenidos después de 12 meses de la aplicación, organizados por época y tratamiento.

Los resultados de la segunda evaluación (12 meses) de la época de primavera (Cuadro N° 7) nos señalan, de manera general, que los valores medios de la mayoría de los

tratamientos sufrió un incremento en todas las repeticiones. El tratamiento A (200 ml / 100 litros de agua) tiene excelente control del muérdago, ya que la mayor cantidad de plantas , presenta una defoliación entre el 80 y 100 %. Con el tratamiento B (300 ml / 100 litros de agua) también se tiene un buen control del muérdago (Fig. N° 3), pero en dos árboles se tienen brotes nuevos de la planta parásita . Los árboles tratados con la dosis de 400 ml/100 litros de agua (Tratamiento C) presentan un buen control del muérdago, ya que en todas las repeticiones más del 80% de las plantas parásitas están defoliadas; sin embargo, existen nuevas infecciones en la mayoría de las ramas.El tratamiento D (500 ml / 100 litros de agua) tuvo un excelente control del muérdago, pero, al igual que en los casos anteriores, se presentan nuevas infecciones en la mayoría de las ramas. Con la dosis de 700 ml/100 litros de agua (tratamiento E) se tiene un excelente control del muérdago (Fig. N° 3); sin embargo, existe un árbol donde los tumores, aparentemente muertos, están brotando. Por último, en los árboles testigo, la planta parásita no presenta daño.

Cabe mencionar que en los dos casos, primavera y verano, después de los 12 meses, se presentaron nuevas infecciones, y en algunos árboles se tuvo rebrote de los tumores (Fig. N° 3).

El análisis de varianza de la segunda evaluación se presenta en el cuadro 8 y podemos señalar que existe diferencia significativa en las tres fuentes de variación (época, tratamiento e interacción), ya que los valores de F calculada son superiores a los de F tabulada.

FV	GL	SC	CM	F cal.	Prob.
Epoca	1	61.36	61.361	552.25	0.000
Error (a)	4	0.44	0.111		
Tratamiento	5	64.47	12.894	165.79	0.000
Interacción	5	21.81	4.361	56.07	0.000
Error (b)	20	1.56	0.078		
CV = 10.35 %					

Cuadro N° 8. ANVA de la segunda evaluación, arregladapor época tratamiento.



FIGURA No. 2. Arboles de mezquite asperjados durante el verano: (A) Dosis de 400 ml /100 litros de agua. (B) Dosis de 700 ml del herbicida Esterón 47 M.

Al realizar la prueba de separación de medias por época (Cuadro No.9), observamos que en verano se forman 3 grupos ; el tratamiento E es significativamente mayor que todos los demás tratamientos, mientras que los tratamientos A, B, C y D no son significativamente diferentes entre sí, pero significativamente menores al tratamiento E y significativamente mayores que el tratamiento F; el tratamiento F es significativamente menor que todos los demás tratamientos. En primavera sólo se forman 2 grupos, que nos indican que los tratamientos A, B, C, D y E no son significativamente diferentes entre sí, pero son significativamente mayores que el tratamiento F.

En esta época se repite el fenómeno observado en la primera evaluación, es decir, que se logra buen control del parásito en las dos épocas, pero la dosis utilizada en verano (700 ml / 100 litros de agua) debe ser mayor que las dosis aplicadas en primavera (300, 400 y 700 ml / 100 litros de agua).

Verano		Primavera	
Trat.	Media	Trat.	Media
E	4.00 a	B	5.00 a
A	1.33 b	C	5.00 a
C	1.00 b	E	5.00 a
D	1.00 b	D	4.66 a
B	1.00 b	A	4.33 a
F	0.00 c	F	0.00 b

Cuadro N° 9. Agrupación de medias por época y dosis (12 meses).**

Desde el punto de vista económico (Cuadro No. 10) podemos mencionar que la mejor dosis de aplicación es la de 300 ml/100 litros de agua, le siguen en orden descendente las dosis de 400 y 700 ml del producto. Como podemos observar en el cuadro No. 9, los valores medios obtenidos en la primavera, con las 3 dosis mencionadas son iguales (5.00); todo esto confirma que el tratamiento B es el mejor, desde los dos puntos de vista, de control y económico.

** Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.



FIGURA No. 3. Árboles de mezquite tratados en primavera, después de 12 meses: (A) Dosis de 300 ml; (B) Dosis de 700 ml y (C) Rama con nuevas infecciones.

Trat.	Dosis	Costo/ 100 lts agua	Costo/Arb.
B	300	N\$ 6.00	N\$ 1.00
C	400	N\$ 8.00	N\$ 1.33
E	700	N\$ 14.00	N\$ 2.33

Cuadro N° 10. Costo de la aplicación por 100 lts de agua y costo por árbol. **

DISCUSIÓN

En el presente experimento se probaron dos épocas de aplicación y 5 diferentes dosis del herbicida Esterón 47M para el control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus calyculatus*) en mezquite (*Prosopis laevis*); los resultados mostraron que existe diferencia en las tres fuentes de variación (época, dosis e interacción), siendo la mejor época primavera, que es cuando el muérdago inicia su crecimiento vegetativo y el herbicida se concentra en los tejidos jóvenes, ya sea embrionarios o meristamáticos (brotes y raíces.), donde el producto muestra sus mayores efectos al interferir con los procesos normales del crecimiento (Kligman y Ashton, 1980)²⁷; (Anónimo, 1984)²⁸. Por otro lado, en otros países del mundo (Francia, Australia y Estados Unidos) se recomienda la aplicación de diversos productos en primavera, para el control químico de *Viscum* y *Phoradendron* (Baillon *et. al.*, 1988)²⁹, (Batyuk y Palienko, 1962)³⁰, (Brown y Greenham, 1965)³¹, (Delabrazé y Lanier, 1972)³², (French, 1970)³³.

** El costo del producto es de N\$ 20.00/lit (a enero de 1994) y con 100 lts de suspensión se asperjan 6 árboles.

²⁷ Kligman, G. C. y Ashton, F. M. 1980. Estudio de las plantas nocivas.

²⁸ Anónimo. 1984. Pesticide background statements.

²⁹ Baillon, F. *et. al.* 1988. Lutte chimique contre le gui (*Viscum album*). pp. 1-16.

³⁰ Batyuk, V. P. and Palienko, M. Y. 1962. Chemical control of *Viscum* species.

³¹ Brown, A. G. y Greenham, C. G. 1965. Further investigations in control of Mistletoes by trunk injections. pp. 305-309.

³² Delabrazé, E. y Lanier, L. 1972 Contribution a la lutte chimique contre le gui (*Viscum album* L.)

³³ French, W. J. 1970. Experiments on chemical eradication of Mistletoe. pp. 36-37.

Con relación a la dosis utilizada, se determinó que a mayores dosis, los efectos sobre la planta parásita son más rápidos y perdurables, esto es más evidente en el verano (segunda evaluación), ya que sólo con la dosis más alta (700 ml / 100 litros de agua) se obtuvieron buenos resultados. Esto concuerda con las especificaciones emitidas por el fabricante, quien menciona que el herbicida se puede aplicar con agua o aceite, usando un volumen suficiente para lograr un buen cubrimiento de las malezas, las cuales deben estar creciendo vigorosamente en condiciones de humedad favorable; cuando se efectúen aspersiones en condiciones críticas, se deben utilizar dosis más altas (González, 1989)³⁴.

Por lo que se refiere a la interacción, se determinó que hay una fuerte relación entre la época y la dosis, ya que en verano, cuando el muérdago se encuentra en sus fases fenológicas finales, se necesitan dosis mayores (Cuadro No.7) para obtener buenos resultados, mientras que en la primavera, cuando se inician las fases fenológicas, las dosis necesarias para el buen control de la planta parásita son menores. Esto concuerda con lo reportado por Kligman y Ashton (*op. cit.*) quienes mencionan que el herbicida una vez dentro de la planta, se mueve a través del floema con los elementos fotosintéticos y que un tratamiento a las hojas de una planta perenne, que se desarrolla rápidamente durante el inicio de la primavera, producirá poca o ninguna traslocación del 2,4-D hacia las raíces. Por otro lado, indican que es mejor efectuar aplicaciones repetidas a baja dosis, que una sola aplicación con dosis elevada; sin embargo, esto no es costeable ni práctico en aplicaciones con árboles forestales, como es el caso del mezquite.

Los herbicidas derivados del 2,4-D, son poco persistentes en el suelo (menos de un mes) y en ambientes acuáticos, ya que son degradados primariamente por la actividad microbiana; en animales, la forma éster del 2,4-D (Esterón 47M) es rápidamente hidrolizada a la forma de ácidos libres y eliminados principalmente por la orina (pruebas en ratas demuestran que en las primeras 2 horas se elimina el 93 % del producto). Por lo que respecta a la toxicidad, todas las formulaciones del 2,4-D son medianamente tóxicas a los animales y pájaros, y los ésteres son tóxicos y altamente tóxicos a los invertebrados acuáticos y peces; algunas formulaciones pueden causar irritación a los ojos y piel (Anónimo, 1984)³⁵, (Anónimo, 1992)³⁶ Por otro lado, no existen datos concluyentes que demuestren la cancerogenicidad y teratogenicidad del

³⁴González, M. M. 1989 Diccionario de especialidades agroquímicas.

³⁵Anónimo. 1984. Pesticide background stateents.

³⁶Anónimo. 1992. Risk assesment for herbicides use in forest service. regions 1, 2, 3, 4, and 10 on Bonneville Power administration sites.

2.4-D; sin embargo, varios estudios señalan la embriotoxicidad y fetotoxicidad de algunas formulaciones del producto (Anónimo, 1984; Anónimo, 1990; Anónimo, 1992) (*op. cit.*).

Otro aspecto que se observó después de 12 meses de la aplicación, fue la presencia de rebrotes en los tumores viejo y nuevas infecciones, por lo que es necesario llevar a cabo otra aspersión con el propósito de mantener bajos los niveles de infección; recomendaciones similares se realizan en otras partes del mundo, al efectuar el control químico de diversos géneros de muérdagos en diferentes especies arbóreas (Anónimo, 1955)³⁷, (Anónimo, 1979)³⁸, (Graser, 1952)³⁹, (Hartigan, 1971)⁴⁰, (Lichter y Berry, 1990)⁴¹, (Prasad *et. al.*, 1969)⁴², (Pronos y Schultz, 1983)⁴³.

CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente experimento son las siguientes:

1.- Para el control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus calyculatus*) en mezquite (*Prosopis laevigata*), la mejor época de aplicación es la primavera.

2.- Las dosis más eficientes de Esterón 47M para el control del muérdago son las de 300, 400 y 700 ml/100 litros de agua.

3.- La dosis económica de Esterón 47M para el control químico del muérdago verdadero en mezquite, es la de 300 ml/100 litros de agua.

³⁷ Anónimo, 1955. Mistletoe investigations.

³⁸ Anónimo, 1979. Ti rid your trees of Mistletoe.

³⁹ Graser, H. I. A progress report on Mistletoe control of Oak Mistletoe (*Loranthus europaeus*) with herbicides. pp. 23-24.

⁴⁰ Hartigan, D. 1971. Hormone spray technique for control in walnuts.

⁴¹ Lichter, J. M. y Berry, A. M. 1990. Update on Mistletoe. pp. 1-2.

⁴² Prasad, N. *et. al.*, Modus operandi and control of parasitic weeds.

⁴³ Pronos, J. y Schultz, D. 1983. Evaluation of true Mistletoe, madrone dieback and regeneration on the Upper Lake Ranger Distric.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. 1955. Mistletoe Investigations. Australia Commonw. Sci. Indus. Res. Org. 7th Annual Report. 28p. (Abst).
- Anónimo. 1979. Tried Your Trees of Mistletoe. Sunset, The Magazine of Western Living 163 (6): 182 (Abst)
- Anónimo. 1984. Pesticide Background Statements Vol 1 Herbicides. USDA. Forest Service. Agric. Handb. No. 633.
- Anónimo. 1990. The Weight of the Evidence on the Human Carcinogenicity of 2,4-D. Prog. Risk Analysis Env. Health. Harvard Sch. Public Health. Boston, MA. 65 p.
- Anónimo. 1992. Risk Assessment for Herbicides Use in Forest Service Regions 1, 2, 3, 4, and 10 on Bonneville Power Administration sites. USDA. Forest Service. 53-3187-9-30.
- Baillon, F. *et al.*, 1988. Lutte Chimique contre le gui (*Viscum album*). Ann. Sci. For. 45: 1- 16 (Abst).
- Baytuk, V. P. and Palienko, M.Y. 1962. Chemical Control of *Viscum* Species. Lesnoe Khoz. G. 65 Biol. Abst 42, No.23929.
- Brown, A. G. and Greenham, C. G. 1965. Further Investigations in Control of Mistletoes by Trunk Injections. Australian J. Expt. Agric. and Animal Husbandry 5 : 305- 309 (Abst).
- Bayer, D. E.; Elmore, C. L.; Chaney, D. H. and Buschmann, L. L., 1967. Control of Mistletoe, *Phoradendron flavescens*, on English Walnuts in California. Hortscience 2 (1): 10-11.
- Caballero D., M. y Avila R., R. 1989. Necesidades de investigación en *Prosopis* spp. Simp. Agroforestal en México, Linares, N.L.

- Cantú A., C. M. 1990. Fenología de la floración y fructificación del mezquite *Prosopis laevigata* en Nuevo León y el efecto de las cabras sobre la dispersión de la semilla. Univ. Aut. Nuevo León. Rep. Científico 18. México. 38 p.
- Cházaro M., B.; Huerta M., M.; Lomelí M., E.; Patiño B., R. M.; Acevedo R., R. y Negrete A., J.M. 1993. Conociendo a los Muérdagos. II Taller sobre detección, evaluación y manejo de muérdagos en coníferas. SARH. SFF.
- Cochran, W. G. y Cox, G. M. 1978. Diseños Experimentales. Ed. Trillas. 5a Reimpresión. México. 661 p.
- Delabrazé, E.; Lanier, L. 1972a. Contribution a la Lutte Chimique contre le Gui (*Viscum album* L.). Ann. Sci. Forest 29,135. Biol. Abst. 53.
- Delabrazé, E.; Lanier, L. 1972b. Contribution a la Lutte Chimique contre le Gui (*Viscum album* L.). Eur. J. For. Pathol. 2, 95- 103. Biol. Abst. 54.
- French, W. J. 1970. Experiments on Chemical Eradication of Mistletoe. Southeast Pecan Growers Assoc. Proc. 63D: 36-37.
- Ghosh, S. K.; Balansundaran, M.; Ali, M. 1982. Chemical Control of *Dendrophthoe falcata* on teak through trunk injection: A Preliminary Field Study. Current Sci. (Bangalore) 51: 1119. Biol. Abst. 25.
- Ghosh, S. K.; Balansundaran, M.; Ali, M. 1983. Possible Teak Mistletoe control through trunk injection of Weedicide. Proc. 10 Inter. Con. Plant Protection. Weed Abst. 33, No.3934.
- González M., M. A. 1989. Diccionario de especialidades agroquímicas. 2a Ed. Bancomer. Ediciones P.L.M. México. 645 p.
- Gostel, H. and Krapfenbauer, E. 1986. Experiments on the Control of Oak Mistletoe (*Loranthus europaeus*) with Herbicides. For. Abst. 47, No. 5374, 1986.
- Graser, H. I. 1952. A Progress Report on Mistletoe Control in Walnuts. West. Fruit Grower. 6 (2): 23-24.

- Greenham, C. G. and Brown, A.C. 1957. The Control of Mistletoes by Trunk Injection. *Jou. Aus. Ins. Agr. Sci. Australia*. 308-318 p.
- Hartigan, D. 1971. Hormone Spray Technique for Control of Mistletoe. *For. Comm. New South Wales. Tech. Pub. 16: 4. For. Abst. 34, No. 2287, 1973.*
- Klingman, G. C. y Ashton, F. M. 1980. Estudio de las plantas nocivas. Ed. Limusa. México. 449 p.
- Lichter, J. M. and Berry, A. M. 1990. Update on Mistletoe Control. *Univ. California. Coop. Ext. Growing Points 26 (12):1-2.*
- Little, T.M. y Hills, F.J. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. Ed. Trillas. México. 270 p.
- Martin, D. 1987. Mistletoe Friend and Foe. *Rural Quarterly. Victoria Australia. 6 (4): 28.*
- McVaugh, R. 1987. *Flora Novo-Galiciana. Vol. 5. Leguminosae. Univ. Michigan Press. USA.*
- Minko, G. and Fagg, P. C. 1989. Control of Some Mistletoes Species on *Eucalyptus* by Trunk Injections with Herbicides. *Australian.For. 52: 94-102.*
- Nicholson, D. I. 1955. The effect of 2,4-D Injection and of Mistletoe on the Growth of *Eucalyptus polyanthemus*. *For. and Timber Bureau, Australia. 18 p.*
- Prasad, N.; Gupta, O. P.; Saroha, M. S. 1969. Modus Operandi and Control of Parasitic Weeds. *Weed Abst. 20, No. 1701, 1971.*
- Pronos, J. and Schultz, D. 1983. Evaluation of True Mistletoe, Madrone Dieback and regeneration on the Upper Lake Ranger Distric, Mendocino Nat. For. *USDA. Forest Service For. Pest Manag. Rep. 83- 08: 9 p.*
- Resendíz R., J.; Martínez H., J. F. y Carbajal V., I. 1989. Contribución al conocimiento de la distribución geográfica, altitudinal y hospederos del muérdago verdadero *Psittacanthus* sp. *V Simp. Parasitología Forestal. México. 46 p.*

- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 p.
- SARH. 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Reporte principal. SFF. SARH. México. 53 p.
- Seth, J. N. 1958. Comparative effect of Certain Herbicides on Bandha (*Dendrophthoe falcata*). Sci. and Cult. 23 (8): 424-426. For. Abst. 19, 4389, 1958.
- Valentín G., J. A. 1982. El muérdago. planta parásita y también planta útil. Jard. Paisaje 81 (11): 47-49.
- Vázquez C., I.; Pérez Ch., R. y Pérez Ch., R. 1982. Efecto del parasitismo del muérdago (*Psittacanthus schiedeanus*) en el desarrollo de tres especies del género *Pinus*. SARH. INIF. México. Ciencia Forestal 7 (40): 48- 64.
- Vázquez C., I.; y Pérez, Ch. R. 1986. Control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus* sp.) en la Sierra Purépecha. SARH. INIF. México. Ciencia Forestal 11 (59): 106- 126.
- Vázquez C., I. 1989. Ciclo biológico y fenología del muérdago verdadero (*Psittacanthus calyculatus*). V Simp. Nal. Parasitología Forestal. México. 46 p.
- Vázquez C., I. y Pérez Ch., R. 1989. Efecto del muérdago en la producción de semilla de pino. SARH. INIFAP. 2a Reunión Científica Forestal y Agrop. Michoacán. México, 123 p.
- Vázquez C., I. 1991. Control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus* sp) en mezquite (*Prosopis juliflora*). VI Simp. Nal. Parasitología Forestal. México. 77 p.

UTILIZACIÓN DEL ÍNDICE DE DENSIDAD DE REINEKE EN *Pinus douglasiana* EN ATENQUIQUE, JALISCO.

Valencia Vargas Jorge*

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en la zona conocida como área de corta "El Cucharo", la cual forma parte de la Sección II de Ordenación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Atenquique, Jalisco. Presenta una superficie aproximada de 2 000 ha, constituida, predominantemente por la especie *Pinus douglasiana*, en sus diferentes etapas de desarrollo (vardazcal, latizal y fustal). Esta área se encuentra en manejo a través del Método de Desarrollo Silvícola, cuyo propósito es formar bosques regulares (en cuanto a diámetro, altura y edad) con el tratamiento de regeneración de árboles padre y de cortas intermedias durante el turno.

El principio de Reineke fué aplicado con algunas pequeñas variantes, acordes a la condición encontrada en esta área de estudio. La información obtenida se basó en la correlación existente entre el diámetro de la copa y el diámetro normal (D.A.P. a 1.30 m de altura), (Alexander, 1971)¹.

Se analizaron un total de 178 rodales coetáneos, y se determinó el número máximo de árboles para cada clase diamétrica, cimentándose en un índice de densidad de 1 077 árboles para el diámetro normal de 25 cm (máxima densidad alcanzada para esta clase), lo cual sirvió para generar una tabla de índices de densidad para la especie en cuestión, esto para comparar las diferentes densidades de los rodales en cualquier etapa de desarrollo, y al practicar un aclareo se pueda establecer un número de árboles a dejar en pie en cada una de estas etapas, hasta llegar a rodales maduros que se consideren óptimos en cuanto a producción de incrementos y volúmenes.

* Ingeniero Agrónomo Forestal. Ex-Investigador del INIFAP, SARH.

¹Alexander, R. R. 1971. Crown competition factor.

Se concluye que el modelo de Reineke $IDR = e^{(LnN+ALnD+B)}$ es aplicable al tipo de datos de campo encontrados obteniendo una $r = 0.98$ y con una pendiente similar de -1.5556 a la de Reineke de -1.605 .

Palabras clave: Índice de densidad Reineke IDR, manejo forestal, bosques de coníferas, pinos, *Pinus douglasiana*, Jalisco.

ABSTRACT

The present study was carried out on the cutting area known as "El Cucharo", part of the second section of Atenquique, Jalisco's Unidad Industrial de Explotación Forestal. It presents a surface approximately of 2 000 ha, conformed by *Pinus douglasiana* as principal specie in its different development stages. This area is managed through the Metodo de Desarrollo Silvícola with the purpose of riching a regular forest (in relation to diameter, age and height) by the regeneration treatment of "parent trees" and through intermediate cuttings during the turn.

The Reineke principle was applied with several variants, according to the condition founded on this study area. The information was obtained settling by the correlationship between crown diameter and diameter at breast height (D.B.H.) (Alexander, 1971).

There were analyzed 178 even-aged stands and was settled the top number of trees for each diameter class with a density index of 1 077 trees for the 25 cm D.B.H. class (the highest density on this class), this was the data to generate a density index table for *Pinus douglasiana*, to compare the different stands densities in any stage of development, and when a thinning is applied it can be settled a tree number to leave on the stand in every stage, till reach mature stands that has been considered optimaze as in production and increase volumes.

It concludes that the Reineke model $IDR = e^{(LnN+ALnD+B)}$ could be applied to the field data to obtain an $r = 0.98$ with a similar slope of -1.5556 like Reineke's -1.605 .

Key words: Reineke's density index IDR, forest management, conifer forests, pines, *Pinus douglasiana*, Jalisco.

INTRODUCCIÓN

El control y el manejo adecuado de la densidad de un rodal es de extrema importancia, toda vez que lleva implícito la mejor utilización para el bienestar de la localidad (agua, luz, nutrientes), que va a reflejar una mayor producción de bienes y servicios que de ella se obtengan. Para el silvicultor la densidad es una variable de la masa arbolada, que está a disponibilidad para ser manipulada y que de manera rápida y fácil afecta el desarrollo de la misma (Cano, 1985)².

El término densidad se puede definir como: "La medida cuantitativa de la población de árboles expresada, ya sea relativamente como coeficiente que toma números normales, área basal o volumen como unidad, o absolutamente, en términos de número de árboles del área basal total o del volumen por unidad de área" (Ford-Robinson, 1971)³.

Cuando se trata de determinar la densidad de un rodal, se plantean las siguientes interrogantes a resolver: ¿Qué densidad se tiene? y ¿Qué densidad es la factible a dejar en pie después de la práctica de un aclareo en cada etapa de desarrollo del arbolado?, lo anterior lleva a buscar métodos que de una manera resulten los más adecuados a las condiciones del área de estudio y cuyas características contemplen criterios con mayor fundamento en la determinación de la densidad; el método de índice de densidad de Reineke cumple con dichos propósitos, resultando además fácil y rápida su aplicación y expresa sus resultados en términos de números de árboles por unidad de superficie en cada clase diamétrica, pudiéndose relacionar estos valores, con otros parámetros, como por ejemplo con el incremento en diámetro, altura, volumen y edad, lo que lo califica como una buena medida de densidad (Bickford *et al.* 1957)⁴.

Con el propósito de poder despejar las incógnitas mencionadas en el presente trabajo se han planteado los siguientes objetivos:

- a) Determinar el número de árboles factibles a dejar en pie después de la realización de un aclareo, para cada clase diamétrica.
- b) Obtención de densidades absolutas (cobertura cerrada) para cada clase diamétrica.
- c) Derivación de una tabla de densidades, que facilite la comparación entre los diferentes rodales de distinta edad, densidad y clase diamétrica.

²Cano C., J. 1985. El sistema de manejo regular en los bosques de México.

³Ford-Robinson, F. C. 1971. Terminology of forest science.

⁴Bickford, C. A., F. S., Baker and F. G. Wilson. 1957. Stoking normality and measurement of stand density.

ANTECEDENTES

Reineke (1933)⁵ estableció que cualquier rodal puro y de edad uniforme bien poblado (cobertura cerrada) tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de superficie, que otro rodal puro coetáneo y bien poblado de la misma especie y de diámetro promedio y cuyo valor no es afectado por la edad y la calidad de estación.

El hecho de mencionar que tanto la calidad de estación como la edad no tiene efectos sobre la cantidad de árboles en el rodal, se debe a que los parámetros que se describen la forma de la curva de la distribución de diámetros de un rodal uniforme (coeficiente de asimetría y Kurtosis) están más estrechamente relacionados con el diámetro promedio (Meyer, 1930)⁶.

Con la finalidad de poder comparar diversas densidades en diferentes clases diamétricas, Reineke hizo lo siguiente; en papel log-log graficó los datos obtenidos en un lote de muestreo de *Abies magnifica* establecido en California, E.U.A. y determinó una curva máxima de número de árboles o de máxima densidad por unidad de superficie para cualquier diámetro promedio, a la cual denominó **Curva de Referencia** (Figura N° 1) la cual no es una curva ajustada por mínimos cuadrados o cualquier otro método. Definió además que otras especies presentaban aproximadamente la misma pendiente (-1.605) de la **Curva de Referencia** y que mediante una serie de curvas paralelas a la curva encontrada se puede transformar el número de árboles por unidad de superficie en cualquier diámetro promedio del rodal a una densidad equivalente a una base, de tal forma que el **Índice de Densidad del Rodal de Reineke (IDR)** es el número de árboles por unidad de superficie a este diámetro base (1 000 árboles por acre). (Figura N° 2).

⁵Reineke, L. R. 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forests.

⁶Meyer, W. E. 1930. Diameter distribution series in even-aged forest stands

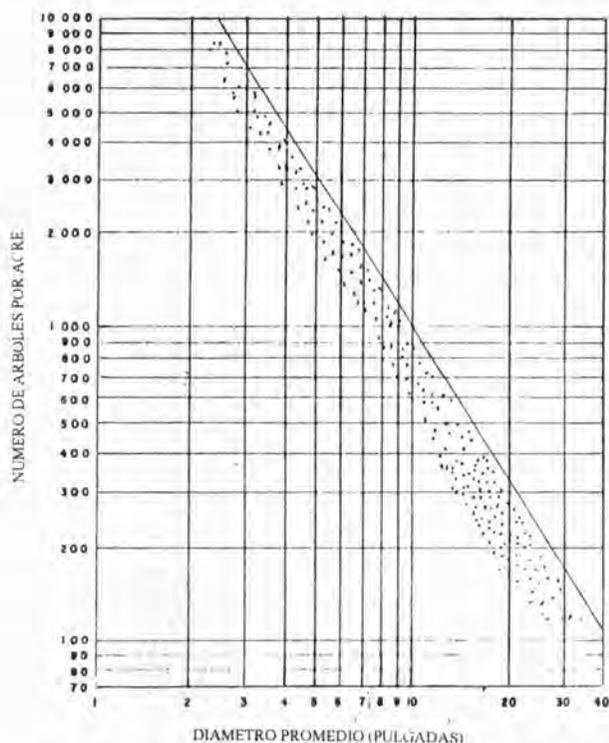


Figura N° 1. Curva de referencia, tomada de Reineke (1933).

En algunas partes de América del Norte, Europa y Japón, varios investigadores han hecho referencia y/o comparaciones en la determinación de la densidad, y en ocasiones varios utilizan el principio de Reineke para obtener la densidad, asimismo otros han determinado pendientes similares a la Reineke en especies herbáceas, de los que se puede señalar los siguientes:

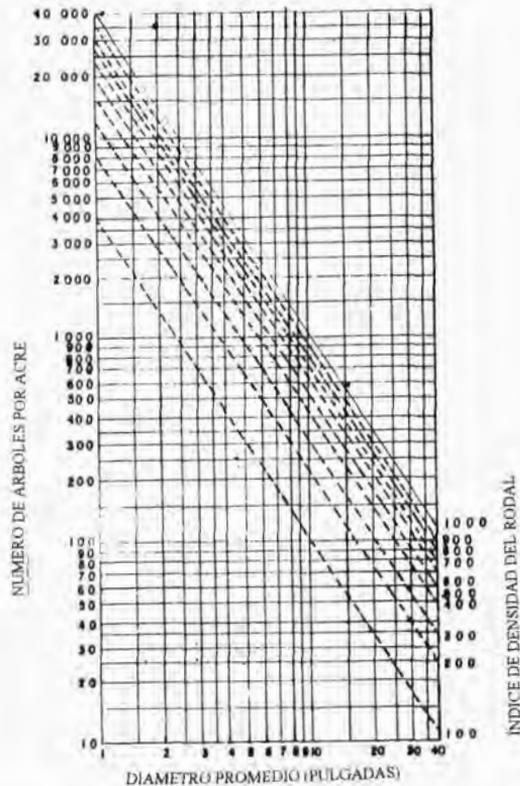


Figura N° 2. Índice de densidad de Reineke (IDR).

Schnur (1937)⁷, en regiones del Centro de los E.U.A., sobre lotes de encino, determinó una tabla de rendimiento, que permite obtener el límite inferior de la densidad del rodal que es capaz de utilizar el sitio y es de IDR 117, y el límite superior, para la utilización total del sitio, la fijó en IDR de 209, por lo tanto los rodales que se encuentren por encima o por abajo de estos límites se consideran super o subpoblados respectivamente.

⁷Schnur, G. L. 1937. Yield, stand and volume tables for event-aged upland oak forests.

Stahelin (1949)⁸, utilizó el principio de Reineke en la obtención de la densidad en rodales de *Pinus taeda*, y expresó la densidad como un porcentaje del área basal normal de un diámetro promedio determinado; sin embargo, las áreas basales normales de esta especie, en varios diámetros promedio, se acercan mucho al área basal, para un índice de 300 árboles (IDR), de modo que las densidades específicas se puedan expresar mejor por medio de valores de índices de Densidad del Rodal.

Otros investigadores, entre ellos Schnur (*op. cit.*) y Stochr (1955)⁹, obtuvieron curvas básicas calculadas, mediante el método de mínimos cuadrados y determinaron la pendiente como -1.499 en bosques de encinos para las partes altas de los E.U.A., y de -1.515 para *Populus* sp. que se aproxima a la pendiente obtenida por Reineke (-1.605) y lo cual indicia la buena medición de la curva de referencia, lo que permite ajustar la curva de máxima densidad de las distintas especies.

Briegleb (1952)¹⁰, realizó un estudio del crecimiento de rodales explotados de *Pseudotsuga taxifolia* en Dinamarca. En la Costa de los E.U.A., diseñó una tabla con la que conformó una escala de valores de diámetro promedio, altura promedio y el número de árboles dentro del cual el crecimiento bruto podría ser constante, resumiendo que cualquier rodal bajo control de esta especie que tenga una densidad entre IDR 187 a 382 árboles, será igualmente productivo.

Yoda *et al.* (1963)¹¹ descubrieron la existencia de una relación matemática en especies herbáceas; entre el peso medio de la población y el número máximo de individuos vivos de la misma, llamando a dicha relación la Ley del Autoclareo ó Ley de $-3/2$ (-1.5). Esta pendiente obtenida para poblaciones herbáceas es similar a la obtenida por Reineke.

Bruce (1965)¹² encontró que varios de los datos de los métodos para determinar la densidad son paralelos a la curva de Índices de Densidad del Rodal (IDR) entre los diámetros a la altura del pecho que van desde 10 a 75 cm.

Gingrich (1967)¹³, estableció los límites de densidad (utilizando el índice de Reineke) de una masa de latifoliadas en las partes altas del Centro de los E.U.A., el cual se basó

⁸Stahelin, R. 1949. Thinning event-aged loblolly and slash pine stand to specific densities.

⁹Stochr, H. A. 1955. Stem taper of trembling aspen.

¹⁰Briegleb, P. A. 1952. An approach to density measurement in douglas fir.

¹¹Yoda, K.; T. Kira, H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in over crowded pure stand under cultivated and natural conditions.

¹²Bruce, D. 1985. Comparisons of mensures of stand density.

¹³Gingrich, S. F. 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forest in the Central States.

en la tabla de rendimiento de Schunur *op cit.* y mencionó que dentro de estos límites para cada diámetro se producirán incrementos uniformes del crecimiento sin que importen la edad y la calidad del sitio.

Hett (1971)¹⁴, consignó que la mortalidad es relativamente independiente de la edad en los primeros años de *Acer saccharum* pero que declina a medida que madura la planta, al mismo tiempo que las plantas se van muriendo los individuos remanentes se tornan más grandes y lógicamente las más pequeñas son continuamente eliminadas de la población; por lo tanto, en localidades de una especie vegetal, existe una estrecha relación entre el tamaño de la planta y la densidad de la localidad un mayor tamaño y peso de la biomasa de los tallos está asociado con una densidad menor de tallos por unidad de área. Esta relación está representada por la fórmula ($\log w = a + b \log p$) donde:

w = peso medio de plantas vivas
a = constante
b = pendiente
p = densidad

La pendiente obtenida en este estudio es similar a la Ley de los -3/2.

Drew y Flewelling (1977)¹⁵ explicaron la pendiente (-1.5) o del comportamiento denominado la Ley de los -3/2 o del poder del autoclereo en especies forestales y mencionaron que ésta relación describe el volumen máximo del arbolado en relación con la densidad de la localidad.

Long (1980)¹⁶ graficó el volumen medio por árbol en relación con la densidad de las especies en localidades puras y mixtas en los bosques del oeste-centro de E.U.A. y obtuvo una pendiente -1.48 semejante a la Reineke, a la Ley de los -3/2 y otros investigadores y determinó una relación similar para todas las especies consideradas.

¹⁴Hett, J. M. 1971. A dynamic analysis of age in sugar maple seedling.

¹⁵Drew, T. J. and J. W. Flewelling. 1977. Some recent japonese theories of Yield-density relationships and their application to Monterrey pine plantations.

¹⁶Long, J. N. 1980. Productivity of western coniferous forests.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental.

El lugar de donde se obtuvo la información de campo, se le conoce con el nombre de área de corta "El Cucharo", la cual cuenta con una superficie aproximada de 2 000 ha. Forma parte de la Sección II de Ordenación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Atenquique (Figura N° 3). Cabe mencionar que fué aquí en donde se aplicó el Método de Desarrollo Silvícola (MDS), como un plan piloto, con el que se pretendió determinar masas arboladas regulares, con un número de cortas intermedias durante el turno y el tratamiento de árboles padre como corta de regeneración. El área de corta pertenece al Municipio de Mazamitla y se encuentra a 1 940 msnm, entre las coordenadas 19°55' de latitud norte y 103°00' de longitud oeste (DETENAL, 1979)¹⁷.



Figura N° 3. Localización del área experimental.

¹⁷SPP. DETENAL. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica.

El clima del área de corta "El Cucharo" según Köpen modificado por García (1973)¹⁸, es C(W2) (W) el cual se presenta en la mayor parte de la Sección II, es un tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación en el mes más seco es menor a los 40 mm, siendo el porcentaje de lluvia invernal menor a 5%. La cantidad de lluvia registrada es de 1 000 mm distribuidos en los meses de junio a noviembre. La unidad de suelo es Luvisol Crómico, el cual se caracteriza por encontrarse en zonas templadas, aunque algunos presentan enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, pero son más fértiles y menos ácidos que éstos, con colores rojos o claros (DETENAL, *op. cit.*). Su vegetación es de bosque, se caracteriza por presentar predominantemente en este lugar a la especie *Pinus douglasiana*, seguida de *P. oocarpa*, *P. michoacana*, *Quercus resinosa*, *Q. scytophilla*, *Arbutus glandulosa*, *A. xalapensis* y *Carpinus caroliniana* entre otras. Para el sotobosque se reportan las siguientes especies: *Salvia lavanduloides*, *Simplocos prionophylla*, *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Verbesina serrata*, *Senecio* sp., *Salignus* sp., *Medicago denticulata* y *Rubus* spp.

Muestreo.

El método de muestreo utilizado para obtener la información fue el estratificado selectivo, la estratificación consideró los rodales que presentaron mayores poblaciones arboladas, con el fin de encontrar las condiciones de cobertura cerrada o de densidades absolutas. Cabe mencionar que este tipo de información es poco frecuente, debido a que se trata de un área sujeta a aprovechamiento maderable, por lo que los datos de campo se tuvieron que seleccionar en pequeños manchones que presentaron tal característica, alcanzando un total de 178 sitios de muestreo, los cuales se distribuyeron en los predios (Cuadro N° 1).

La forma de dimensión de los sitios se estableció en función del número de árboles que conformará el rodal completamente cerrado, del estado de desarrollo (vardazcal, latizal y fustal) y de la forma de distribución de los individuos aunque los sitios más usuales fueron de forma rectangular y cuadrada; para la delimitación de ellos se utilizó cinta métrica de 25 metros.

¹⁸García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen.

Superficie (ha)	Predios	Subrodal	Clasificación(*)	Nº Sitios	Frec/Cat diam. (cm)	(ERxm3rt)
50	58	15, 15A 14C	PQ IV-2	25	8(5cm)7(10cm) 10(20cm)	130
70	48	7C	P IV-3	17	10(25cm)7(45cm)	130
19	72	4	PQ IV-3	6	6(25cm)	146
14	72-A	10.9	PQ IV-3	8	8(30cm)	146
11	-60	14A	PV-3	15	7(35cm),8(45cm)	146
133	13	3A	Pq IV-2	26	5(5cm)5(10cm)10 (15cm)6(20cm)	130
60	20	8I	Pq IV-2	15	5(5cm)5(10cm)5 (15cm)	146
17	27	12K	PV-3	16	8(30cm)8(40cm)	151
466	18	8D	PV-3	12	7(35cm)5(40cm)	151
31	17	AG,4H	Pq-IV-3	14	5(40cm)9(55cm)	111
171	28	4A,1R	Pq-IV-3	15	10(50cm)5(55cm)	111
18	32	5D	Pq-IV-3	9	5(50cm)4(55cm)	134

Cuadro N° 1. Distribución de los sitios de muestreo.

(*) P = Pino dominante o codominante en proporción.

q = Encinar dominado en proporción.

Q = Encino codominante en proporción.

IV y V = Clases de densidad.

2 y 3 = Clases de altura.

Los sitios escogidos para ser medidos y obtener información sobre densidades cerradas fueron seleccionados de acuerdo con las siguientes características:

1. Que los rodales fueran coetáneos (determinados con el taladro de incrementos, tipo Pressler).

2. Que el número de árboles para cada rodal, no fuera menor de ocho individuos, para tener una mayor representatividad al momento de extrapolar los valores a la hectárea.

3. Que los árboles que conformaban el rodal, se tocarán con sus copas por 4 ó 5 de sus lados, con el objetivo de establecer la cobertura cerrada (100%).

4. Que las mismas condiciones que prevalecieron dentro del sitio (cobertura, estado de desarrollo, coetaneidad, etc.), coincidieran con las que se encuentran fuera, cuando menos en una franja de protección (10m) para eliminar el efecto de orilla.

El número de árboles fue de suma importancia, puesto que de aquí se determinaron las densidades absolutas para cada categoría diamétrica, así como también la tabla de índices de densidad. La manera de obtener este valor fue la siguiente:

A partir del principio biológico de la correlación existente entre el diámetro de copa y su diámetro normal (DN), se delimitaron los sitios conforme a la proyección de copa, para determinar su superficie y contar el número de individuos, una vez obtenido este valor se extrapoló a la hectárea (Figura N° 4).



Figura N° 4. Sitio delimitado para definir el número de árboles por ha.

En la figura N° 5 se muestra la distribución aproximada de los rodales o sitios de muestreo.



Figura N° 5. Distribución de los sitios de muestreo en las poblaciones de *Pinus douglasiana*, con mayores densidades.

La finalidad de utilizar las áreas de copa referidas a una superficie, fue la de poder considerar los espacios libres que quedan entre las copas (cuando éstas no alcanzaban a tocarse por todos lados), de tal forma que al tomar en cuenta estos espacios, se evitó el cometer el error de sobreestimar el número máximo de árboles que pudieran alcanzar cada categoría diamétrica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los valores obtenidos (número de árboles por hectárea para cada clase diamétrica) (Cuadro N° 2) del área en cuestión y en particular de la especie *Pinus douglasiana*, la curva de referencia (máxima densidad), se determinó de manera distinta, ajustándose en primer lugar los datos con el modelo Reinecke, con intención de señalar, si dicho modelo se adecua al tipo de información o al comportamiento de esta especie.

	CLASES DIAMÉTRICAS (CM)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
	NÚMERO DE ÁRBOLES POR HECTÁREA										
12019	3537	1479	1048	909	341	393	428	403	245	233	
10200		2699	909	971	454	452	356	303	294	197	
11500	2400	2515	1111	1076	781	379	446	333	280	189	
9500	2221	1714	898	1042	699	560	324	349	289	203	
11900	1714	1569	740	971	606	403	347	299	275	204	
12500	1961	2010	846	1060	535	393	480	375	265	185	
12037	2727	1600	1481	800	625	379	361	399	287	199	
11923	2500	1718	1333	903	795	567	325	385	242	172	
12300	2142	1903	1333	903	519	403	340	400	249	182	
11888	1989	1403	1118	1076	591	379	326	329	270	197	
9500	2976	1679	879	900	626	452	435	300	290	203	
12019	2500	2010	903	1050	702	389	389	301	206	188	
11333	1879	1749	1111	976	513	397	324	310	233	219	
9700	1700	1893	898	908	699	403	347	349	240	199	
10553	2400	1303	745		606	475	479	390	235	187	
		1989	800	903	591		355			196	
10553	1550			1077			392			213	
11373							349				

Cuadro N° 2. Valores obtenidos de número de árboles por hectárea para cada clase diamétrica.

Los datos del cuadro N° 2 pueden ser transformados a valores del área basal/hectárea con el propósito de dar una idea más clara de las altas densidades que se obtienen en los sitios de cobertura cerrada (densidades absolutas) (Cuadro N° 3). Sin embargo, el trabajar con valores de área basal para determinar la densidad dificulta la labor en los tratamientos de aclareo, ya que resulta más fácil y práctico el establecer cuántos individuos por hectárea y de qué diámetros son factibles de dejar en pie, y no así el definir un área basal residual, pero ¿en cuantos individuos y de qué diámetro?, lo cual resulta un poco ambiguo (Cano, *op. cit.*).

CLASES DIAMÉTRICAS (CM)										
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
ÁREA BASAL POR HA										
23.49	27.77	26.13	32.92	44.62	30.46	37.81	33.78	64.09	48.10	55.35
20.02	9.15	47.69	28.55	47.66	32.09	43.48	44.73	48.19	57.72	46.80
22.58	18.84	39.14	34.90	52.81	55.20	36.46	56.04	52.96	54.97	44.90
18.65	17.99	30.28	28.21	51.14	49.40	53.87	40.71	55.50	56.74	48.22
23.36	13.46	27.62	23.24	47.66	42.83	38.77	43.60	47.55	53.99	48.46
24.54	15.40	35.51	26.57	52.03	37.81	37.81	60.31	59.64	52.03	43.95
	21.41	28.27	46.51	39.26	44.17	36.46	45.36	63.45	56.35	47.27
23.63	19.63	30.35	41.87	44.32	56.19	43.48	40.84	60.91	47.51	42.52
23.41	16.82	33.62	41.87	44.32	36.68	37.42	42.72	63.61	48.89	43.24
24.15	15.62	24.79	35.12	52.81	41.77	38.19	40.96	52.32	53.01	46.80
23.34	23.37	29.67	27.61	44.17	44.24	38.77	54.66	47.71	56.94	48.22
18.65	19.63	35.61	28.36	51.54	49.62	45.70	48.88	47.87	40.44	44.66
23.19	14.75	30.90	34.90	47.90	36.26		40.71	49.30	45.74	52.03
22.25	13.35	33.45	28.21	44.57	49.40		43.60	55.50	47.12	44.42
19.04	18.84	23.02	23.40		42.83		60.19	62.02	46.14	46.56
20.72	14.83		25.13	44.32	41.77		44.61			50.60
20.00	12.17			52.86			49.26			
22.33							43.85			

Cuadro N° 3. Valores del área basal por hectárea.

La transformación se realizó utilizando la ecuación

$$AB = 0.7854 D^2 N$$

en donde:

0.7854 = constante

D^2 = diámetro al cuadrado

N = número de árboles

AB = área basal

Una vez que los valores del número de árboles por hectárea fueron ajustados, se procedió a obtener la curva de referencia, mediante curvas paralelas a la de ajuste, hasta lograr que dicha curva pasara por el valor más alto para un diámetro base de 25 cm el cual resultó de 1 077 árboles por ha (Figura N° 6).

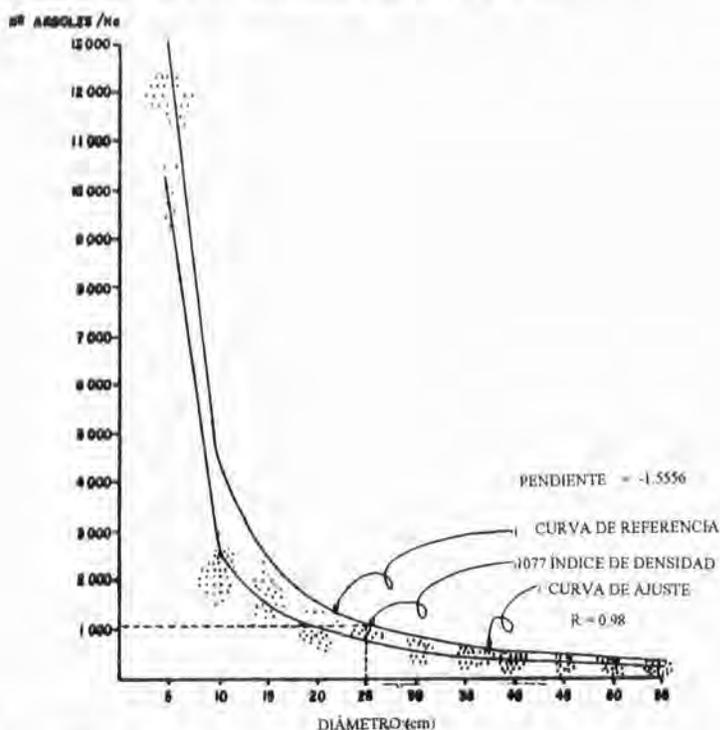


Figura N° 6. Determinación de la Curva de Referencia mediante curvas paralelas.

Curvas paralelas.

El hecho de obtener la curva de referencia (densidades absolutas) es el de establecer un punto de referencia o de comparación y definir la densidad que se tiene un momento dado (densidad relativa) y la que puede alcanzar una determinada especie *Pinus douglasiana*, lo que indicó si se trata de un rodal bastante o poco denso.

El procedimiento de cálculo se realizó de la siguiente manera:

a) Modelo de Reineke (modelo logarítmico):

$$\text{IDR} = e^{(\text{Ln}N + A \text{Ln} D + B)}$$

en donde:

IDR = índice de densidad

N = número de árboles

A = pendiente

B = intercepto

Ln = logaritmo natural

b) Modelo aplicado:

Una vez hecho el análisis estadístico se determinaron los valores consignados en el cuadro N° 4.

CLASE DIAMÉTRICA	ÁRBOLES/HA
5	9348
10	3178
15	1691
20	1081
25	764
30	576
35	453
40	368
45	307
50	260
55	224

Cuadro N° 4. Valores promedio de densidad.

Por lo que el modelo toma la siguiente expresión*:

$$\text{IDR} = e^{\text{LnN} + (-1.5556 \text{ LnD} - 11.6459)}$$

en donde:

-1.5556 = es la pendiente de la curva

11.6459 = intercepto

Los datos del cuadro anterior se derivan de la siguiente manera:

Despejando N se tiene:

Clase diamétrica de 5 cm:

$$\begin{aligned} \text{LnN} &= e^{11.6459 + (-1.5556 \text{ Ln } 5 \text{ cm})} \\ &= e^{(11.649 - 2.5029)} = 9.14 \\ &= e^{9.14} \\ &= 9348 \end{aligned}$$

Para la clase diamétrica de 10 cm:

$$\begin{aligned} \text{LnN} &= e^{11.6459 + (-1.5556 \text{ Ln } 10)} \\ &= e^{11.6459 - 3.5819} = 8.063 \\ &= 3178 \end{aligned}$$

Para las demás clases diamétricas se utilizó el mismo procedimiento. Los valores obtenidos sólo significan los datos de la curva de ajuste o valores intermedios de densidad. Por lo tanto, para definir la curva de referencia solo se tiene que variar el intercepto al origen conservándose la misma pendiente, así que el modelo toma la siguiente expresión:

* Se utilizan logaritmos naturales o neperianos.

Modelo:

$$\text{IDR} = e^{\text{Ln}(1077) + (-1.5556 \text{ LnD} + \text{B})}$$

en donde se despeja

b= (intercambio)

y se tiene:

1007 = significa el valor por el cual pasa la curva de referencia o sea

$$N = 1077$$

$$B = \text{Ln}(1077) - 1.5556 \text{ Ln}(25)$$

$$B = -11.989$$

Luego entonces el modelo de la curva de referencia es:

$$\text{IDR} = 1077 e^{\text{LnN} + (-1.5556 \text{ LnD} - 11.989)}$$

Los valores de máxima densidad se determinaron de manera similar que los datos anteriores, los cuales se concentran en el (Cuadro N° 5).

CLASE DIAMÉTRICA	ÁRBOLES/HA
5	13165
10	4479
15	2383
20	1523
25	1077
30	811
35	638
40	518
45	432
50	366
55	316

Cuadro N° 5. Valores de la **Curva de Referencia** o de máxima densidad que puede alcanzar la especie *Pinus douglasiana*.

Con el propósito de verificar la significancia del análisis de regresión de la relación diámetro medio/árboles por ha para la especie de *Pinus douglasiana*, fue necesario utilizar un análisis de varianza de la regresión (Cuadro N°. 6), con lo que se encontró que existe una correlación entre las variables ajustadas con el Modelo Reineke de: $r = 0.98$, y comparando el valor de F calculada (4385.3), con el valor de F tabulada (3.89) con un nivel de confiabilidad de 0.05 y con 176 grados de libertad, el primero resultó mayor, por lo que se deduce que dicha relación es altamente significativa, lo cual denota la positiva aplicación del modelo.

FV	GGL	SC	CM	F. CALC.	F. TAB.	
					5%	1%
Regresión	1	228.41	228.41	4385.3	3.89	6.75
Residual	176	9.1	0.052	F. Calc. = $\frac{\text{CM regresión}}{\text{CM residual}}$		
Total	177	237.58				

Cuadro N° 6. Análisis de varianza de la regresión.

Por otro lado se observa que *Pinus douglasiana* presenta pendiente similar de -1.5556 que otras especies utilizadas para estudios de densidad como: *Abies magnifica* empleada por Reineke y cuya pendiente fue de -1605. Para una variedad de especies en localidades puras y mixtas en los bosques de clima templado de la parte norte del oeste de Estados Unidos en donde el volumen medio del árbol fue graficado en función de la densidad y la pendiente de la regresión resultó de -1.48, donde surgió una relación similar para todas las especies consideradas Long, (1980). Así mismo el comportamiento de *Pinus douglasiana*, o su pendiente, es parecida a la descubierta por investigadores japoneses en especies herbáceas, cuya relación han denominado la Ley de los $-3/2$ o del Poder del Autoclareo, el cual describe el tamaño máximo vegetal en función de la densidad, sin considerar la edad; posteriormente esta ley o pendiente es

aplicada por Drew y Flewelling (*op. cit.*), para especies forestales en donde se describe la relación volumen máximo de las especies y la densidad de la localidad.

Tabla de densidades.

El propósito de elaborar una tabla para *Pinus douglasiana*, es el de poder comparar las densidades de distintos rodales, para lograr ésto, sólo basta con transformar los diferentes valores de densidad a una densidad equivalente a un diámetro promedio base de 25 cm, lo que significa que al conocer una densidad en número de árboles por hectárea de un rodal maduro que se considera el ideal en cuanto a su producción maderable (Vol/ha), se puede ir estableciendo mediante cortas una densidad equivalente en rodales de etapas de desarrollo inmaduras, para que éstos al llegar a su madurez alcancen la misma densidad del rodal que se considera ideal. Por ejemplo, si se tiene una masa arbolada con un diámetro promedio de 50 cm, y se presenta una población de 162 árboles por ha y que además se considera óptima en cuanto a densidad y producción, esta tendría su equivalencia o índice de densidad de 437* arb/ha, de tal forma que si el rodal se encontrará en un estado de desarrollo de vardascal con un diámetro de 10 cm, debería tener una densidad de 1820 arb/ha, y conforme avanza en su crecimiento hasta alcanzar un diámetro 20 cm, debería tener una población de 619 arb/ha, a los 30 cm, tendría 329 arb/ha, a los 40 cm, 221 arb/ha, continuando así hasta llegar a la categoría ideal con 162 arb/ha, manteniendo de tal manera las densidades equivalentes y adecuadas en cada etapa del rodal.

La tabla de densidades se origina a partir de la ecuación generada para la **Curva de Referencia** de la siguiente manera:

$$\text{Modelo: } \text{IDR} = 1077e^{-n/20} + (-1.5556n + 5 \text{ cm} - 11.989)$$

A manera de ilustración se toma como ejemplo el valor de 20 árboles por ha, (columna) para la categoría de 5 cm, (hiler) la cual tiene su equivalencia o índice de densidad de:

$$\text{Modelo: } \text{IDR} = 1077e^{-n/20} + (-1.5556n + 5 \text{ cm} - 11.989)$$

$$\text{IDR} = 2$$

* Este valor se obtiene; primeramente al encontrar en la columna No. árboles por Ha, el valor de 162 mediante interpolación el cual se relaciona con la hiler en donde coincide con el diámetro de 50 cm, posteriormente el índice encontrado 437 se va relacionando con la columna No. árboles por Ha, para cada una de las categorías diamétricas.

Para 40 árboles de la misma categoría:

$$\text{IDR} = 1077 e n 40 + (1.5556 n 5 - 11.989)$$

$$\text{IDR} = 3$$

Lo mismo se hace para los demás valores hasta lograr la tabla de densidades (Cuadro N° 7)

CONCLUSIONES

Para no subestimar las densidades absolutas de *Pinus douglasiana*, es necesario utilizar franjas de protección de 10 m de ancho.

Resulta más fácil y práctico determinar la densidad absoluta y expresarla en base al número de árboles residuales por categoría diamétrica dentro de los tratamientos de aclareos o cortas intermedias, que el emplear áreas basales, cuyos resultados se consideran ambiguos si no se relacionan con otros parámetros (número de árboles y diámetro).

El hecho de utilizar rodales coetáneos para determinar información sobre coberturas cerradas y no de superficies mayores (1/3 aproximadamente de ha utilizados por Reineke) resultaron difíciles de localizar por ser de un área de aprovechamiento forestal, permitió facilitar la toma de datos de campo y obtener valores significativos en el análisis de regresión con el modelo de Reineke.

La utilización del modelo resultó positiva, puesto que se aplica a la relación de número de árboles/ha y diámetro del *Pinus douglasiana*, lo cual resulta evidente en el análisis de varianza de la regresión de $r = 0.98$ y comparando el valor de F calculada de 4385 valor de F de tablas de 3.89 con el nivel de 0.05 con 176 grados de libertad el primero resulta mayor por lo que se concluye que la regresión es significativa.

Árb/Ha	CLASE				DIAMÉTRICA							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
20	2	5	9	14	20	27	34	41	50	54	68	78
40	3	10	18	28	40	53	67	82	100	108	136	156
60	5	14	27	42	60	80	101	124	149	162	207	234
80	7	19	36	57	80	106	135	165	199	216	272	313
100	8	24	45	71	100	133	169	206	249	270	340	391
200	16	48	90	141	200	265	337	412	498	539	679	781
300	25	72	135	212	300	398	506	618	747	809	1019	1172
400	33	96	180	282	400	531	675	824	997	1079		
500	41	120	225	351	500	664	843	1030	1245			
600	49	144	270	424	600	796	1012					
700	57	168	315	494	700	929						
800	65	192	360	565	800	1061						
900	74	216	405	636	900							
1000	82	240	451	707	1000							
1077	88	259	485	761	1077							
1200	98	288	541	848								
1300	106	312	586	919								
1400	115	336	631	989								
1500	123	369	676	1060								
2000	164	480	901									
3000	245	720	1351									
4000	327	960										
5000	409	1200										
6000	490											
7000	573											
8000	654											
9000	736											
10000	818											
12000	981											
14000	1145											

Ecuación
 $IDR = 1077e^{LnN + (-1.5556 LnD) - 11.989}$
 En donde
 IDR = Índice de densidad de Reineke
 1077 = Índice de densidad de la categoría de 25 (cobertura cerrada)
 N = Número de árboles
 -1.5556 = Pendiente
 -11.989 = Intercepción
 Ln = Logaritmos naturales o neperianos

Cuadro N° 7. Tabla de densidades para *Pinus douglasiana*, que tiene como índice de densidad 1 077 árboles a un diámetro de 25 cm.

Por otra parte, se observó que esta especie presenta similar comportamiento que otras especies de clima templado para estudios de densidades, como la utilizada por Reineke en *Abies magnifica* y las obtenidas por Drew y Flewelling.

Se observa además que *Pinus douglasiana* presenta pendiente similar a las obtenidas por: Reineke, Schnur, Stochr y Long.

El contar con una tabla de densidades para *Pinus douglasiana*, significa facilitar las labores de aclareo en los métodos de ordenación, puesto que se puede considerar que las cortas se aplican con mayor fundamento, con base en el comportamiento de la especie estudiada.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, R. R. 1971. Crown competition factor. (CCF) for Englemann spruce in the Central Rocky Mountains. USDA Forest Service Res. U.S.A.
- Bickford, C. A.; F. S. Baker and F. G. Wilson. 1957. Stoking normality and measurement of stand density. J. For. U.S.A.
- Briegleb, P. A. 1952. An approach to density measurement in douglas fir. J. For. U.S.A.
- Bruce, D. 1985. Comparisons of mensures of stand density. Lodgepole pine management work Conference, Bend, Or. E.U.A.
- Cano C., J. 1985. El sistema de manejo regular en los bosques de México. Apuntes DTF de Atenquique, Jal. México.
- Drew, T. J. and J. W. Flewelling. 1977. Some recent japonese theories of Yied-density relationships and their application to Monterrey pine plantations. For Sci. U.S.A.
- Ford-Robinson, F. C. 1971. Terminology of forest science. Technology practice and Products. Soc. Am. foresters, Washington, D.C. U.S.A

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. UNAM, México.
- Gingrich, S. F. 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forest in the Central States. For Sci. U.S.A.
- Hett, J. M. 1971. A dynamic analysis of age in sugar maple seedling. Ecology 52 U.S.A.
- Long, J. N. 1980. Productivity of western coniferous forests. In: R.L. Edmonds, U.S.A.
- Meyer, W. E. 1930. Diameter distribution series in even-aged forest stands. Yale Univ. School For. Bull. 28. U.S.A.
- Reineke, L. R. 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forests. J. Agric. Res. S.U. U.S.A.
- Schnur, G. L. 1937. Yield, stand and volume tables for event-aged upland oak forests. USDA tech. U.S.A.
- Stochr, H. A. 1955. Stem taper of trembling aspen. For. Science. U.S.A.
- SPP, DETENAL. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica. DETENAL, México.
- Stahelin, R. 1949. Thinning event-aged loblolly and slash pine stand to specific densities. J. For. 47 U.S.A.
- Yoda, K., T. Kira, H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in over crowded pure stand under cultivated and natural conditions. J. Biol. Osaka City Univ.

EFFECTO DE CINCO PROFUNDIDADES DE SIEMBRA EN LA EMERGENCIA DE *Pinus engelmannii*, EN ALMÁCIGO.

Prieto Ruiz José Angel*
Rubio Chaidez Félix**

RESUMEN

Se realizó un ensayo en el Vivero Forestal "Guadiana" dependiente de la SARH, ubicado en la ciudad de Durango. Se analizó el efecto de cinco profundidades de siembra (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 cm) en la emergencia de *Pinus engelmannii* Carr. en almácigo. Se empleó un diseño experimental completamente al azar; cada unidad experimental constó de 100 semillas. Los resultados muestran que los días medios de emergencia variaron de 16.31 a 17.65, con los menores valores para las profundidades de siembra de 0.5, 1.0 y 2.0 cm. Los mejores porcentajes de emergencia total se obtuvieron en las profundidades de 0.5 y 1.0 cm con 66.2 y 64.1 %, respectivamente; por lo tanto, son las profundidades de siembra más recomendables.

Palabras clave: Almácigo, germinación, profundidad de siembra, bosques de pino, *Pinus engelmannii*, Durango.

SUMMARY

An essay was carried out in the "Guadiana" forest nursery of the SARH, located in the city of Durango. The effect of five sowing depths of *Pinus engelmannii* Carr. were analyzed (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 cm) with respect to the emergency in the seedbed.

Ingeniero Agrónomo. Maestro en Ciencias. Investigador del Campo Experimental Valle de Guadiana, CIR Norte Centro, INIFAP, SARH.

** Ex-Auxiliar Técnico del Campo Experimental Valle de Guadiana, CIR Norte Centro, INIFAP, SARH.

The experimental design used was a completely randomized plots with 100 seeds per experimental unit. The results show that the average days of emergency were from 16.31 to 17.65, with the smallest values for the 0.5, 1.0 y 2.0 cm sowing depths. The best emergency total percentages were obtained in the sowing depths of 0.5 and 1.0 cm with 66.2 and 64.1 %, respectively: therefore those are the more appropriate.

Key words: Seedbed, germination, sowing depth, pine forests *Pinus engelmannii*, Durango.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de plantaciones forestales es una práctica que afortunadamente cada vez se hace más cotidiana. La importancia que tiene esta actividad se debe a los diversos usos posibles, y a la necesidad de contrarrestar los efectos negativos que a través del tiempo ha ocasionado el ser humano en la naturaleza. Sin embargo, en muchos casos los resultados han sido poco satisfactorios debido entre otras cosas, a la inadecuada aplicación de técnicas y la falta de seguimiento.

Uno de los factores decisivos en el éxito de las plantaciones forestales, es la calidad de la planta producida en vivero; por lo que es de vital importancia tener cuidado en cada una de las actividades realizadas en la fase de producción (Pimentel, 1971)¹. Dentro de las actividades a considerar, la profundidad de siembra juega un papel trascendente en la emergencia y sobrevivencia de las plántulas, ya que es la etapa inicial del proceso productivo.

En los viveros forestales del estado de Durango, la siembra se realiza sin considerar parámetros que definan la profundidad óptima (Becerra y Rubio, 1980)², esto ha provocado resultados insatisfactorios. Debido a lo anterior, se efectuó el presente ensayo con la finalidad de encontrar la profundidad de siembra en almácigo, que permita la mejor emergencia de *Pinus engelmannii* Carr., especie ampliamente distribuida y utilizada con fines comerciales en el estado de Durango.

¹ Pimentel B., L. 1971. Viveros, semilleros portátiles y el transplante anticipado. pp. 4-26.

² Becerra G., J. L. y Rubio C., N. 1980. Viveros Forestales del Estado de Durango.

REVISIÓN DE LITERATURA

La profundidad de siembra en las especies del género *Pinus*, depende básicamente de la especie y de las características del sustrato de germinación; sin embargo, en términos generales puede tomarse como criterio que sea dos veces el grosor de la semilla (Musálem y Fierros, 1979³, Cuevas, 1985⁴).

En los viveros forestales de España, la profundidad de siembra se realiza entre 0.5 y 2.0 cm (Navarro, 1980)⁵.

En México, los trabajos realizados para determinar la profundidad de siembra apropiada en coníferas son limitados, a continuación se citan algunos de ellos.

En los viveros de la Región Central de México, en el 65% de ellos se considera como criterio para definir la profundidad de siembra el tamaño de la semilla de la especie a propagar; por otro lado, en el 30 % de los viveros la semilla se entierra a una profundidad de dos veces su diámetro y en el 5% restante no se tiene definida la profundidad de siembra (Galván, 1983)⁶.

La profundidad de siembra para especies mexicanas del género *Pinus* debe ser entre 1.0 y 1.5 cm (Pimentel, *op. cit.*).

En un ensayo realizado en *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* y *P. ayacahuite* var. *veitchii*, se probaron seis profundidades de siembra; los mejores resultados de emergencia se lograron con la profundidad de 1.0 cm (Zavala, 1971)⁷.

Al probar la influencia de seis profundidades de siembra en tres especies, tanto para la emergencia como para el desarrollo, se encontró que la semilla de *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* debe enterrarse 2.0 cm, mientras que en *Abies religiosa* debe ser entre 0.5 y 1.5 cm (Galván y Martínez, 1985)⁸.

³ Musálem S., M. A. y Fierro G., A. M. 1979. Viveros y plantaciones forestales.

⁴ Cuevas R., R. A. 1985. Situación actual de algunos viveros de la república Mexicana. pp. 320-337.

⁵ Navarro G., M. 1980. El cantón de los viveros forestales del ICONA.

⁶ Galván D., M. 1983. Situación actual de los viveros forestales de la República Mexicana.

⁷ Zavala Z., D. 1971. Cuatro ensayos de técnicas de vivero con algunas especies de *Pinus*.

⁸ Galván D., M. y Martínez M., P. 1985. Diferentes profundidades de siembra en almácigo de *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Mtz. y *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham. pp. 338-361.

En *Pinus montezumae* se hicieron siembras a cinco profundidades y se encontró que la profundidad que permitió obtener la mejor emergencia y el más apropiado desarrollo inicial de las plántulas, varió entre 0.5 y 2.0 cm (Vera, 1986)⁹.

En *Pinus hartwegii* se probaron cinco profundidades de siembra, y se encontró que cuando se sembró entre 0.25 y 1.0 cm, los porcentajes de emergencia fueron los mejores (superiores al 80 %); además, la calidad de la planta también fue favorecida en ese rango de profundidad (Prieto, 1986)¹⁰.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización.

El presente trabajo se realizó en el Vivero Forestal "Guadiana", dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y ubicado en el parque del mismo nombre, al poniente de la ciudad de Durango, entre las coordenadas geográficas: 24°01'24" de latitud norte y 104°41'18" de longitud oeste.

El clima corresponde a un BS Kw (W), templado semiseco con lluvias en verano y precipitación invernal menor del 5% del total anual. La temperatura media es de 17.7°C, la máxima de 37.5°C y la mínima de 10°C; la precipitación media anual es de 466 mm, con un período de lluvias de junio a septiembre (SARH, 1990)¹¹.

Características de la semilla utilizada.

La semilla se colectó en el paraje "Cruz de Piedra", localizado en el km 85 de la carretera Durango-Mazatlán. Las coordenadas geográficas son 23° 07' 00" de latitud norte y 105° 15'00" de longitud oeste, aproximadamente. Al momento de utilizar la semilla, ésta presentó un 67.7 % de germinación. La prueba se realizó en cajas de Petri con algodón, a temperatura ambiental.

⁹ Vera C., J. A. G. 1986. Estudio de algunos factores que influyen en la producción de *Pinus montezumae* Lamb., en vivero

¹⁰ Prieto R., J. A. 1986. Estudio de algunos factores que afectan la producción de *Pinus hartwegii* Lindl., en vivero.

¹¹ SARH. 1990. Servicio meteorológico en el Estado de Durango.

Tratamientos y diseño experimental.

Se probaron cinco profundidades de siembra (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 cm), en un diseño experimental completamente al azar; cada tratamiento estuvo constituido por cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de 100 semillas.

Sustratos.

Como sustrato se empleó limo, debido a que es el que utilizan en el vivero donde se desarrolló el trabajo. El sustrato se empleó sin esterilizar por falta de equipo adecuado para aplicar el esterilizador.

Metodología de establecimiento.

En cada almácigo se sembraron 100 semillas, separadas entre sí a 2.0 cm; previo a la siembra se realizó un riego fuerte para reducir los espacios de aire. La profundidad de siembra se marcó con un lápiz, colocándole una obstrucción para evitar una profundidad mayor a la deseada. Una vez realizada la siembra, la semilla fue cubierta con sustrato de las mismas características.

Mediciones y análisis estadístico.

Se registró la emergencia desde su inicio hasta que se estabilizó, lo cual ocurrió a los 32 días. Con la información obtenida se determinaron los días medios de emergencia, los cuales se compararon a través de una prueba de T. Con los datos de emergencia final se realizó un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey; debido a que los valores estaban en porcentaje, éstos fueron transformados por medio de la función: $(\arccos(\text{raíz cuadrada del porcentaje}))$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos desde el inicio de la emergencia hasta su estabilización se presentan en la Figura N° 1, donde se aprecia que el inicio de la emergencia quedó enmarcada en dos grupos: presentándose primero en las profundidades de 0.0, 0.5 y 1.0 cm, a los 11 días de la siembra, mientras que el otro grupo (1.5 y 2.0 cm) inició la emergencia a los 15 días de la siembra.

La emergencia se estabilizó primero en las profundidades de siembra de 0.5, 1.5 y 2.0 cm. a los 21 días de efectuada la siembra con porcentajes de 66.2, 41.2 y 28.2 %, respectivamente; posterior a esta fecha correspondió a las profundidades de 1.0 y 0.0 cm. cesar la emergencia a los 24 y 32 días con 64.1 y 56.4 % (Figura N° 1).

Entre los días 15 y 19 ocurrió en todos los tratamientos más del 50 % de la emergencia total, y a partir del día 19 ningún tratamiento tuvo más del 11 % de emergencia, en relación a la total, de ahí que los días medios de germinación variaron de 16.31 a 17.65, correspondiendo la emergencia media más rápida a las profundidades de siembra de 0.5 y 1.0 cm. La desviación estándar muestra que la menor variación ocurrió en las profundidades de 1.0 y 0.5 cm; (Cuadro N° 1).

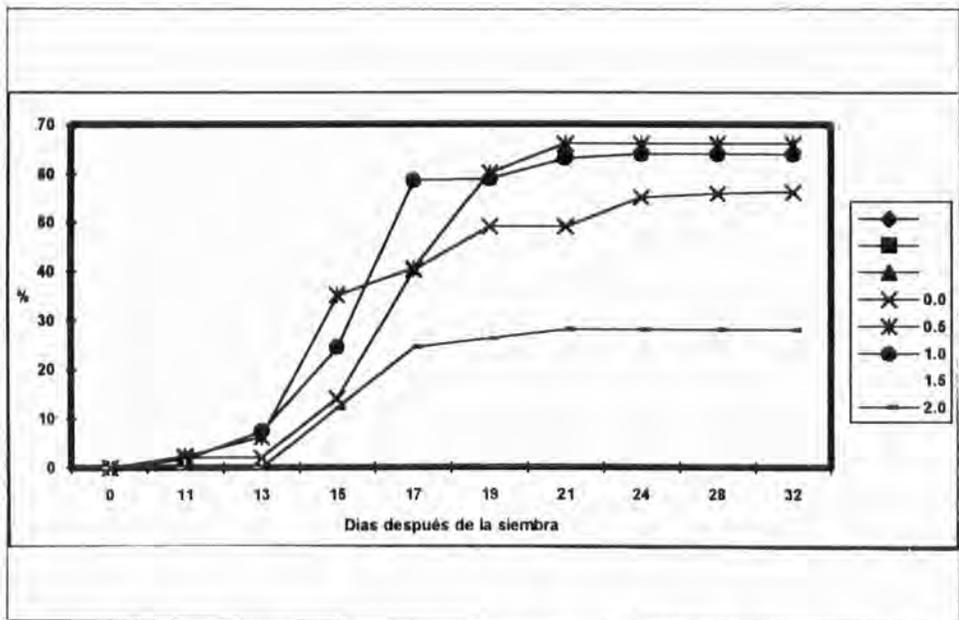


Figura N° 1. Emergencia acumulada por profundidad de siembra

Días a partir de la siembra (Nº)	Emergencia (%) por profundidad de siembra (cm)				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
11	2.07	2.37	1.78	0.00	0.00
13	0.00	3.86	5.63	0.00	0.00
15	12.17	29.02	17.21	10.38	12.16
17	26.11	5.50	34.13	23.74	12.46
19	8.90	19.48	0.30	5.64	1.78
21	0.00	5.94	4.15	1.48	1.78
24	5.94	0.00	0.89	0.00	0.00
28	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Días medios	17.65	16.62	16.31	16.91	16.51
Desv. estándar	3.29	2.55	2.13	2.92	2.85

Cuadro N° 1. Emergencia de plántulas por día, y días medios de emergencia en cinco profundidades de siembra.

La comparación de los días medios de emergencia a través de la prueba de T, muestran que no existen diferencias estadísticas (Cuadro N° 2); lo anterior, es lógico si se considera que la diferencia máxima entre las comparaciones es tan sólo de 1.34. Estos resultados muestran que los días medios de emergencia no fueron afectados por el efecto de la profundidad de siembra, al ocurrir en similar periodo, a pesar de que en la emergencia final existieron diferencias notables entre tratamientos.

El análisis de varianza realizado a la emergencia total, señala que existen diferencias estadísticamente significativas entre las profundidades de siembra probadas (Cuadro N° 3).

Profundidades de siembra (cm)	T calc.	Significancia	Profundidades de siembra (cm)	T calc.	Significancia
0.0 - 0.5	0.85	NS	0.5 - 1.5	0.32	NS
0.0 - 1.0	1.19	NS	0.5 - 2.0	0.10	NS
0.0 - 1.5	0.71	NS	1.0 - 1.5	0.65	NS
0.0 - 2.0	1.07	NS	1.0 - 2.0	0.22	NS
0.5 - 1.0	0.28	NS	1.5 - 2.0	0.50	NS

NS = No significativo al nivel de prob. de 0.05. $T_{(0.05, 8gl)} = 2.30$

Cuadro N° 2. Comparación de los días medios de emergencia, a través de la prueba de T en cinco profundidades de siembra.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	b > F
Tratamientos	4	413.87	9.34	0.01**
Error	15	44.31		
Total	19			

** Significativo al nivel de probabilidad de 0.01

Cuadro N° 3. Análisis de varianza para la emergencia total obtenida en diferentes profundidades de siembra.

En la prueba de medias de Tukey se aprecia que los resultados quedaron integrados en tres niveles, correspondiendo a las profundidades de 0.5, 1.0 y 0.0 cm ocupar el nivel superior; el siguiente nivel quedó integrado con las profundidades de 0.0 y 1.5 cm y finalmente, el grupo inferior se integró con las profundidades de 1.5 y 2.0 cm (Cuadro N° 4); lo anterior hace que estadísticamente las profundidades de siembra de 0.5 y 1.0 cm sean las mejores para esta variable.

Profundidad de siembra (cm)	Emergencia (%)
0.5	66.2 A
1.0	64.1 A
0.0	56.4 AB
1.5	41.2 BC
2.0	28.2 C

Cuadro N° 4. Prueba de Tukey* para la emergencia total obtenida en diferentes profundidades de siembra.

Durante el transcurso de la emergencia y en la emergencia total (Figura N° 1), los más altos porcentajes ocurrieron en las profundidades de siembra de 0.0, 0.5 y 1.0 cm, debido tal vez a que las semillas tuvieron condiciones adecuadas de luz y temperatura para realizar el proceso de germinación, situación que no sucedió en las profundidades de 1.5 y 2.0 cm, donde posiblemente la energía de reserva que tienen las semillas fue insuficiente para que lograran emerger; otra posible causa fue que el sustrato se compactó, lo que provocó que la semilla tuviera problemas para emerger libremente.

Cuando la semilla fue puesta sobre la superficie del sustrato, presentó resultados aceptables de emergencia; aunque, fue la que más tardó en terminar la emergencia. Si los almácigos no se protegen, se corre el riesgo que la semilla sea depredada por pájaros y roedores; o como lo indica Vera (*op. cit.*), puede ser afectada por cambios bruscos de temperatura al estar expuesta a las condiciones del medio. Para este caso, estas situaciones no se presentaron, ya que los almácigos se protegieron con mallas de alambre y por otro lado, las condiciones de temperatura fueron bastante favorables cuando se desarrolló el trabajo.

Al comparar los mejores porcentajes de emergencia final (66.2 y 64.1 %, para las profundidades de 0.5 y 1.0 cm), se observa que dichos valores están muy cercanos al obtenido en la prueba de germinación del lote (67.7 %), lo que indica que en esos tratamientos germinó cerca del 96 % del germoplasma en buen estado.

* Al nivel de la probabilidad de 0.05; valores con la misma letra significa que no tienen diferencias estadísticas.

CONCLUSIONES

1. La profundidad de siembra influyó en la emergencia total.
2. Los mejores porcentajes de emergencia final se presentaron en las profundidades de siembra de 0.5 y 1.0 cm.
3. Cuando se siembre semilla de *Pinus engelmannii* en almácigo, se recomienda que no rebase la profundidad de un centímetro, para que no se afecte la emergencia total.

BIBLIOGRAFÍA

- BECERRA G., J.L. y RUBIO C., N. 1980. Viveros Forestales del estado de Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México. 66 p. (Inédito)
- CUEVAS R., R.A. 1985. Situación actual de algunos viveros de la república Mexicana. *In:* Tercera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, SARH, México. pp. 320-337.
- GALVÁN D., M. 1983. Situación actual de los viveros forestales de la República Mexicana. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Bosques, Chapingo, México. 154 p.
- GALVÁN D., M. Y MARTÍNEZ M., P. 1985. Diferentes profundidades de siembra en almácigo en *Pinus montezumae* Lamb. *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Mtz. y *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham. *In:* Tercera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, SARH, México. pp. 338-361.
- MUSÁLEM S., M. A. Y FIERROS G., A. M. 1979. Viveros y plantaciones forestales. Apuntes. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de de Bosques, Chapingo, México, 250 p.
- NAVARRO G., M. 1980. El catón de los viveros forestales del ICONA. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid, España.

105 p.

PIMENTEL B., L. 1971. Viveros, semilleros portátiles y el transplante anticipado. Rev. Bosques y Fauna (3):4-26. México.

PRIETO R., J.A. 1986. Estudio de algunos factores que afectan la producción de *Pinus hartwegii* Lindl. en vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 93 p.

SARH. 1990. Servicio meteorológico en el estado de Durango. Durango, México.

VERA C., J. A. G. 1986. Estudio de algunos factores que influyen en la producción de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 141 p.

ZAVALA Z., R. 1971. Cuatro ensayos de técnicas de vivero con algunas especies de *Pinus*. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura, Departamento de Bosques. Chapingo, México. 128 p.

ELABORACIÓN DE TARIFAS DE VOLÚMENES A PARTIR DE ANÁLISIS TRONCALES.

Aguilar Ramírez Mario*

RESUMEN

Los trabajos de campo para este estudio, se realizaron en el predio "Rancho Viejo", municipio de Tejupilco, el cual se ubica dentro de la superficie que comprende la ex-Unidad de Administración Forestal número 4 "Tejupilco", del Estado de México. Se procedió a la elaboración de análisis troncales, aprovechando para ello los cortes a longitudes comerciales en árboles de las clases diamétricas de 5 a 60 cm, en los diferentes frentes de corta.

Para el análisis de las diferentes relaciones, se desarrollaron diversos programas de cómputo que se procesaron en una calculadora programable Texas Instruments 59 (TI-59) de acuerdo con los 11 modelos siguientes:

1. Lineal	$Y = a + bx$
2. Logarítmico	$Y = a + b \ln x$
3. Cuadrático	$Y = a + b x^2$
4. Hiperbólico	$Y = a + b/x$
5. Raíz cuadrada	$Y = a + b \sqrt{x}$
6. Hiperbólico raíz cuadrada	$Y = a + b/\sqrt{x}$
7. Exponencial	$Y = ae^{bx}$
8. Potencial	$Y = ax^{bx}$
9. Asintótico	$Y = bx + a/x$
10. Weibull	$Y = T (1 - e^{-bx^{1/W}}) + Y_0$
11. Schumacher	$Y = a + b/x^k$

* Ingeniero Agrónomo Forestal, Investigador Titular del Campo Experimental Forestal y Agropecuario Uruapan, CIR-Pacífico Centro, INIFAP, SARH.

El modelo de Schumacher fue el que mejor descripción proporciona del evento y por lo tanto fue el utilizado para la elaboración de la tarifa de volúmenes a partir de la información obtenida de los análisis troncales.

Se logró obtener una tarifa de volúmenes para *Pinus pseudostrobus* que tiene por entrada el diámetro normal de las clases diamétricas de 5 a 60 cm; la cual arroja volúmenes ilógicos después de la clase diamétrica de 60 cm, debido a que a partir de esta, los volúmenes fueron extrapolados ya que no se contó con árboles-muestra, por lo que se recomienda para la elaboración de tablas o tarifas de volúmenes con esta metodología, que los árboles-muestra seleccionados comprendan todas las clases diamétricas que se encuentren en el rodal, estrato o bosque al cual se van aplicar.

Palabras clave: Tarifas y tablas de volúmenes, medición forestal, bosques de pino, *Pinus pseudostrobus*, Estado de México.

ABSTRACT

The field works for this study, were carried out at "Rancho Viejo" estate, in the Tejupilco municipality, that is located within the former Unidad de Administración Forestal number 4 "Tejupilco", on the state of Mexico. Stump analysis were made at commercial length cutting sections, used on trees with diameter classes from 5 to 60 cm on the different cut fronts.

For the analysis for different ratios, there were developed several computer programs procesed with a programable calculator Texas Instruments 59 (TI-59) according to the following eleven models:

- | | |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1. Lineal | $Y = a + bx$ |
| 2. Logaritmico | $Y = a + b \ln x$ |
| 3. Cuadratic | $Y = a + b x^2$ |
| 4. Hiperbolic | $Y = a + b/x$ |
| 5. Square root | $Y = a + b \sqrt{x}$ |
| 6. Square root hiperbolic | $Y = a + b/\sqrt{x}$ |
| 7. Exponencial | $Y = ae^{bx}$ |
| 8. Potential | $Y = ax^b$ |
| 9. Asintetic | $Y = bx + a/x$ |
| 10. Weibull | $Y = T (1 - e^{-(x-x_0)^w}) + Y_0$ |

11. Schumacher

$$Y = a + b/x^k$$

The Schumacher model describes on better form the event, for this reason it was used to elaborate the volume tables with the information obtained on stump analysis.

A volume table for *Pinus pseudostrabus* was obtained, it began on the 5 cm diameter classes to 60 cm (DBH), this table shows non logical volumes after the 60 cm diameter class, because since this class the volumes were extrapolated due to the inexistence of sample-trees. For this reason is recomended for the elaboration of this kind of volume tables the use of sample-trees in all diameter classes founded on the stand, or forest area in wich this volume tables will be used.

Key words: Volume tables, forest mesuration, pine forests, *Pinus pseudostrabus*, state of México.

INTRODUCCIÓN

En todo estudio dasonómico que sirva para soportar un aprovechamiento forestal, es indispensable conocer el volumen de los árboles que se aprovecharán antes de que estos sean derribados, para ello se realizan tabulaciones ajustadas que relacionan su diámetro normal (DAP o diámetro a 1.3 m de altura), su altura total o ambos, con su volumen. Generalmente en las actividades de marqueo de los árboles que se seleccionan para ser derribados, de acuerdo con un proyecto o plan de ordenación o manejo forestales, se hace solo la medición del diámetro normal y con este dato, se obtiene su volumen de acuerdo con una tarifa de volúmenes.

Por esto, en la entonces Unidad de Administración Forestal número 4 "Tejupilco", del Estado de México, se realizó el presente estudio, con la intención de obtener una tarifa de volúmenes a partir de análisis troncales.

OBJETIVO

Este estudio tiene como objetivo dar a conocer los pasos a seguir para la elaboración de una tarifa de volúmenes a partir de análisis troncales, esperando con esto, fomentar el desarrollo de este tipo de herramientas útiles en la evaluación y medición forestales.

ANTECEDENTES

Para el análisis teórico de la elaboración de tarifas o tablas de volúmenes, existen un gran número de artículos, ensayos, trabajos de tesis, e incluso capítulos de todo libro de dasometría o medición forestal; aunque en la práctica, son muy pocos los organismos o agrupaciones forestales que realizan sus propias tarifas o tablas de volúmenes, ya que las que se utilizan en la actualidad, fueron desarrolladas para un grupo de especies y/o para grandes superficies forestales, como en el caso del Inventario Nacional Forestal y de la gran mayoría de los distintos tipos de Unidades Forestales en el país; por lo que en determinadas circunstancias no son funcionales para lugares específicos dentro una misma región.

Por otro lado, casi cualquier profesional forestal, ha escuchado o se ha enterado de que es posible elaborar tarifas o tablas de volúmenes a partir de análisis troncales, pero muy pocos tienen referencias al respecto; por lo que éste trabajo, se considera como una aportación más en lo que a metodología se refiere, y como tal se expone para su revisión, análisis y/o aplicación, aceptándose de antemano cualquier sugerencia que redunde en el mejoramiento de este tipo de estudios.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las actividades de campo de este estudio se llevaron a cabo en la superficie de la ex-Unidad de Administración Forestal número 4 "Tejupilco", Estado de México, cuya localización geográfica se encuentra entre los paralelos 18°15' y 19°15' de latitud norte y los meridianos 99°45' y 100°20' de longitud oeste, en altitudes que fluctúan entre 3 000 y 700 msnm, con una superficie total de 340 873 Ha de las cuales 88 538 Ha son arboladas y 61 863 Ha corresponden a la superficie forestal aprovechable.

Específicamente para la elaboración del presente estudio, se seleccionó a la especie *Pinus pseudostrobus* localizada en el predio particular denominado "Rancho Viejo" del municipio de Temascaltepec, Estado de México.

METODOLOGÍA

Toma de datos

Se realizaron análisis troncales de acuerdo con la metodología propuesta por Klepac (1976)¹, con modificación en cuanto a la longitud de las trozas para definir las secciones de medición (rodajas) y en cuanto el grupo de anillos anuales de crecimiento, que fue de 5.

Las mediciones y lecturas se tomaron en la sección del tocón a la altura de 0.30 m, todas las demás se tomaron en las secciones obtenidas cada 2.60 m, hasta que el diámetro del fuste comercial se redujera a 30 cm; después, las secciones de medición se obtuvieron a 1.20 m de longitud, hasta un diámetro mínimo de 10 cm; de aquí hasta la punta sólo se midió la longitud en metros. Para esto se aprovechó el frente de corta, para obtener los árboles-muestra y no afectar la obtención de trozas de medidas comerciales de la trocería, a excepción del primer trozo, que es indispensable para hacer las mediciones en la sección a 1.30 m de altura para realizar el análisis en el diámetro normal (DAP). Con los datos de campo se elaboraron las curvas de desarrollo en diámetro, altura y área basal de todas las secciones de cada árbol-muestra que fueron medidas.

Obtención de volumen

Los volúmenes de las trozas a las diferentes clases de edad, se calcularon de acuerdo con la fórmula de Smalian:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot L$$

¹ Klepac, D. 1976. Crecimiento e Incremento de árboles y masas forestales.

Donde:

S_1 = Área de la Sección (base) mayor

S_2 = Área de la Sección (base) menor

L = Longitud de la troza

V = Volumen

El volumen de la punta se calculó con la fórmula del cono:

$$V = \frac{S}{3} L$$

Donde:

S = Área de la Sección (base)

L = Longitud de la troza (a la punta)

V = Volumen

Para la rápida obtención de los volúmenes, se desarrolló un programa de cómputo para ser utilizado en una calculadora Texas Instruments 59 (Camarena, 1984)².

Dado que los datos a utilizar deberían estar referidos a cada clase diamétrica, se procedió a determinar, de la relación edad-diámetro, las edades a las cuales los árboles alcanzaron las distintas clases diamétricas. Para lograr lo anterior, dichas relaciones fueron armonizadas para obtener la ecuación de la curva con menor variación entre aquellas del mismo tipo, utilizándose para ello los 11 modelos siguientes:

Modelo	Fórmula
1. Lineal	$Y = a + bx$
2. Logaritmico	$Y = a + b \ln x$
3. Cuadrático	$Y = a + b x^2$
4. Hiperbólico	$Y = a + b/x$
5. Raíz cuadrada	$Y = a + b \sqrt{x}$
6. Hiperbólico raíz cuadrada	$Y = a + b/\sqrt{x}$
7. Exponencial	$Y = ae^{bx}$
8. Potencial	$Y = ax^b$
9. Asintético	$Y = bx + a/x$
10. Weibull	$Y = T (1 - e^{-(x-x_0)^k}) + Y_0$
11. Schumacher	$Y = a + b/x^k$

²Camarena, V.R. 1984. Las calculadoras programables. Inédito

Donde:

- Y = Término dependiente
- a = Punto de intersección
- b = Pendiente
- x = Término independiente
- Γ = Límite mayor de los datos de Y
- Xo = Límite menor de los datos de X
- Yo = Límite menor de los datos de Y
- Ln = Logaritmo natural
- k = Constante
- v = Constante
- e = Base de los logaritmos naturales (e= 2.718281828)

Para la obtención de las ecuaciones predictivas a partir de los datos no ajustados, se utilizaron los primeros nueve modelos y un programa de cómputo para la calculadora Texas Instruments 59 (Micheal, 1979)³; el modelo de Weibull fue procesado igualmente en una TI-59 (Day, 1980)⁴; y para probar el modelo de Schumacher fue necesario desarrollar un programa de cómputo para esta misma calculadora (Camarena, *op. cit.*), de acuerdo con la metodología presentada por Aguilar (1983)⁵.

Una vez que se determinaron las edades a las cuales se alcanzaban las diferentes clases diamétricas, se procedió a obtener el volumen correspondiente para cada clase. Estos volúmenes fueron obtenidos de la relación edad-volumen, utilizando el modelo de Schumacher.

Posteriormente se obtuvo la relación diámetro-volumen y se probaron los 11 modelos mencionados, resultando nuevamente el modelo de Schumacher con el mayor coeficiente de correlación; de esta relación se obtuvieron los volúmenes ajustados y con éstos se realizó la tabulación.

³Micheal, G.L. 1979. Ajuste automático de curvas.

⁴Day, R.J. 1980. El modelo de Weibull modificado.

⁵Aguilar, R.M. 1983. "El método de Hufnagl modificado por Aguilar".pp.15-21.

RESULTADOS

Se logró obtener una tarifa de volúmenes la cual tiene como entrada el diámetro normal (DAP) en centímetros, que proporciona el volumen en metros cúbicos (Cuadro N° 1), siendo el modelo matemático el siguiente:

$$Lny = a + b 1/x^k$$

Donde:

y = Volumen (metros cúbicos)

x = Diámetro (centímetros)

a = -10.1098

b = -2.28801

k = -0.3448

Substituyendo estos valores tenemos:

$$Lny = -10.1098 + (-2.8801) / X^{-0.3448}$$

Diámetro normal (cm)	Volumen (m3)
5	0.0061
10	0.0238
15	0.0619
20	0.1330
25	0.2540
30	0.4478
35	0.7443
40	1.1820
45	1.1820
50	2.6893
55	3.8968
60	5.5263

Cuadro N° 1. La tabulación del volumen por clases diamétricas.

Ahora bien, a **manera de ejemplo** se presenta el desarrollo del cálculo que se realizó para obtener la edad correspondiente a los 20 cm de diámetro normal en el árbol-muestra número 1.

Se parte de que ya se tiene el conteo y medición de los anillos de crecimiento a las diferentes alturas y en periodos de 5 años.

Se toman los valores de las mediciones del diámetro normal y con estos datos se procede a ajustar o armonizar la curva de la relación edad-diámetro, para ajustar o armonizar la relación edad-diámetro; como ya se dijo, se probaron 11 modelos matemáticos, resultando ser el de Schumacher el que mejor ajusta esta relación.

Así pues, una vez obtenidos los coeficientes del modelo, se procedió a encontrar la edad a la cual este árbol alcanzó un diámetro normal de 20 cm. El despeje y sustitución resultó como sigue:

La fórmula del modelo Schumacher es:

$$Lny = a + b 1/x^k$$

Donde ahora:

$$a = \text{Punto de intersección} = 5,5730$$

$$b = \text{Pendiente} = -10,3576$$

$$k = \text{Constante} = 0,5138$$

$$x = \text{Para este caso es igual a la edad} = x_1$$

$$y = \text{En este caso es el diámetro} = 20 \text{ cm.}$$

Despejando x se tendrá:

$$Lny = a + b / x^k$$

$$Lny - a = b / x^k$$

$$x^k (Lny - a) = b$$

$$x^k = b / Lny - a$$

Ahora, substituyendo las literales por sus correspondientes valores:

$$x^{0.5138} = -10.3576 / (\text{Ln } 20 - 5.5730)$$

$$x^{0.5138} = -10.3576 / 2.5773)$$

$$x^{0.5138} = 4.0188$$

$$x = 15.0$$

De lo que se concluye que el árbol necesita 15 años para alcanzar un diámetro normal de 20 cm. De igual manera, se procedió con todas las clases diamétricas y con todos los árboles tomados como muestra. De esta forma se puede observar la relación edad-diámetro ajustada o armonizada para el árbol-muestra número 1 (Cuadro N° 2)

Edad (años)	Diámetro normal (cm)
5	6.5
10	9.4
15	12.2
20	15.0
25	17.9
30	20.9
35	24.1
40	27.6
45	31.3
50	35.2
55	39.5
60	44.2

Cuadro N° 2. Relación edad-diámetro del árbol muestra número 1.

Posteriormente se procedió de manera análoga a la expuesta en la relación edad-diámetro para ajustar la relación edad-volumen con el modelo de Schumacher; los coeficientes fueron obtenidos por medio de una calculadora programable.

Así para esta relación, el modelo con sus respectivos coeficientes quedó de la siguiente manera:

$$Lny = a + b 1/x^k$$

Donde en este caso:

$$\begin{aligned}y &= \text{Volumen} \\a &= 11.1593 \\b &= -29.1760 \\k &= 0.2924 \\x &= \text{Edad}\end{aligned}$$

Para continuar con el ejemplo se debe encontrar el volumen que este árbol tenía a la edad de 15 años, que es cuando el individuo tenía 20 cm de diámetro normal; por lo tanto, lo que finalmente se determina es el volumen del árbol a los 20 cm.

La sustitución y cálculo correspondiente se presenta a continuación:

$$Lny = 11.5993 + (-29.1760) x^{0.2924}$$

$$Lny = 11.1593 - (29.1760/2.2074)$$

$$Lny = 11.1593 - 13.2174$$

$$y = \text{Antilogaritmo} - 2.0581$$

$$y = 0.1277$$

Finalmente se concluye que cuando el árbol muestra número 1 tenía un diámetro normal de 20 cm, le correspondía un volumen de 0.1277 metros cúbicos (sin corteza). De esta manera se calculan los volúmenes correspondientes a todas las categorías diamétricas encontradas y para todos los árboles-muestra.

Lo anterior en forma breve significa que para el cálculo de los volúmenes de las diferentes clases diamétricas, se requiere encontrar primeramente la edad a la cual el

individuo alcanzó un determinado diámetro normal; para esto, se requieren mediciones realizadas en la sección a la altura de 1.30 m. Posteriormente, con esa edad se determina el correspondiente volumen en la relación ajustada o armonizada edad-volumen.

CONCLUSIONES

1. Se puede afirmar que el modelo de Schumacher es el que mejor se adapta a las **relaciones de crecimiento edad-diámetro, edad-volumen y diámetro-volumen**.
2. Al realizar los análisis troncales no se encontraron árboles-muestra con diámetros normales mayores de 60 cm, por lo que a partir de esta clase diamétrica, los volúmenes extrapolados para los diámetros normales mayores a 60 cm son irreales por falta de muestra.
3. Los procesos matemáticos utilizados en este estudio, solían ser complicados, pero fueron simplificados enormemente al utilizar una máquina calculadora programable, con los programas de cómputo adecuados.

RECOMENDACIONES

- El modelo de Schumacher puede ser utilizado para ajustar o armonizar las **relaciones edad-diámetro, edad-volumen y diámetro-volumen** obteniéndose un alto coeficiente de correlación.
- Para estudios de este tipo se requiere un mayor número de árboles-muestra, que contemplen todas las clases diamétricas, esto se logra tomando como muestra individuos de todas las dimensiones.
- Se recomienda que se pruebe esta metodología tomando como muestra individuos de otras especies y otras condiciones de calidad de estación.
- Se propone la elaboración con esta metodología de tablas de volúmenes que tengan por entradas el diámetro normal y la altura total del árbol.

- Se deben realizar estimaciones del volumen de la corteza por especie y localidad, con el fin de encontrar los correspondientes volúmenes con corteza para cada categoría diamétrica.
- Se pueden realizar análisis troncales tomando las secciones a diferentes medidas comerciales, sin tener el temor de incurrir en errores o encontrarse con dificultades de conteo y/o medición, de esta manera se aprovechan las trozas que del árbol-muestra pudieran resultar, sin sacrificio de la calidad.
- Se recomienda la utilización de máquinas calculadoras programables en el caso de que no se tenga acceso a una computadora, con la ventaja de que los cálculos los puede realizar cualquier individuo aún cuando no sepa programar, lográndose con esto un considerable ahorro de tiempo y de esfuerzo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R.M. 1983. "El método de Hufnagl modificado por Aguilar". CIFO-INIF. Notas técnicas, México. 1(1):15-21.
- Camarena, V.R. 1984. Las calculadores programables. Inédito
- Day, R.J. 1980. El modelo de Weibull modificado. Texas Instruments. Professional Program Exchange. CPD. Canadá.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e Incremento de árboles y masas forestales. Departamento de Enseñanza e investigación y Servicio en Bosques, UACH. México. 365 p.
- Micheal, G.L. 1979. Ajuste automático de curvas. Texas Instruments. Professional Program Exchange. CPD. Canadá.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea manifestar su particular agradecimiento al Ing. Avelino B. Villa Salas y al Lic. Javier Sosa Cedillo por la revisión que hicieron a la versión original, lo cual permitió una mejor presentación de este artículo.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE PRENSADO DEL TRIPLAY.

Zavala Zavala David*

RESUMEN

El proceso de prensado es determinante de la calidad y productividad del triplay, para optimizarlo se requiere conocer los parámetros que intervienen en la formación del tablero, tales como la madera, el adhesivo, la temperatura y la presión. Las resinas para triplay (urea y fenol formaldehído), polimerizan a temperaturas elevadas y la humedad de la chapa y del adhesivo, además de retardar la polimerización de la resina, genera vapor cuya presión tiende a separar la chapa en forma de delaminaciones o "ponchaduras". Este trabajo se realizó con la finalidad de determinar y analizar la distribución de la temperatura en las líneas de pegamento, la presión que ejerce el vapor en el conglomerado y el efecto de la carga de los platos de la prensa en la compactación del triplay.

Los materiales utilizados fueron chapa de abeto Douglas con 6, 12, y 16% de contenido de humedad (C.H.), una prensa de 2' x 2' con fuente de calentamiento a base de vapor y resina de fenol formaldehído. La temperatura, la presión del vapor y la compactación del conglomerado durante el prensado, se midieron con sensores y convertidores de analogía a digital, a través de termopares, de tubos hipodérmicos y de convertidores lineales (LVDT). Se utilizó una temperatura de prensado constante de 148.8°C, y presiones de los platos de la prensa de 100, 125 y 175 psi. Los tableros se integraron con 5 chapas y con un tiempo de prensado de 1 000 segundos. La captura de datos y el control del proceso se realizó a través de una computadora.

La temperatura en las líneas de pegamento más externas aumenta rápidamente al cerrarse la prensa y mantienen una diferencia respecto a las dos líneas internas, que tiende a reducirse conforme avanza el prensado, para igualarse a los 400 segundos del

* Ingeniero Agrónomo Forestal, Ph.D., Investigador titular del CENID-COMEF, INIFAP-SARH.

proceso. La temperatura de 110-120°C a la que polimeriza la resina, se obtuvo después de 250 segundos en la línea de pegamento más interna, que se puede utilizar como indicador de la secuela de prensado.

La presión del vapor en el conglomerado, se incrementa rápidamente en las chapas externas al momento de cerrar la prensa, y posteriormente declina esa tendencia. En contraste, la presión del vapor en las líneas internas al inicio del proceso es baja y aumenta en forma constante conforme avanza el prensado.

La menor transferencia de calor y la mayor concentración de humedad en las líneas internas del pegamento, retarda la polimerización del adhesivo y por lo tanto determina las secuelas de prensado del triplay.

La compactación del tablero por efecto de la presión de los platos de la prensa, se manifiesta más drásticamente durante los primeros 400 segundos de prensado; para el tablero estándar fue de 9%. En contraste para tableros con 16% de C.H. y presiones altas (175 psi), la compactación fue de un 39% del espesor del triplay.

Palabras clave: Industria forestal, fabricación de triplay, proceso de prensado.

ABSTRACT

Plywood quality and productivity is determined by the pressing process. To optimize it, an understanding of the parameters involved in the production of boards is required, as wood, adhesive, temperature, pressure. The resins for plywood (urea and phenol formaldehyde) cured at high temperatures, the moisture of the veneer and the adhesive, besides delaying the polymerization of the resin, produces vapor pressure that tends to separate the veneer through delaminations or "blows". The present study was carried out to determine the distribution of temperature in the glue lines, the vapor pressure in the laminate and the effect of the platen load on plywood compaction.

Douglas fir veneer with 6, 12 and 16% of moisture content (M.C.), a press with 2' x 2' platens heated with steam and phenol formaldehyde resin were used. Temperature, vapor pressure and compaction of plywood during pressing were measured with digital to analog convertors using thermocouples, hypodermic tubes and a linear variable differential transducer (LVDT). A constant pressing temperature of 148.8°C (300°F) and platen loads of 100, 125 and 175 psi were applied. Plywood was made up of 5

layers, with a pressing time of 1 000 seconds. Data collection and process control was achieved with a personal computer.

Temperature in the outer gluelines rise quickly after the press is closed, with a gradient in relation to the inner gluelines that tends to diminish throughout the pressing cycle, reaching similar temperatures at 400 seconds. The resin polymerization temperature of 110-120 ° F in the inner glueline was achieved after 250 seconds, period that can be used as indicator of the pressing cycle.

Vapor pressure in the conglomerate rises rapidly in the outer veneers when the press is closed, decreasing this trend a few seconds later. In contrast, vapor pressure in the inner veneers at the beginning of the pressing cycle is low and increases in a constant trend throughout the process.

The lower rate of heat transfer and the higher concentration of moisture in the inner gluelines, delay the polymerization of the adhesive, both factors affect the pressing schedules.

The rate of board compactation by the platen press was higher within the first 400 seconds. For the standar board the compactation was 9% of the original thickness, and for boards with 16% M.C. and high platen loads (175 psi), the compactation was 39 % of plywood thickness.

Key words: Forest industry, plywood manufacture, pressing process.

INTRODUCCIÓN

En la producción de tableros contrachapados (triplay), es importante entender el comportamiento de los diferentes factores que intervienen en el prensado, debido a que esta parte del proceso es determinante tanto para la calidad final, como de los volúmenes de producción de triplay.

El prensado del triplay es la fase de producción donde interaccionan las características de la chapa (textura, densidad, contenido de humedad, energía de la superficie, etc.), con las propiedades del adhesivo (peso molecular, contenido de sólidos, viscosidad, pH), a través de la acción de la temperatura y de la presión de los platos de la prensa sobre el conglomerado de chapas para la integración del tablero. La función de la

temperatura es acelerar la polimerización del adhesivo y a través de la presión de los platos facilitar el contacto entre las chapas y el pegamento (Figura N° 1).

Los adhesivos más utilizados en la elaboración de triplay son urea y fenol formaldehído, y su selección depende del uso final al que se destine el tablero, para interiores generalmente se utilizan las resinas de urea y para exteriores las fenólicas. Estos dos tipos de adhesivos polimerizan a temperaturas elevadas, el tiempo necesario para que polimericen a un nivel apropiado que permita la integración del tablero, depende de las características de los adhesivos y de la transferencia de calor al adherente (chapa).

Una alternativa para incrementar los volúmenes de producción de triplay, es reducir al mínimo posible el tiempo de prensado del conglomerado, lo cual puede lograrse conociendo la interrelación de los componentes del tablero (madera-adhesivo), con las variables del proceso (temperatura, presión y tiempo de prensado). Con el dominio de estos parámetros es posible determinar el tiempo mínimo de prensado que asegure la integración del tablero y elimine cualquier posible fuente de delaminación del triplay por la falta de una polimerización adecuada de la resina.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar y analizar los factores que intervienen en el proceso de prensado del triplay y su interacción en condiciones estandares y modificadas de producción, con énfasis en la determinación de la distribución de la temperatura y de la presión del vapor generado durante el prensado del conglomerado; además del efecto del contenido de humedad de la chapa, de la presión y de la temperatura de los platos de la prensa, en la compactación del triplay.

2. ANTECEDENTES

El prensado del conglomerado se considera la fase más importante en la producción de triplay por el efecto que tiene la interacción de la presión de los platos, de la temperatura y del tiempo de prensado, en la calidad de los tableros y en la productividad de las empresas.

A través de la prensa se generan presiones moderadas para establecer un buen contacto entre el adhesivo y las chapas; también se obtienen las temperaturas requeridas (110 a 130 ° C), para el fraguado de los adhesivos termostables (urea y fenol formaldehído). El tiempo para lograr un curado adecuado de estos adhesivos varía de unos cuantos

minutos a las temperaturas indicadas, hasta varias horas con temperaturas inferiores; influyendo también en las características de los adhesivos y la transferencia de calor del adherente (Chow y Mukai, 1972¹, Gould, 1959², Klein, 1979³, Marian y Stumbo, 1962⁴).

2.1. Interacción de variables durante el proceso de prensado

La integración del conglomerado de chapas para producir el triplay, depende del efecto de la interacción del calor y de la presión generados por la prensa sobre la chapa, el adhesivo y el C.H. de la línea de pegamento. La presión y la temperatura generadas por los platos de la prensa, obligan a la chapa a establecer contacto con el adhesivo y al mismo tiempo aceleran su polimerización (Figura No. 1).

Como se esquematiza en la figura No. 1, la transferencia de calor y de masas, resultante del efecto de la temperatura y de la humedad, genera vapor, el cual ejerce presión dentro del triplay que tiende a separar la chapa al intentar liberarse del inferior del tablero. La resistencia de la línea de ensamble para contrarrestar la presión interna del vapor, depende del grado de polimerización que haya alcanzado el adhesivo, y la reactividad del adhesivo a su vez la determinan las características de sus componentes y la temperatura aplicada al tablero a través de los platos de la prensa (Humphrey y Bolton, 1979⁵; Zavala, 1986⁶ y Zavala 1984⁷).

Si la reactividad de la resina no es lo suficientemente alta para mantener unidas las chapas, los esfuerzos producidos por la presión del vapor en la línea del pegamento pueden causar delaminaciones. La integración del tablero, por lo tanto, depende del desarrollo de una mayor resistencia del pegamento que contrarreste la fuerza de la presión residual del vapor y de la elasticidad de la chapa al momento de abrir la prensa, (Figura N° 1).

La velocidad de curado de las resinas termostables depende de la temperatura, y ésta, en las partes internas del conglomerado durante el prensado, está en función de la

¹Chow, S. and H.M. Mukai. 1972. "Polimerization of phenolic resin at high vapor pressure". pp. 65-72.

²Gould, F.O. 1959. "Phenolic resins". pp. 26-125.

³Klein, A.J. 1979. "Controlling glue costs and hot press production to improve construction plywood quality and profitability". pp. 4.

⁴Marian, J.E. and D.A. Stumbo. 1962. "Adhesion in wood. Part I and II". pp. 168-180.

⁵Humphrey, P.E. and A.J. Bolton. 1979. "Urea formaldehyde resin bond strength development with reference to wood particle-board manufacture". pp. 129-133.

⁶Zavala Z., D. 1986. "Analysis of processes operative within plywood during hot pressing". pp. 201.

⁷Zavala Z., D. 1984. "Factors controlling the adhesion characteristics of phenolic resins on veneer for plywood production". pp. 12.

transferencia de calor y de masas (humedad, vapor y aire). La transferencia de calor se asocia con las características de la madera y con los parámetros del prensado. La conductividad térmica de la madera depende de la densidad, del C.H., de la orientación de las fibras, de la dirección del flujo del calor (dirección radial, tangencial o longitudinal) y de las irregularidades de su estructura (nudos, rajaduras) (Kollmann y Côté, 1968⁸, Lewis, 1967⁹, Siau, 1985¹⁰, Strickler, 1959¹¹, U.S. F. P. L., 1974¹² y Wangaard, 1969¹³).

PROCESOS QUE INTERACCIONAN EN EL PENSADO

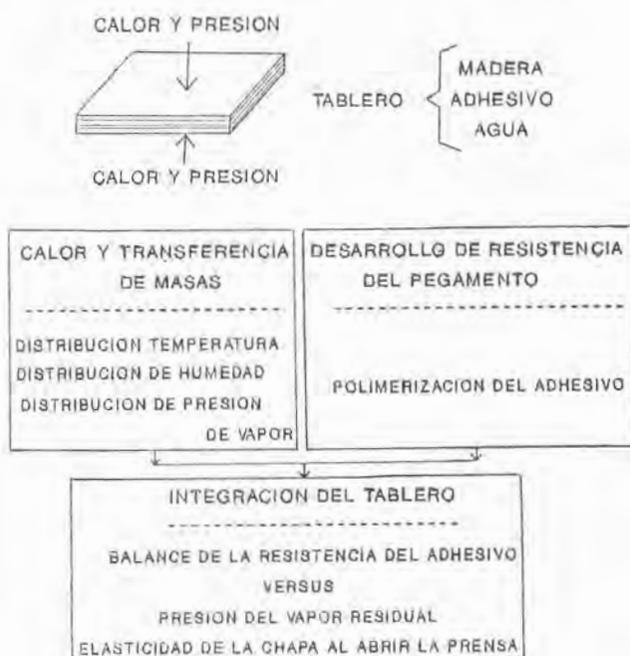


Figura N^o1. Interacción de procesos durante el prensado de triply.

⁸Kollmann, F.F.P. and W.A. Côté. 1968. Principles of wood science and technology.

⁹Lewis, W.C. 1967. Thermal conductivity of wood-based fiber and particle panel materials.

¹⁰Siau, J.F. 1984. "Transport processes in wood" pp. 151-232.

¹¹Strickler, M.D. 1959. "Effect of press cycles and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard" pp. 203-215.

¹²U.S. Forest Products Laboratory. 1974. Wood handbook: "Wood as an engineering material", pp. 3-19;3-22.

¹³Wangaard, F.F. 1969. "Heat transmissivity of southern pine wood, plywood, fiberboard, and particleboard". pp. 54-60.

2.2 Efecto de la temperatura de los platos de la prensa en la integración del tablero

La madera es un conductor de calor relativamente pobre, por esta razón, para acelerar la velocidad de curado del adhesivo en el conglomerado de chapas, se requiere aplicar temperaturas elevadas a través de los platos de la prensa. El tiempo mínimo de prensado para asegurar la polimerización del adhesivo, dependerá del efecto combinado de los factores que controlan la integración del tablero, como la reactividad del adhesivo, determinada por el tipo de polímero y por el efecto del catalizador; la capacidad de recuperación de temperatura de los platos, que depende del sistema de calentamiento de la prensa (eléctrico, vapor, aceite térmico); la presión ejercida por los platos sobre el conglomerado; la difusión térmica y de masas en el tablero que se está calentando (madera, adhesivo, agua); y la distancia de los platos de la prensa a la línea de pegamento más interna, (Bodig y Jayne, 1982¹⁴; Gould, *op. cit.*; Klein, 1979¹⁵; Marian y Stumbo, *op. cit.*; Rudnicki, 1975¹⁶; Sellers, 1985¹⁷).

Para el prensado de triplay con resinas fenólicas, la temperatura de los platos cuando el calentamiento es a base de vapor, varía de 120 a 150 °C, y el tiempo de prensado de 1 a 3 minutos para paneles de 6 mm (2 mm a la línea de pegamento más interna). Se utilizan de 3 a 5 minutos para paneles de 12 mm (4 mm a la línea de pegamento más profunda), y de 10 minutos o más para paneles con espesores mayores de 16 mm, (Baldwin, 1975¹⁸; Knight, 1952¹⁹ y Siau, *op. cit.*).

2.3. Efecto de la presión de los platos de la prensa en la formación y compactación del tablero.

Una de las funciones principales de la presión de los platos de la prensa en la formación del triplay, es la de aplicar una carga uniforme sobre las superficies de las chapas para forzarlas a establecer un buen contacto con el adhesivo, para facilitar que fluya y humedezca las áreas de la línea del pegamento. Si las superficies de la chapa fueran tersas y uniformes en espesor, se podría lograr un buen contacto con el

¹⁴Bodig J., and B.A. Jayne. 1982. *Mechanics of wood and wood composites*. 712 p.

¹⁵Klein, A.J. 1979. "Controlling glue costs and hot press production to improve construction plywood quality and profitability", pp. 4.

¹⁶Rudnicki, Z. 1975. "Effect of temperature and setting time on strength and durability of phenolic or resorcinol base gluelines", pp. 62-173.

¹⁷Sellers, T. Jr. 1985. "Plywood and adhesive technology", pp. 653.

¹⁸Baldwin R., F. 1975. "Plywood manufacturing practices", pp. 149-232.

¹⁹Knight, R.A.G. 1952. "Adhesives for wood". pp 58-105.

pegamento y se facilitaría su adhesión con presiones no mayores de 50 psi (Freeman, 1959²⁰ y Knight, *op. cit.*).

Otra función de la prensa es mantener unidas las chapas durante el proceso de curado del adhesivo, especialmente cuando la fuerza (presión) del vapor en las líneas del pegamento está aumentando y tiende a separar la chapa del conglomerado. La influencia destructiva de la presión de vapor acumulada dentro del tablero tiene que ser contrarrestada por la carga de los platos de la prensa, (Humphrey y Bolton, *op. cit.*).

En la producción de triplay, se sugiere utilizar tanta presión o carga de los platos como pueda resistir la chapa sin que se presente una compresión excesiva de la estructura de la madera. La definición de la presión de la prensa depende de la densidad de la madera utilizada y del efecto combinado que tiene el C.H. y la temperatura en la compactación de la chapa. Para maderas densas, como el encino, se sugiere utilizar presiones de 150 a 250 psi, y para maderas de densidad moderada como la mayoría de las coníferas, generalmente no revasan 175 psi (Baldwin, *op. cit.*; Chow *et al.*, 1973²¹; Erb, 1968²² y Knight *op. cit.*).

Con la finalidad de recuperar parte del volumen perdido por la compactación del conglomerado durante el prensado, algunas empresas aplican agua rociada en las caras del tablero inmediatamente después de salir de la prensa. La recuperación de espesor del tablero se logra por la propiedad de elasticidad de la madera, que se manifiesta en regresar a su forma original cuando aún no se ha revasado su fase plástica donde la deformación ya es permanente, (Balwin, *op. cit.*; Sellers, *op. cit.* y Wellons *et al.*, 1983²³).

Para lograr un equilibrio entre estos dos parámetros, (compactación y transferencia de calor), la nueva tecnología sobre prensado de triplay, se ha enfocado al desarrollo de equipos que permitan aplicar presiones en 2 o 3 fases, sometiendo el tablero a presiones altas (175 psi) durante el inicio del proceso para forzar el contacto entre la chapa y el pegamento, liberando paulatinamente esta presión conforme avanza el prensado (150 - 125 psi), con la finalidad de recuperar parte del volumen comprimido de la chapa, (Wellons, *et al.*, *op.cit.*).

²⁰Freeman, H.G. 1959. "Relation between physical and chemical properties of wood and adhesion". pp. 451-458.

²¹Chow S.; G.E. Troughton; W. V. Hancock and H.N. Mukai. 1973. "Quality control in veneer drying and plywood gluing". pp. 14.

²²Erb, C. 1968. *Basic of gluing*. 10 p.

²³Wellons, J.D., R.L. Kraemer, M.D. Sandoe, and R.W. Jakerst. 1983. "Thickness loss in hot-pressed plywood". pp. 27-34.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Los materiales y actividades realizadas para este estudio consistieron en: la preparación y acondicionamiento de la chapa; la colocación de sensores para medir la distribución de la presión del vapor, de la temperatura, de la compactación del tablero, la preparación y aplicación de adhesivo a las chapas, la integración del conglomerado, el prensado del tablero, la captura y el análisis de la información.

3.1. Características y preparación de la chapa

Para la realización del presente trabajo se utilizó chapa de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb Franco), procedente del estado de Oregon, E.U.A., en secciones de 2"x 2" y de 1/8" de espesor.

Las chapas se secaron a 6, 12 y 16% de contenido de humedad (C.H.), en cuartos de acondicionamiento con las temperaturas y humedades relativas requeridas para lograr los contenidos de humedad en equilibrio especificados. Se utilizó chapa con C.H. más alto que el tradicional en la manufactura de triplay (12% y 16%), con la finalidad de analizar su efecto en la transferencia de calor, en la presión interna de vapor y en la compactación del tablero.

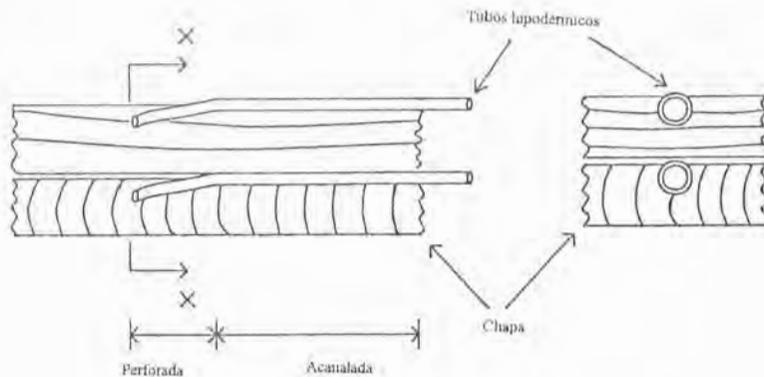
En el 50% de las chapas acondicionadas se perforaron orificios de 1.5 mm de profundidad en la cara de la chapa, con un taladro eléctrico y una broca de 1.5 mm de diámetro y 25 cm de longitud, con la finalidad de colocar en estos orificios los tubos hipodérmicos para determinar la presión del vapor. La ubicación de las perforaciones se realizaron a una distancia de 3, 6, 9 y 12 pulgadas de la orilla de la chapa (Figura N° 2).

3.2. Tubos hipodérmicos y determinación de la presión de vapor durante el prensado

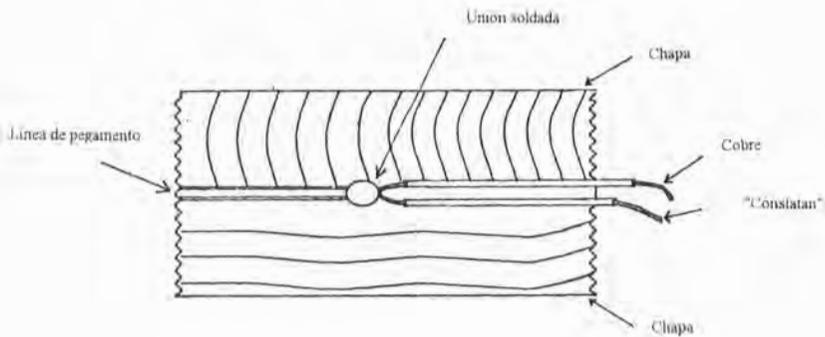
Para medir la presión del vapor en el interior del tablero durante el prensado, se utilizaron 100 tubos de acero con 0.91 mm de diámetro externo y de 0.5 mm de diámetro interno, con longitud de 8, 10, 14 y 18 pulgadas, para conducir el vapor generado dentro del tablero a sensores de presión de gases.

Los sensores tienen un diafragma de acero inoxidable, que se protegió de la humedad y del calor por medio de un tubo en forma de "U", el cual se llenó con aceite de silicón que sirvió como barrera entre el vapor y el diafragma (Figura N° 3).

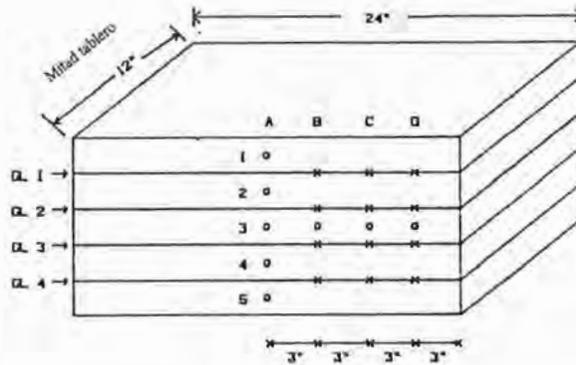
Los tubos en "U" y los sensores de vapor se montaron en un marco especial de aluminio, que permitió mover y ajustar los sensores en relación a la ubicación de los tubos hipodérmicos. Este marco se colocó en un costado de la prensa (Figura N° 4).



a) Ubicación de tubos hipodérmicos



b) Ubicación de termopares.



- X Termopares
- O Tubos hipodérmicos
- GL Líneas de pegamento

c) Ubicación de tubos hipodérmicos y de termopares en el triplay.

Figura N°. 2. Ubicación de tubos hipodérmicos y de termopares en la chapa y en el triplay.

La distribución de la presión del vapor se midió en el sentido horizontal para los tres C.H. indicados, y en las chapas del centro de los tableros, a una distancia de 3, 6, 9 y 12 pulgadas de la orilla de los tableros. La distribución del vapor en sentido vertical se determinó únicamente en las chapas con 6% de C.H.

Se utilizaron dos tubos hipodérmicos por cada tablero prensado, que se colocaron en los orificios de las chapas perforadas con la finalidad de protegerlos de posibles obstrucciones del adhesivo. El extremo opuesto de los tubos se conectó a dos sensores de presión de vapor. Las lecturas de los sensores de presión, se realizaron con una frecuencia de 0.8 segundos, a través de una computadora.

La presión del vapor generada en el tablero durante el prensado, actuó sobre el aceite de silicón transfiriendo la presión al diafragma del sensor, que la convirtió en energía eléctrica en forma de señal analógica, la cual se transformó en digital por medio de una tarjeta adaptada a la computadora (convertidor de analogía a digital) y se almacenó en

un disket en forma numérica para su análisis posterior. Los tubos hipodérmicos se desecharon con el tablero una vez que se determinó la presión del vapor.

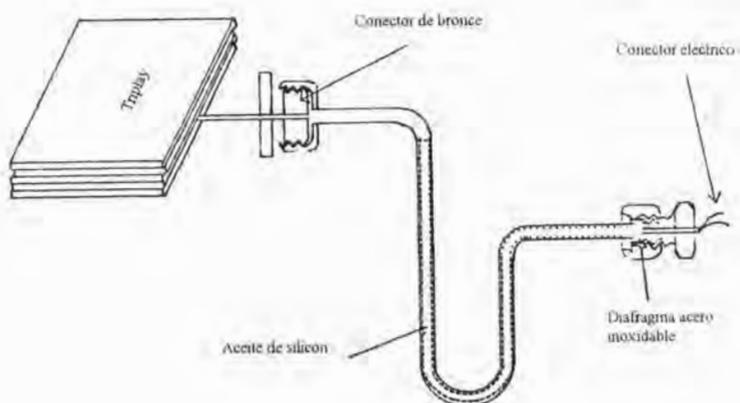


Figura N^o. 3. Componentes del sistema de medición de la presión del vapor durante el prensado de triplay.

3.3. Termopares y determinación de la temperatura del tablero durante el prensado

Para la determinación de la variación de la temperatura en las líneas del pegamento de los tableros durante el prensado, se utilizaron 200 termopares de cobre "constantan" de alambre calibre 0.010", con longitud de 12 a 18 pulgadas. Un extremo de los alambres de los termopares se unieron con soldadura de alta temperatura y en el extremo opuesto se les colocó conectores miniatura para unirlos con el sistema de captación de datos de la computadora (Figura No. 2).

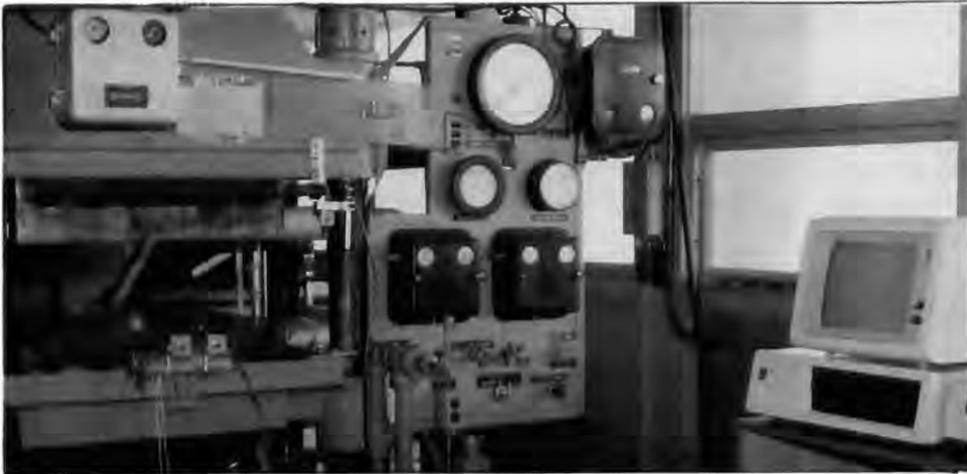


Figura N°. 4. Integración del equipo utilizado durante el prensado de triplay.

Los termopares se colocaron a 3, 6, 9 y 12 pulgadas de la orilla del tablero y en cada línea de pegamento para medir la distribución horizontal y vertical de la temperatura, y se fijaron cuidadosamente en las chapas por medio de grapas pequeñas.

Se utilizaron cuatro termopares en cada tablero procesado, con una frecuencia de lectura de la temperatura por la computadora de 0.8 segundos. La señal eléctrica generada por el termopar se envió al convertidor de analogía a digital y se comparó con una referencia fría electrónica ubicada en el circuito de la tarjeta adaptada a la computadora. La señal digital se almacenó en un diskette para su análisis posterior.

Una vez que se obtuvieron los datos de distribución de la temperatura, los termopares se desecharon junto con el tablero.

3.4. Determinación de la compactación o espesor del tablero durante el prensado

La compactación del tablero durante el prensado se asocia con el comportamiento viscoelástico de la madera, el cual depende de la temperatura, del C.H. y de la presión de los platos de la prensa. La compactación del triplay se determinó con un Convertidor de Variables Lineales Diferenciales (LVDT). La compactación total también se midió directamente a través del espesor de la chapa antes del prensado y del grosor del tablero después de prensado.

El LVDT se montó en el marco de la prensa y se activó para determinar la compactación del tablero durante el prensado, al momento de cerrar la prensa. (Figura No.4). La frecuencia de las lecturas del LVDT fué de 0.8 seg. controladas a través de la computadora. La información recopilada se almacenó en diskets para su análisis posterior.

3.5. Preparación de la mezcla del adhesivo

Para la elaboración de los tableros se utilizó resina de fenol formaldehído. La formulación de la mezcla del adhesivo se preparó de acuerdo a las indicaciones del fabricante, reduciendo el porcentaje original de sólidos de la resina de 41 a 28%. a través de la siguiente secuela de mezclado, (Cuadro N° 1).

Componente	Porcentaje del total (por peso)	Tiempo de mezclado
Agua a 32.4 °C	16.09	
Resina	6.90	2 minutos
Rellenador	4.60	5 minutos
Harina de trigo	6.90	
Resina	11.50	2 minutos
Solución caústica al 50 %	3.45	10 minutos
Resina	50.56	10 minutos

Cuadro N° 1. Componentes y tiempo de mezclado para el adhesivo.

La cantidad de adhesivo aplicada a la chapa se definió de acuerdo a las especificaciones del fabricante de la resina para operaciones industriales: 60 libras por millar de pies cuadrados en doble línea de pegamento para temperatura de prensado de 148.8 °C.

3.6. Formación del conglomerado y prensado del tablero

Se formaron conglomerados con 5 chapas para definir con mayor precisión la distribución de la temperatura y de la presión del vapor. Las chapas adyacentes entre sí, se colocaron en sentido perpendicular respecto a la orientación de las fibras.

Posteriormente se colocó el conglomerado en la prensa y se conectaron todas las terminales de los sensores del sistema de captura de datos de la computadora al tablero, procediendo a cerrar la prensa e iniciar la colecta de datos (Figura No. 4).

El prensado de los tableros se realizó en una prensa de una sola luz de 2' x 2', con sistema de calentamiento por medio de vapor. (Figura N° 4).

La temperatura que se aplicó al conglomerado fue de 148.8°C, y se mantuvo constante durante el proceso de prensado, siguiendo las indicaciones del fabricante de la resina.

La presión de los platos de la prensa en la producción industrial de triplay de coníferas es de 175 psi. y fue la que se aplicó a los tableros que se consideraron como estandar en este estudio. Adicionalmente se analizaron presiones de 100 y 125 psi en otra serie de tableros con C.H. mas alto que el tradicional. con la finalidad de evitar la compactación excesiva de las chapas.

El tiempo de prensado recomendado por el fabricante de la resina para operaciones industriales para tableros similares al estandar es de 4.5 a 6 minutos. Sin embargo, de acuerdo a los objetivos de este estudio, el tiempo de prensado se extendió de 600 a 1000 segundos, con la finalidad de obtener una definición clara de la distribución de la temperatura, de la presión del vapor y de la compactación del tablero.

3.7. Captura de datos

Para la captura de la información del proceso de prensado: temperaturas, presión del vapor y compactación del tablero. se utilizó una microcomputadora, a la cual se le adaptó una tarjeta para transformar las corrientes eléctricas generadas por los sensores, de analogía a digital (Figura N° 4).

El número de canales para la toma de datos del triplay durante el prensado, por las características del equipo estuvo limitado a ocho, cuatro se utilizaron para medir la distribución de la temperatura, dos para la presión de vapor, uno para la compactación del tablero y otro para el control del tiempo de prensado.

El control del sistema de captura de datos se realizó a través de un programa de cómputo en BASIC. El programa incluyó tres componentes:

- a). La frecuencia de las lecturas.
- b). La conversión de datos, de señales eléctricas a unidades científicas (analogía a digital).

c). El almacenamiento de datos en diskets de acuerdo a especificaciones para su análisis posterior (Figura N° 5).

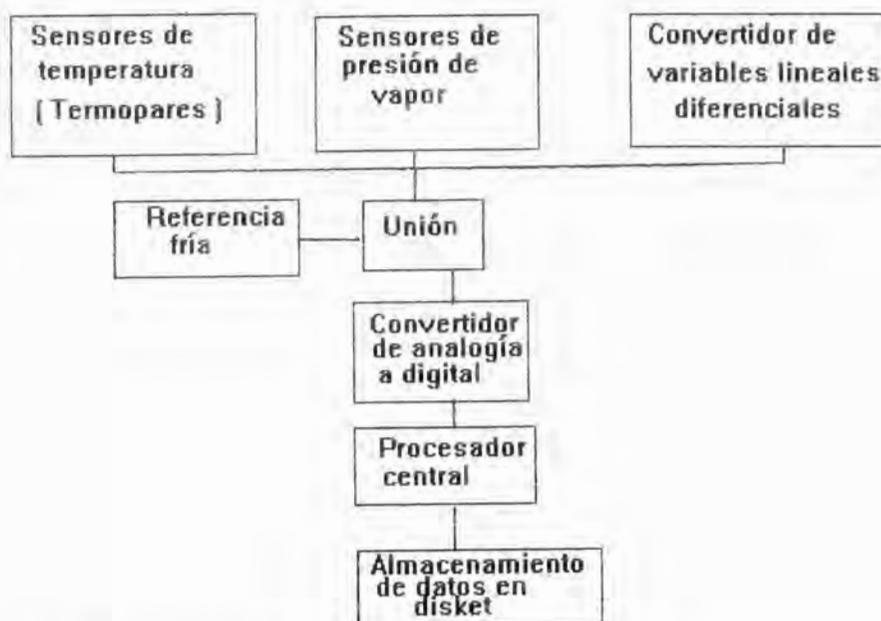


Figura N° 5. Diagrama del sistema de captura de datos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se indicó anteriormente, la función principal de la presión de los platos de la prensa en la formación del triplay, es aplicar una carga uniforme sobre las superficies de las chapas y proporcionar la fuente de calor necesaria para la polimerización del adhesivo. Con la presión de los platos, se puede compactar el tablero aumentando su densidad y el coeficiente de conductividad térmica reflejado en mayores temperaturas. Sin embargo, cuando se aplica una presión alta, puede generarse una compactación excesiva del conglomerado, que se manifiesta en la pérdida de espesor de la chapa y consecuentemente en el volumen final del tablero, repercutiendo en la rentabilidad del proceso al reclasificarlo en una categoría en espesor inferior a la programada. A continuación se señalan los resultados más relevantes de este trabajo relacionados con los conceptos anteriores.

4.1. Distribución de la temperatura en el tablero durante el prensado

La temperatura en diferentes líneas de pegamento del conglomerado cambia en función del C.H. de la chapa y de la presión de los platos de la prensa, manifestándose en gradientes de temperatura que tienden a reducirse conforme avanza el proceso de prensado, como se muestra en la figura 6a, en la que se grafica el comportamiento de transferencia de calor en un tablero estándar (6% de C.H. y 175 psi de presión de los platos), de 5 chapas con 4 líneas de pegamento.

Al colocar el conglomerado de chapas en la prensa, la línea de pegamento de la cara del tablero más cercana al plato es la primera en activarse, manifestándose un incremento rápido en la temperatura debido al efecto combinado de la transferencia de calor por conducción y por convección, este último por el movimiento del vapor de la periferia hacia el interior del tablero (Figura N° 6a, línea de pegamento 4). La rápida evaporación de la humedad de la chapa que hace contacto con el plato de la prensa, crea un gradiente de presión de vapor, generando la conducción de humedad y la transferencia de energía a la primera línea de pegamento.

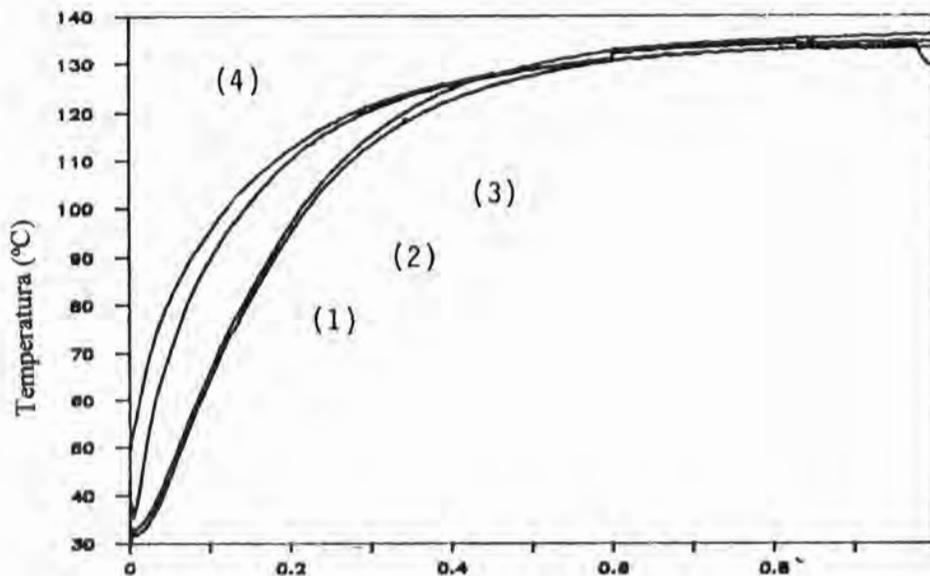
Al cerrarse la prensa, con el contacto del plato superior sobre el conglomerado, se presenta un fenómeno similar al descrito en el párrafo anterior, manifestándose un incremento rápido de temperatura en la línea de pegamento (L.P.) de la cara superior del tablero (Figura N° 6a, L.P. 1). Después de transcurrido un tiempo relativamente corto del cerrado de la prensa, la transferencia de calor es casi simétrica en ambas caras del conglomerado.

En general, las 2 líneas de pegamento más externas del tablero, muestran un comportamiento similar, aunque en una forma retardada por la diferencia de tiempo en que hacen contacto los platos de la prensa con ambas caras del conglomerado. Las líneas de pegamento más internas, muestran un retraso en el aumento de la temperatura debido, obviamente, a la mayor lejanía de la fuente de calor generado por los platos. Conforme avanza el tiempo de prensado, esta diferencia alcanza su máximo valor a los 100 segundos, después de este lapso, las temperaturas tienden a converger, lográndolo en aproximadamente 400 segundos de prensado del tablero (Figura N° 6a, L.P. 1 y 4, con 2 y 3). La diferencia de temperaturas entre las líneas externas y las del centro, tienen un impacto muy significativo en la cinética de la adhesión y por lo tanto en la eficiencia de los sistemas de prensado de tableros.

Se considera que las resinas de urea y de fenol formaldehído fraguan en forma instantánea a los 110-120 °C, sobretodo cuando no hay interferencia por exceso de

humedad en la línea de pegamento (Chow, 1969²⁴, Chow, *op. cit.*, Wellons, 1977²⁵). El tiempo de prensado, por lo tanto, está determinado por el lapso requerido por la línea de pegamento más interna del conglomerado para alcanzar los 110-120 °C, en ese momento se podría abrir la prensa sin problemas de delaminación del tablero.

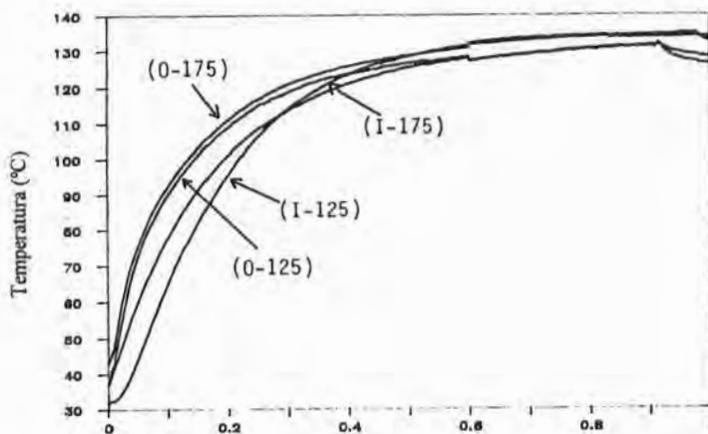
Analizando el efecto de la carga de los platos de la prensa en tableros con chapa con 6% y 12% de C.H., en ambos casos se aprecian temperaturas un poco mayores para presiones de 175 psi en relación a 125 psi., y muy poca diferencia en las temperaturas entre los dos C.H. señalados (Figuras No. 6b y 6c).



Tiempo de prensado (segundos)
a) Tablero estandar C.H. 6% y presión de 175 psi.

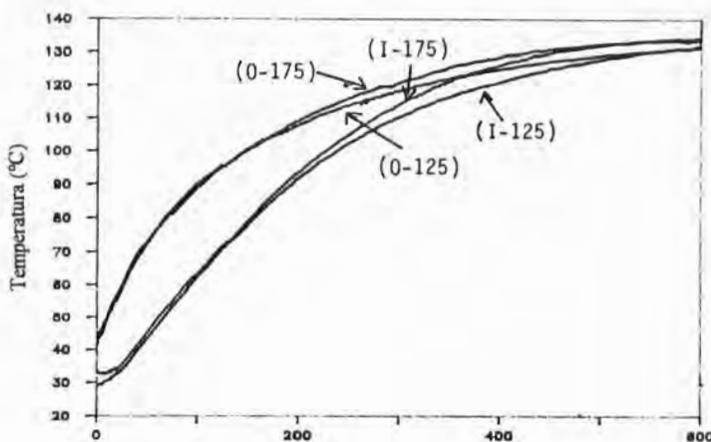
²⁴Chow S.Z. 1969. "A kinetic study of the polymerization of phenol-formaldehyde resin in the presence of cellulosic materials". pp. 215-221.

²⁵Wellons, J.D. 1977. "Adhesion to wood substrates". pp. 150-167.



Tiempo de prensado (segundos)

b) Tablero con 12% de C.H. y presión de 125 y 175 psi.



Tiempo de prensado (segundos)

c) Tablero con 16% de C.H. y presión de 125 y 175 psi.

Figura N°. 6. Distribución de la temperatura en las líneas de pegamento durante el prensado de triplay

4.2. Distribución de la presión de vapor en el tablero durante el prensado

Durante el proceso de prensado del tablero, el efecto del calor de los platos de la prensa transforma en vapor la humedad de la chapa y la humedad proporcionada por el adhesivo en las líneas del pegamento. Este vapor ejerce una presión que tiende a separar las chapas al intentar liberarse del tablero. En la figura 7a se muestra la distribución vertical de la presión del vapor en un tablero de 5 chapas producido en condiciones estándar (6% C.H. y 175 psi). Como es de esperarse, durante el prensado del conglomerado se presenta un gradiente de presión de vapor entre las capas externas y las internas del tablero. Al inicio del prensado, la presión del vapor aumenta rápidamente en la chapa externa del conglomerado que hace contacto con el plato de la prensa (chapa # 5). Por efecto de la transferencia de energía de los platos a la superficie de la chapa, el agua de absorción se convierte rápidamente en vapor. Posteriormente se presenta una migración de este vapor hacia el centro del tablero en respuesta al gradiente de presión entre el exterior y el interior del conglomerado.

El gradiente de vapor del exterior al interior del conglomerado aumenta al cerrarse la prensa, iniciándose un comportamiento similar al descrito en el párrafo anterior en la chapa superior del conglomerado (chapa # 1).

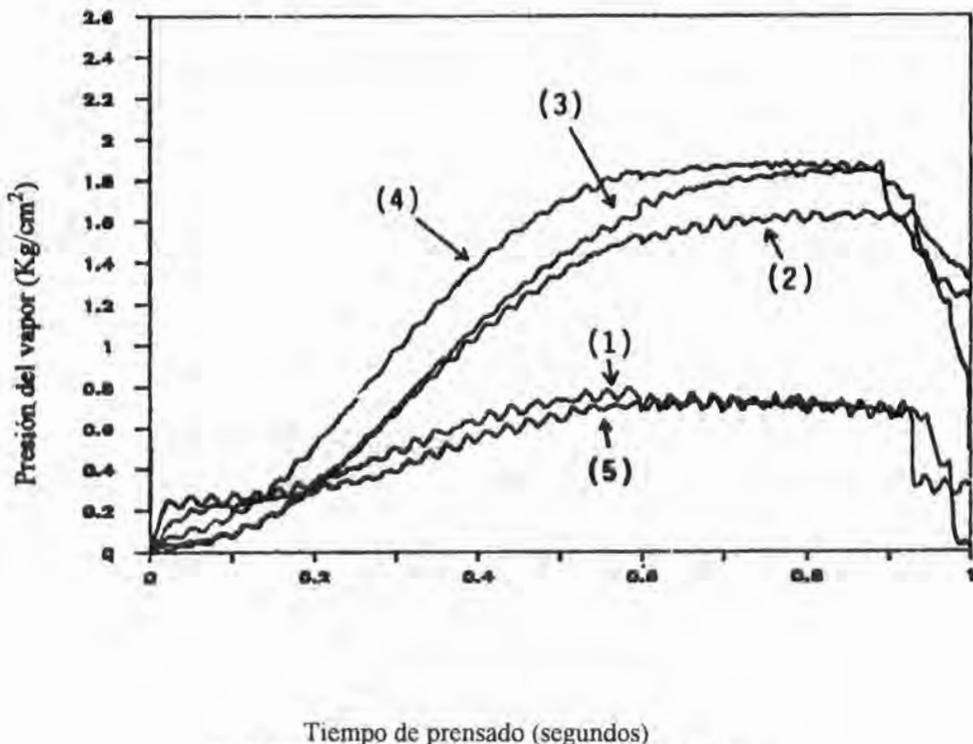
La presión del vapor en las chapas externas del conglomerado declina rápidamente después de que se inicia el prensado, debido a que el abastecimiento de agua de absorción disminuye, alcanzándose un estado de reposo (Bodig y Jayne, *op. cit.*; Chow, *op. cit.* y Chow, *op. cit.*). Sin embargo, al mismo tiempo, la presión del vapor en las chapas más internas empieza a aumentar, y al poco tiempo supera la presión alcanzada en las caras del conglomerado, (Figura No. 7a).

La diferencia de presión de vapor entre las capas externas y el centro del conglomerado, se debe a que en esta parte la adherencia del pegamento es más débil, al retardarse la formación de una barrera constituida por las líneas del pegamento entre las chapas, permitiendo el movimiento del vapor de la superficie al centro del tablero.

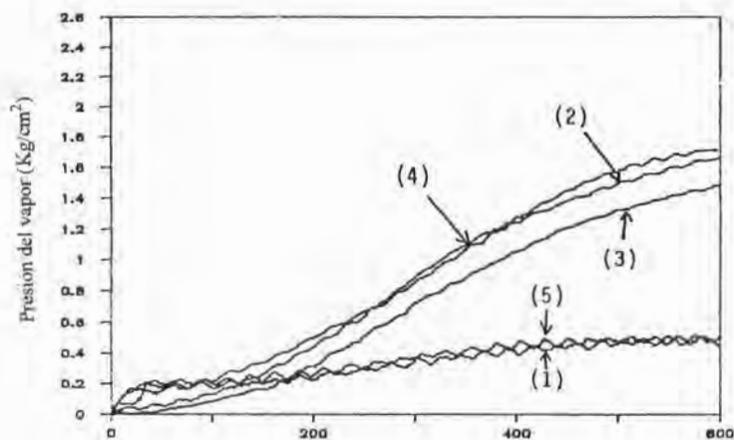
La mayor concentración de humedad en el centro del tablero y la menor transferencia de calor a las líneas de pegamento más internas por la mayor distancia de la fuente de calor proporcionada por los platos de la prensa, repercuten en una polimerización más lenta del adhesivo en la parte interna del tablero.

Conforme avanza el proceso de prensado, se espera que la presión del vapor en el centro del tablero decline a medida que la humedad del conglomerado se vaya

disipando. Esta fase, sin embargo, no se manifestó después de los 1 000 segundos de prensado en los tableros analizados en el laboratorio (Figuras No. 7a, b, y c). En la producción de tableros a escala industrial, es probable que la presión del vapor en el centro esté siempre aumentando durante el ciclo de prensado. De aquí la importancia de determinar el momento en el cual la resistencia del adhesivo supera a la fuerza del vapor para poder abrir la prensa, eliminando el riesgo de delaminaciones del tablero.

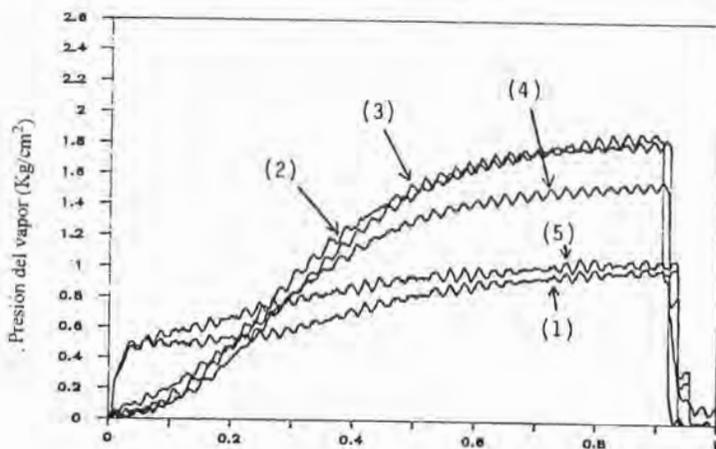


Tiempo de prensado (segundos)
a) Tablero estándar (C.H. 6% y presión de 175 psi).



Tiempo de prensado (segundos)

b) Tablero con 12% de C.H. y presión de 125 psi.



Tiempo de prensado (segundos)

c) Tablero con 16% de C.H. y presión de 100 psi.

Figura N^o. 7. Distribución de la presión de vapor en el conglomerado durante el prensado.

4.3. Efecto de la interacción del C.H. de la chapa y de la presión de los platos en la compactación del tablero

Con la finalidad de ejemplificar el efecto de la presión de los platos de la prensa en la compactación de los tableros, en la figura 8 se muestra el comportamiento de distintos tipos de conglomerados integrados por 5 chapas y prensados bajo las diferentes condiciones indicadas en cada curva de la gráfica. En el tablero estándar, utilizando chapa con 6% de C.H. y presión o carga de los platos de 175 psi, la compactación durante los primeros 5 minutos de prensado representó aproximadamente 9% de la pérdida del espesor inicial del tablero. Este porcentaje de compactación coincide con el reportado en otros trabajos para tableros contrachapados en condiciones estándar de C.H. de la chapa y presión de los platos de la prensa, que varía de 4 a 10% (Currier, 1963²⁶ y Wellons, *op. cit.*).

Como se aprecia en la misma figura No. 8, la compactación de los conglomerados es bastante drástica durante los primeros 400 segundos de prensado, tanto para el tablero estándar como para los producidos en condiciones diferentes al tradicional (chapa con 12 y 16% de C.H. y presiones de los platos de 100, 125 y 175 psi). En general, de los 400 a 600 segundos de prensado, la proporción de compactación disminuye, para permanecer prácticamente estable después de los 600 segundos. La pérdida en espesor por compactación del tablero estándar representó un 20% del espesor original cuando el tiempo de prensado se prolongó por 1 000 segundos.

Analizando el efecto de compactación del tablero por la aplicación de diferentes cargas de presión de los platos de la prensa, sobre conglomerados con C.H. más altos que el estándar (Figura N° 8), como es de esperarse, la compactación es mayor. Utilizando chapas con 6, 12 y 16% de C.H., y presiones de los platos de 175 psi, durante 400 segundos, el tablero estándar se compactó un 12,5%, el elaborado con chapa con 12% de C.H. perdió un 23% de espesor, y el de 16% de C.H. se compactó 29%. Si se utiliza chapa con un C.H. de 16%, pero se reduce la presión de los platos a 125 psi, la compactación del tablero es menos drástica, como se aprecia en la figura No. 8.

²⁶Currier, R.A. 1963. "Compressibility and bond quality of western softwood veneers". pp. 98-106.

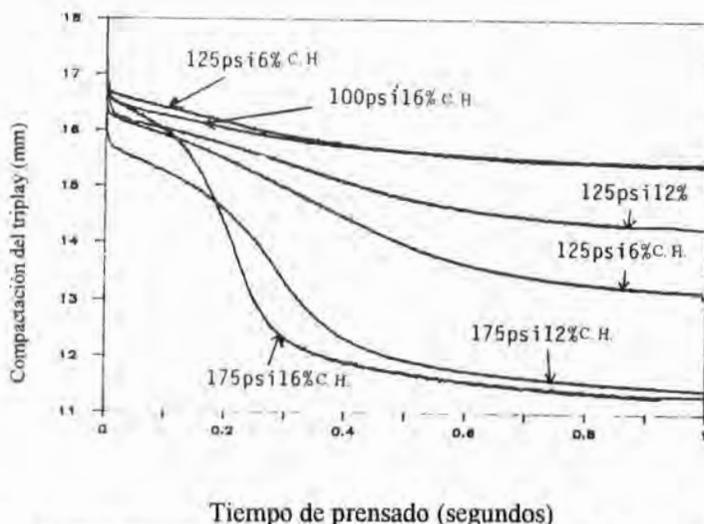


Figura N° 8. Compactación del triplay en diferentes condiciones de prensado.

4.4. Efecto de la interacción de la transferencia de calor y de masas en la integración del tablero

En la manufactura de tableros, las condiciones termodinámicas para la polimerización de los adhesivos, son dependientes de la transferencia de calor y de masas durante el prensado del conglomerado, que se manifiestan a través de los fenómenos de conducción y convección, los cuales a su vez dependen de las características de la madera y de los parámetros del prensado.

Al inicio del ciclo de prensado, la temperatura de la superficie del conglomerado se iguala con la de los platos de la prensa, en esta etapa la velocidad de transferencia de calor hacia la madera se rige por el gradiente de temperatura que se presenta en el tablero, a través de la conducción de la superficie al centro. Sin embargo, conforme avanza el prensado, la velocidad a la cual se mueve el calor a través del tablero, depende principalmente del movimiento del vapor proveniente de la humedad de la chapa y del adhesivo (convección). La humedad en las capas externas del tablero se convierte en vapor segundos después de que se cierra la prensa (cambio de fase), aumentando el gradiente de presión de vapor de las chapas de la superficie del conglomerado a las chapas más internas, acelerando el flujo de humedad hacia el centro del tablero, (Figura N° 7).

El efecto positivo del C.H. del conglomerado en la transferencia de calor, puede convertirse en un aspecto negativo al reducir la velocidad de curado de la resina, sobretodo cuando excede ciertos límites (Kollmann, *et. al.*, 1975, Nothcott, *et. al.*, 1962 y Wellons, *op. cit.*). En los casos en donde el C.H. de la chapa es más alto que el convencional, los problemas de delaminación aumentan, por la mayor presión que ejerce el vapor en las líneas del pegamento y la reducción de la polimerización del adhesivo. Para contrarrestar los problemas de delaminación, es necesario prolongar el tiempo de prensado de los tableros elaborados con C.H. más alto que el tradicional, lo cual repercute en una reducción de la capacidad de producción de la prensa.

El tiempo óptimo de prensado, definido como el mínimo requerido para lograr una adhesión adecuada de las chapas que permita la máxima producción de la prensa, se debe determinar en función de la reactividad o adhesión del pegamento y la presión interna del vapor. En las figuras N° 6 y 7 se aprecia que en la parte interna del tablero la transferencia de calor es más lenta y la presión del vapor es más alta, retardando la reactividad del adhesivo; por lo que se considera que el grado de polimerización de la resina en esta parte del tablero es la que determina el tiempo mínimo de prensado para lograr la integración del tablero. El efecto total de la línea de pegamento y su cambio de propiedades conforme avanza el fraguado, sin embargo, son difíciles de cuantificar (Currier, *op. cit.*, Strickler, *op.cit.* y Subramanian, 1981²⁷).

Hasta ahora no existe un método que permita evaluar directamente la velocidad de fraguado del adhesivo conforme avanza el prensado. Por esta razón las secuelas de prensado se han desarrollado a base de ensayo y error, lo que manifiesta la necesidad de continuar investigando sobre la cinética de los adhesivos y su interrelación con la chapa durante el prensado de triplay .

CONCLUSIONES

La transferencia de calor en el triplay durante el prensado, aumenta rápidamente en las líneas externas de pegamento, manteniendo un gradiente en relación a las líneas internas que se elimina al converger las temperaturas aproximadamente a los 400 segundos de prensado. La transferencia de calor entre diferentes C.H. de la chapa y

²⁷Subramanian, R.V. 1981, "The adhesive system", pp. 93.

diferentes cargas o presiones de los platos de la prensa, es muy similar y aparentemente no repercute en las secuelas de prensado.

La presión de vapor en el conglomerado durante el prensado aumenta rápidamente en las chapas externas en los primeros 50 segundos, y posteriormente disminuye su tendencia manteniendo un ascenso leve. En contraste, la presión del vapor en las chapas internas del tablero, al inicio del prensado muestra valores bajos, pero después de 200 segundos aumenta rápidamente y en forma continua ascendente hasta los 600 segundos.

Las chapas con alto contenido de humedad, combinadas con presiones de prensado altas, (16% de C.H. y presiones de 175 psi), se compactan excesivamente, afectando el espesor del triplay hasta en un 30% del grosor original. En el mismo tipo de chapas con presiones de prensado bajas (100 psi), la compactación se reduce significativamente (a un 5%).

La menor transferencia de calor y la mayor concentración de humedad en las líneas de pegamento más internas del tablero, afectan la polimerización de la resina retardando la adhesión entre las chapas y el pegamento. Para definir por lo tanto las secuelas de prensado, se puede utilizar como indicador el lapso en el que las líneas más internas del tablero alcanzan los 110- 120 °C, en chapas con C.H. de 4 a 6%. Para C.H. más altos, seguramente será necesario prolongar el tiempo de prensado para evitar delaminaciones o "ponchaduras" en el triplay al momento de abrir la prensa.

Para definir con mayor precisión las secuelas de prensado, se considera necesario determinar el grado de polimerización del adhesivo durante el proceso, en las diferentes líneas de pegamento del triplay. Debido a que a la fecha no existe ningún procedimiento que determine directamente la polimerización de la resina durante el prensado, la forma como se definen las secuelas para diferentes espesores de tableros es a base de ensayo y error, por lo que se considera conveniente continuar investigando sobre este tema.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldwin, R. F. 1975. "Plywood manufacturing practices". Miller Freeman Publications, Inc. pp. 149-232.

- Bodig, J. and B.A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Inc. 712 p.
- Chow, S. Z. 1969. "A kinetic study of the polymerization of phenol-formaldehyde resin in the presence of cellulosic materials". *Wood Sci.* 2(4): 215-221.
- Chow, S.; and H.M. Mukai. 1972. "Polimerization of phenolic resin at high vapor pressure". *Wood Sci.* 5(1): 65-72.
- Chow, S.; G.E. Troughton; W.V. Hancock and H.N. Mukai. 1973. "Quality control in veneer drying and plywood gluing". *Can. For. Serv. WFPL. Inform. Rep. VP-X-122.* pp. 14.
- Currier, R.A. 1963. "Compressibility and bond quality of western softwood veneers". *Wood Fiber.* 8(2): 98-106.
- Erb, C. 1968. Basic of gluing. American Plywood Association. 10 p.
- Freeman, H.G. 1959. "Relation between physical and chemical properties of wood and adhesion". *For. Prod. J.* 9(12): pp. 451-458.
- Gould, F.O. 1959. "Phenolic resins". Reinhold Publishing Corporation. New York. pp 26-125.
- Humphrey, P.E. and A.J. Bolton. 1979. "Urea formaldehyde resin bond strength development with reference to wood particle-board manufacture". *Holzforschung.* 33(4): 129-133.
- Klein, A.J. 1979. "Controlling glue costs and hot press production to improve construction plywood quality and profitability". Society Meeting. San Francisco, Cal. pp. 4.
- Knigh, R.A.G. 1952. "Adhesives for wood". London. Chapman and Hall LTD. pp. 58-105.
- Kollmann, F.F.P. and W.A. Côté. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid wood. Springer-Verlag Berling. 592 p.

- Kollmann, F.F.P.; Kuenzi W.E. and Stamm, J.A. 1975. Principles of wood science and technology. II. Wood based materials. Heidelberg, New York. Springer-Verlag, Berlin. 703 p.
- Lewis, W.C. 1967. Thermal conductivity of wood-based fiber and particle panel materials. USDA. For. Serv. FPL. Resech. Pap. 77 p.
- Marian, J.E. and D.A. Stumbo. 1962. "Adhesion in wood. Part I and II". *Holzforschung*, 16(5):134-148, and (6): 168-180.
- Northcott, P.L.; W.V. Hancock and H.G.M. Colbeck. 1962. "Water relations in phenolic (plywood) bonds". *For. Prod. J.* 12(10): 478-486.
- Rudnicki, Z. 1975. "Effect of temperature and setting time on strength and durability of phenolic or resorcinol base gluelines". Proceedings of the IUFRO conference on wood gluing. USDA For. Serv. FPL. Madison, Wi. Sept. 1975.pp. 62-173.
- Sellers Jr., T. 1985. "Plywood and adhesive technology". Marcel Dekker, Inc. N.Y. 653 p.
- Siau, J.F. 1984. "Transport processes in wood". Springer-Verlag, N.Y. pp. 151-232.
- Strickler, M.D. 1959. "Effect of press cycles and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard". *Forest Prod. J.* 9(7): 203-215.
- Subramanian, R.V. 1981. "The adhesive system". Washington State University. 93 p.
- U.S. Forest Products Laboratory. 1974. Wood handbook: "Wood as an engineering material". USDA. Agr. Handb. 72. Rev. 3- 19.pp. 3-22.
- Wangaard, F.F. 1969. "Heat transmissivity of southern pine wood, plywood, fiberboard, and particleboard". *Wood Sci.* 2(1): 54-60.
- Wellons, J.D. 1977. "Adhesion to wood substrates". American Chemical Society. ASC, Symposium Series No. 43. San Francisco, Calif. pp. 150-167.
- Wellons, J.D. 1981. "The adherends and their preparation for bonding." Georgia Pacific Corporation. 54 p.

- Wellons, J.D.; R.L. Kraemer; M.D. Sandoe and R.W. Jokerst. 1983. "Thickness loss in hot-pressed plywood". For. Prod. J. 33(1): 27-34.
- Zavala Z., D. 1984. "Factors controlling the adhesion characteristics of phenolic resins on veneer for plywood production". Oregon State University. 12 p. Inédito.
- Zavala Z., D. 1986. "Analysis of processes operative within plywood during hot pressing". Ph. D. Thesis. Oregon State University. 201 p.

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE MODELOS ECOLÓGICOS APLICABLES AL MANEJO DEL TERRITORIO¹

Godron Michel*

RESUMEN

Se propone una metodología para desarrollar modelos ecológicos utilizados en el manejo del territorio, destacándose los elementos más importantes que deben considerarse en la planeación del modelo; se ejemplifica con el Parque Nacional de Cévennes, Francia, y se esquematiza la interacción entre las variables.

Palabras clave: Modelo ecológico, manejo regional, biomasa, variables económicas.

SUMMARY

A method to develop ecological models used in land management is proposed; it takes into account the most significant elements that should be considered during the planning phase; an example is shown with the National Park of Cévennes, France, and a scheme of the interactions among the different variables is included.

Key words: Ecological model, regional management, biomass, economic variables.

¹ Traducción del inglés por Cecilia Nieto de Pascual Pola, Biol. y M.C.; Investigador Titular del CENID COMEF, INIFAP.

* Doctor en Ecología. Instituto de Botánica. Montpellier, Francia.

INTRODUCCIÓN

Los modelos destinados a esquematizar el funcionamiento de un solo ecosistema estacional son ahora relativamente numerosos; así tenemos, por ejemplo, las bibliografías de K.E.F. Watt (1968)², de G.M. Van Dyne (1969)³ o de B.C. Patten (1971)⁴. Por el contrario, los conjuntos de funciones que permiten analizar la evolución de un conjunto de numerosos ecosistemas estacionales a fin de proponer un manejo regional, son raros, sin duda porque deben poseer cuatro características particulares. A continuación se precisan éstas, antes de presentar un ejemplo que ilustre alguna de las dificultades inherentes al problema.

CUATRO CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE UN MODELO DE MANEJO REGIONAL.

El modelo debe comprender varias "facetas".

El territorio comprendido por el modelo no es homogéneo jamás, y se le puede subdividir en fracciones de manera tal que correspondan a otras tantas facetas del modelo.

Estas fracciones son las REGIONES ECOLOGICAS, los SECTORES ECOLOGICOS, o las ESTACIONES, y estos tres niveles deben ser examinados sucesivamente.

REGIONES ECOLOGICAS. La región ecológica es considerada aquí como la entidad del territorio donde las variables climáticas varían de manera regular, en función de la latitud, la altitud, de la exposición general, de la distancia al mar, etc. Dicho de otra manera, es el territorio al interior del cual es posible interpolar las observaciones macro-climáticas.

Los límites de las regiones reales a menudo se fundamentan sobre un conjunto de criterios que no son del todo climáticos. Pero la predominancia del clima presenta una

²Watt, K. E. F. 1968. Ecology and resource management: a quantitative approach.

³Van Dyne, G. M. 1969. Some mathematical models of grassland ecosystems.

⁴Patten, B. C. 1971. Systems analysis and simulation in Ecology.

ventaja, en el sentido de que se permite utilizar los datos meteorológicos para construir el cuadro climático, al interior del cual las otras variables ecológicas van a encajar.

SECTORES ECOLOGICOS. La delimitación de los sectores ecológicos es una fase capital de la operación, ya que a este nivel intervienen las variables ligadas al suelo, principalmente. No nos detendremos aquí porque esto se aboca a las técnicas específicas de la Geomorfología y de la Ecología, y porque es netamente más sincrónica que diacrónica.

ESTACIONES. Si las variables bióticas (en el primer rango de las cuales se coloca la influencia del hombre) fueran importantes al punto de alterar aun al nivel regional a las variables climáticas y edáficas, habría que construir un conjunto de funciones para cada estación ecológica. Es raramente necesario llegar allá, porque el desarrollo natural de los entes vivos, y la acción del hombre son casi siempre modelados sobre sectores ecológicos hacia el interior de una región dada.

Finalmente, dentro de la mayoría de los casos, un modelo de manejo regional comprenderá tantos conjuntos de funciones como sectores ecológicos existan, y dichas funciones están a menudo establecidas a partir de observaciones recogidas gracias a un muestreo estratificado que descansa sobre los criterios climáticos, geológicos, geomorfológicos y fisonómicos.

Los modelos deben tener en cuenta la evolución de las "formaciones vegetales".

La mayor parte de los modelos ecológicos hacen intervenir explícitamente la variable tiempo; aquí será la variable independiente principal para establecer el modelo de la evolución diacrónica de la región y para prever el futuro.

Para algunos, un modelo simulando el funcionamiento de un sólo ecosistema --incluso dentro de una sola formación vegetal-- generalmente no toma en cuenta la evolución de las formaciones vegetales adyacentes. Al contrario, si uno quiere estudiar el conjunto de una región, debe necesariamente conocer las transformaciones posibles (naturales o artificiales) de cada una de las formaciones vegetales.

La elaboración de una matriz de transición permite fácilmente simular la evolución de la vegetación sustraída de la influencia humana. J. Lapart y M. Debussche, así han esquematizado empíricamente las probabilidades de transición en diez años de la vegetación de un valle de Cévannes. Las posibilidades de transición para noventa años se obtienen multiplicando nueve veces la matriz por ella misma. Una evolución de

formaciones se perfila hacia un conjunto de formaciones que corresponden a la secuencia, debido al hayal cartografiado en el Atlas de Languedoc-Roussillon.

Una matriz de transiciones artificiales debidas a una influencia generalizada del hombre según las orientaciones de la economía actual, puede ser establecida; por lo tanto, las proyecciones intermedias describen la evolución de la vegetación en función de las acciones más matizadas.

El modelo debe integrar las variables económicas.

La tercera característica esencial de un modelo de distribución regional es la de poder integrar ciertas variables económicas desde las primeras fases del trabajo; esta integración complica el problema al incorporar algunas variables bastante delicadas de manejar (inversiones, rentabilidad, turismo, etc.), pero simplifica las cosas en la medida en que permite seleccionar las variables y las funciones ecológicas accesibles más importantes. Así, dentro del ejemplo examinado, las variables biológicamente mayores, tales como la actividad de los descomponedores, han sido puestas fuera de circuito, por la simple razón de que sus incidencias no pueden ser actualmente evaluadas.

Cada uno de los elementos de las matrices de transición artificiales corresponden a una porción de un cierto rendimiento por unidad de superficie. La multiplicación de estos rendimientos elementales por el vector de las formaciones vegetales deducido de la carta de ocupación de tierras, indica el rendimiento del primer año de explotación. La evolución de este rendimiento en el curso de los años siguientes, puede ser simulado calculando los potenciales sucesivos de la matriz. Así, podemos estar revelando los tipos de explotación excesivos y las modificaciones del paisaje que peligran al disminuir las bellezas escénicas.

En otro caso --en particular, dentro de aquellos donde la amortización de inversiones dura lapsos más largos que el tiempo estudiado-- los procesos económicos serán aproximados sincrónicamente más que diacrónicamente.

Las variables deben ser segmentadas.

Es útil esquematizar las relaciones entre las variables por una gráfica de conjunto, pero falta, inmediatamente después, descomponer cada una de las variables en segmentos tan numerosos como sea posible. La población de rumiantes, por ejemplo, debe estar subdividida en función de los tipos de alimento que consumen y de los

productos que pueden brindar. Se distinguen así, a las ovejas madres tratadas de aquellas que criaron a sus corderos, y a los corderos de un año (añeros), las madres, y los recién nacidos.

Es a este nivel que la complejidad del modelo puede ajustarse con la mayor sensibilidad deseada, utilizando un programador.

UN EJEMPLO.

La zona central del Parque Nacional de Cévennes se escogió como ejemplo, porque es uno de los casos modelo que tiene cualquier oportunidad de ser puesto a prueba en verdadera grandeza, sin que las consideraciones que no pueden reportarse con la ecología, generen demasiado desorden en el manejo.

Las variables operacionales que han llamado nuestra atención para uno de los sectores estudiados, son los siguientes:

* Variables abióticas.

- Temperatura del aire.
- Precipitaciones.
- Nevadas.
- Humedad del suelo.

* Variables relativas a los productores y consumidores.

- Biomasa aérea de leñosas altas.
- Biomasa aérea de leñosas bajas.
- Biomasa aérea de vegetación herbácea.
- Materia orgánica mineralizada por la descomposición.
- Biomasa de carneros y cabras.
- Caza.
- Copas forestales.
- Salvajes y rapaces.
- Porciones de cazadores (eventualmente).

* Variables socioeconómicas.

- Densidad de la población autóctona (en relación con el habitat).
- Inversiones.
- Turismo y bienes o servicios gratuitos (en relación

con las vías de comunicación).

Rentabilidad.

Esto puede simbolizarse con:

$$BLH = f(T,H,C,P,F,I)$$

Con todo rigor, esta función deberá estar calculada a partir de mediciones precisas de fotosíntesis, de transferencia hacia los troncos, de la actividad de carnívoros, de fluctuaciones del curso de la madera, de la política forestal nacional, etc.

La experiencia adquirida dentro de este campo, con la ayuda de la Delegación General de la Investigación Científica y Técnica, conduce a ensayar muy pronto una primera aproximación del conjunto de relaciones, sin atender a los detalles que son ya conocidos.

La solución más simple consiste en tratar solamente las variables lineales en valor relativo, las variables biológicas y socioeconómicas. Desde un punto de vista teórico, esto conduce a construir un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden, pero es muy simple simular directamente la evolución de un sistema, paso a paso, utilizando, por ejemplo, el lenguaje APL.

Todo esto es extremadamente elemental, y no puede servir más que para mostrar por cual vía nos parece posible elaborar los modelos ecológicos para el manejo de un territorio. Para tener algunas oportunidades de alcanzar tales objetivos, las condiciones necesarias (que no son suficientes) son:

- La existencia de un equipo interdisciplinario, capaz de realizar una integración desde el inicio del programa.
- Un territorio donde los criterios de manejo tomados en cuenta por los que toman decisiones, no serían solamente las variables socioeconómicas, sino también los caracteres ecológicos.
- El conocimiento previo de las principales unidades ecológicas, conduce cuando menos a una carta de reconocimiento.

Finalmente, cabe insistir sobre esta última condición al recordar que hará falta construir tantos modelos diferentes como sectores ecológicos halla dentro del territorio

estudiado, ya que la elaboración de estos modelos no reemplaza los estudios fitoecológicos, en virtud de encontrarse más bien en la fase última.

BIBLIOGRAFÍA

- GODRON, M. *et al.* 1968. Code pour le relevé methodique de la vegetation et du milieu: principes et transcription sur cartes perforées. Ed. du CNRS. Paris, France.
- PATTEN, B.C. 1971. Systems analysis and simulation in Ecology. Academic Press. New York.
- VAN DYNE, G.M. 1969. Some mathematical models of grassland ecosystems. In: R.L. Dix & R.G. Beidleman (Eds.). Colorado State University.
- WATT, K.E.F. 1968. Ecology and resource management: a quantitative approach. McGraw Hill. New York.

ON SPATIAL STATISTICS IN FORESTRY^{*}

Matérn Bertil^{**}

ABSTRACT

The paper tries to give historical glimpses of statistical methods related to the spatial arrangement of plants and trees in a forest. This spatial pattern has interested authors dealing with the growth of trees of stands as affected by the competition from neighbours. It has also been studied in investigations about the efficiency of operations in the forest. Most of the investigations of the spatial structure of a forest have however been connected with studies of the performance of mensurational methods and sampling designs. The angle count method is taken up as an example. Some methods that have been used for a quantitative description of the spatial pattern are reviewed. Mathematical models used to simulate spatial patterns are also taken up in recent times. The modelling has been based on the theory of stochastic processes. The French geostatistical school has developed a rich set of concepts and methods for spatial models.

RESUMEN

Este artículo comprende un breve análisis histórico de los métodos estadísticos relacionados con la distribución de plantas y árboles en un bosque. Este patrón espacial ha llamado la atención de autores interesados en el crecimiento de árboles en rodales que son afectados por la competencia. También ha sido estudiado en investigaciones relacionadas con la eficiencia de operaciones en el bosque. No obstante, la mayor parte de las investigaciones sobre la estructura espacial de un bosque, se ha asociado con estudios de comportamiento de métodos de medición y diseños de muestreo. Se toma como ejemplo el método de conteo angular. Se revisan algunos métodos utilizados para una descripción cuantitativa del patrón espacial. Recientemente se han utilizado también patrones matemáticos para simular patrones espaciales. El trazo del patrón se

^{*} Este artículo se publica con la autorización expresa del autor.

^{**} Dr., Department of Forest Biometry, University of Agricultural Sciences, Umea, Sweden.

ha basado en la teoría de procesos estocásticos. La escuela francesa de Geoestadística ha desarrollado una valiosa colección de conceptos y métodos para patrones espaciales.

There are many applications of spatial statistics in forestry. This should not be surprising since geometry is involved in many concepts and theories in forestry. We may think of the spatial pattern formed by the distribution of forest land over a region, the geometrical arrangement of trees in a forest, also the geometry of the elements of the single tree. I shall here mainly deal with statistical problems and theorems connected with the *spatial arrangement of trees in a forest*.

To illustrate what this is all about, I first give a couple of examples. I then pass to a brief survey of some applications of spatial statistical methods. I must, however, warn the readers that I only give a sample, rather subjectively chosen, of theories and methods that have been applied to spatial problems in forestry.

The examples concern a very simple problem, studied by aid of a very simple spatial model. This model has been called "The Poisson forest". The term was introduced by Keuls *et al.* (1963)¹. Trees are located completely at random in the plane. In other words, the centers of the trees form a realisation of a plane Poisson process. The properties of a tree are determined by a random experiment, independent of the location of the tree, and also independent of the location and properties of other trees. [The term "Poisson forest" has also been used as a synonym to a planar Poisson process, see Diggle (1979)² and Cormack (1979)³]. We consider now only one property: The basal area at breast height. We suppose that the basal area of individual stems has a distribution with coefficient of variation C .

Let us place n observation points in the plane. From each observation point we count the number of stems, which seen from the point subtend an angle $> \alpha$. Let v be the total number of trees counted in the n points. Denote $[100 \sin(\alpha/2)]^2$ by k . Then the quantity

$$\varepsilon_B = kv/n \quad (1)$$

is a consistent estimate of the basal area in square metres per hectare. The angle α is often chosen so that k (called "the basal area factor") is 1, 2, or 4.

¹Keuls, M.; Over, H.J. and De Wit. 1963. The distance method for estimating densities. pp. 71-91.

²Diggle, P. J. 1979. Statistical methods for spatial point patterns in ecology. pp. 95-150.

³Cormack, R. M. 1979. Spatial aspects of competition between individuals. pp. 151-211.

This is of course Bitterlich's famous *angle-count method*. One of the first investigations of the mathematical properties of the method was Holgate (1967)⁴. He studied its performance in a Poisson forest. Assuming that the n points are located in such a way that a tree in the forest can never be counted from two points, v has a Poisson distribution with mean = variance = γnk^{-1} . Here γ is the true basal area per hectare in the forest (in square meters per hectare). Then the standard error of the estimate (1) is

$$\varepsilon_B = \sqrt{\gamma k/n} \quad (2)$$

This can also be written

$$\varepsilon_B = \gamma / \sqrt{N_B} \quad (2a)$$

where $N_B = E[v]$, i.e. the expected total number of stems counted. It should be added that expressions for ε_B in the Poisson case are also found in Grosenbaugh (1967)⁵.

Let us compare this with a sample plot survey of a Poisson forest, in which n plots of constant area a hectares are chosen with the restriction that they have no point in common. Let G denote the basal area (in square meters) of all trees callipered in the n plots. The relative basal area γ is then estimated by

$$P = G / (na) \quad (3)$$

As shown by Holgate (*op. cit.*), the standard error of this estimate is

$$\varepsilon_P = \gamma \sqrt{(1 + C^2)} / \sqrt{N_p}$$

where N_p is the expected total number of stems on the n plots. A comparison between (2a) and (4) shows that to obtain the same precision in both types of surveys, we need to measure a higher number of stems on the plots than the number of stems counted in the angle-plot survey, unless all stems have the same basal area (the case $C = 0$). The formulas show that for the two surveys to give equal precision, the expected basal area of all stems *measured* in the plot survey must be the same as the expected basal area of all stems counted in the Bitterlich survey (Matérn, 1969)⁶. Using the same diameter

⁴Holgate, P. 1967. The angle-count method. pp. 615-623.

⁵Grosenbaugh, L. R. 1967. The gains from sample-tree selection with unequal probabilities. pp. 203-206.

⁶Matérn, B. 1969. Wiegroß ist die "Relaskopfläche"? pp. 21-22.

distribution as the one assumed in Suzuki and Matsumura (1989)⁷, we get $C = .39$. This shows that - in the Poisson case - to obtain the same precision with a sample plot survey, we must measure around 15 per cent more trees than the number counted in Bitterlich sampling. This is a low value due to the low value of C in an evenaged forest. The example illustrates the performance of different mensurational methods.

For a second example, let us consider the case $k = 4$ and ask what number of sample points that is needed in a Bitterlich sampling if we want ϵ_B to be as small as 2.5 % of the true value γ . This we assume to be 22.8, a value taken from an example in Suzuki and Matsumura (*op. cit.*). Using (2), we find $n > 280$. The same question is asked in the paper referred to, where the answer is $n > 144$. These authors base their computations on a model forest that is much more regular than the Poisson forest. Still the number 144 is rather large, indicating a very expensive inventory. On the other hand, if we change the example by considering a Bitterlich sampling with $k = 1$, and the more modest requirement that the ϵ_B shall be 5 % of the true value, formula (2) gives, still with $\gamma = 22.8$, the answer $n > 17$. This example illustrates the effect of the required precision on the sample size.

Holgate (*op. cit.*) also treated the case when the trees form a regular, square or triangular, pattern. This is mathematically more complicated than the Poisson case, but the performance of the sampling methods can still be studied by analytic methods. The angle-count method has later been studied for some more complicated patterns. Analytic solutions are given in some cases by Matérn (*op. cit.* and 1972)⁸, and - in more general and advanced cases - by Penttinen (1988)⁹. Simulations will however be necessary in many cases, especially if the model is a more or less true copy of an actual forest. For such simulations, see e.g. Palley and O'Regan (1961)¹⁰, Sukwong *et al.* (1971)¹¹, and the paper already referred to by Suzuki and Matsumura. It seems that the relative advantage of the relascope method over sample plots is as large or greater than in the Poisson forest.

The relascope examples illustrate what appears to be the most common use of spatial statistics in forestry: *To study statistical problems, especially the performance of mensurational methods and sampling strategies.*

⁷Suzuki, T. and Matsumura, N. 1989. Simulation der Winkezahlprobe nach Bitterlich. pp. 998-1002.

⁸Matérn, B. 1972. The precision of basal area estimates. pp. 123-125.

⁹Penttinen, A. 1988. A random field approach to Bitterlich sampling. pp. 259-268.

¹⁰Palley, M. N. and O'Regan, W. G. 1961. A computer technique for the study of forest sampling methods. I. Point sampling compared with line sampling. pp.282-294.

¹¹Sukwong, S., Frayer, W. E. and Mogren, E. W. 1971. Generalized comparisons of the precision of fixed-radius and variable-radius plots for basal area estimates. pp. 263.271.

The earliest approach to the use of spatial statistical methods in forestry for problems of this type appeared in connection with the somewhat complicated question of the *precision of a systematic sample*, such as a regularly spaced line or sample plot inventory. The first statistical discussion of this problem appeared in the Scandinavian countries some 80 years ago when the first large scale forest inventories were planned (in Finland, Norway, and Sweden). They were based on a simple model of independent observations, a model which is analogous to the Poisson forest. Then followed models of a non-stochastic trend plus a purely random component. These models are rather unrealistic.

Attempts to a more sophisticated and more realistic model can be traced back to Langsaeter's work (1926, 1927)¹², attempts that can be said to be analogous to those that were based on the theory of *autocorrelated stochastic processes* and appeared much later in the statistical literature (Cochran, Madow, Yates and others). Such models have later been used in studies of many statistical problems in forest surveys: Comparisons of different sampling schemes, the choice of shape and size of sampling units, etc. A recent work in the long Nordic tradition in this field is Korhonen and Maltamo (1991)¹³.

Another field where the pattern of trees in a forest has been of importance is the study of growth and *yield of individual trees and stands*. One distinguishes between *regular patterns*, that can be said to be in between the completely regular networks and the Poisson process, and *clustered patterns* that are more aggregated than the Poisson process. There are many factors that can produce clustering, whereas competition between plants can have a tendency to produce regularity, as does of course also artificial regeneration. It would lead too far to try to mention all the types of models that have been suggested. One model of clustering that has been applied in many fields, also in forestry, is the *center satellite model*, extensively investigated by W.G. Warren, see e.g. Warren (1971)¹⁴. Models involving inhibition have been applied to show the effect of competition. The geometry of the ground area occupied by a tree, or available to the tree, has been dealt with by i.a. Brown (1965)¹⁵, Adlard (1974)¹⁶, and Gates and Westcott (1978)¹⁷. Different expressions for the effect of competition on the

¹²Langsaeter, A. 1926-1927. Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer regelmässigen Linientaxierung, pp. 71-89.

¹³Korhonen, K. T. and Maltamo, M. 1991. The evaluation of forest inventory designs using correlation functions, pp. 77-83.

¹⁴Warren, W. G. 1971. The center-satellite concept as a basis for ecological sampling, pp 87-116.

¹⁵Brown, G. S. 1965. Point density in stems per acre.

¹⁶Adlard, P. G. 1974. Development of an empirical competition model for individual trees within a stand, pp. 22-37.

¹⁷Gates, D. J. and Westcott, M. 1978. Spatial competition in plantations, pp. 98-103.

survival and growth of a tree can be studied in e.g. Newnham and Smith (1964)¹⁸, Mitchell (1969)¹⁹, Lundell (1973)²⁰, Hegyi (1974)²¹, and Diggle *et al.* (1976)²². Surveys of the development of the subject can be found in e.g. Munro (1964)²³, and the recent investigations Pukkala (1989)²⁴, and Tham (1989)²⁵.

The modelling of the pattern is one side of the problem. Another side is the *statistical method used to express the properties of an observed pattern*. Some methods require a knowledge of the location of all trees, i.e. the case of *mapped data*, where as other methods are intended for *samples* of observation points or sample plots (usually called quadrats in ecology). Many methods are founded on so called distance methods: Distances from sample point to the nearest trees, and from a tree to its neighbours, supply information about the clustering of the tendency towards regularity, see Diggle *et al.* (*op. cit.*), and Diggle (1983)²⁶. The first application of such methods to estimate the density of plants was published by the german forester Bauersachs (1942)²⁷. Distance methods were further developed by ecologists in the 1950's. There is also a line of research on these methods reported in the forestry literature, see e.g. works by Essed (1954)²⁸, Strand (1954)²⁹, Stoffels (1955)³⁰ and Persson (1964)³¹.

Investigations of the performance of the distance methods were among the first extensive applications of *simulation methods*. Some early references are Clark and Evans (1954)³², and Cottam and Curtis (1956)³³. For recent developments, see Diggle (*op. cit.*). The intricate network of influences from tree to tree invalidates many

¹⁸Newnham, R. M. & Smith, J. H. G. 1964. Development and testing of stand models for Douglas fir and lodgepole pine. pp. 494-502.

¹⁹Mitchell, K. J. 1969. Simulation of the growth of even-aged stands of white spruce.

²⁰Lundell, S. 1973. A model for simulating volume increment in theoretical stands.

²¹Hegyi, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. pp. 74-90.

²²Diggle, P.; J. Besag, J. and Gleaves, J. T. 1976. Statistical analysis of spatial point patterns by means of distance methods. pp. 659-667.

²³Munro, D. D. 1974. Forest growth models a prognosis. pp. 7-21.

²⁴Pukkala, T. 1989. Methods to describe the competition process in a tree stand. pp. 187-202.

²⁵Tham, A. 1989. Prediction of individual tree growth in managed stands of mixed *Picea abies* (L.) Karst., *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. pp. 491-512.

²⁶Diggle, P. J. 1983. Statistical Analysis of Spatial Patterns.

²⁷Bauersachs, E. 1942. Bestandesmassenaufnahme nach dem Mittelstammverfahren des zweitkleinsten stammabstandes. pp. 182-186.

²⁸Essed, F. E. 1954. A quick, simple and at the same time accurate method for estimating the total volume and the increment percent of evenaged stands. pp. 260-263.

²⁹Strand, L. 1954. A measure of the distribution of individuals over a certain area. pp. 191-207.

³⁰Stoffels, A. 1955. Die Genauigkeit der Bestimmung der Stammzahl pro hektar durch Messung von Stammabständen. pp. 211-218.

³¹Persson, O. 1964. Distance methods.

³²Clark, P. J. and Evans, F. C. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships. pp. 445-453

³³Cottam, G. and Curtis, J. T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. pp. 451-460.

classical statistical procedures, as pointed out by Ford & Diggle (1981)³⁴. Tomppo (1986)³⁵ surveys both models and statistical methods for analysing spatial pattern of trees.

One other application of spatial statistics that ought to be mentioned is the investigation of how operations in a forest are affected by the spatial pattern. I give two references: Newnham (1965)³⁶, and Almquist (1973)³⁷. Newnham is one of the pioneers in the field of spatial models and computer simulation in forestry, see also Newnham (1967)³⁸.

The French geostatistical school founded by G. Matheron has given very important contributions to the study of spatial patterns. This school has developed a wealth of concepts and methods for modelling and analysing spatial phenomena. A short survey is Miller *et al.* (1972)³⁹. Applications to forestry are found in the theses Marbeau (1976)⁴⁰, and Houillier (1986)⁴¹, to ecology in general in Rossi *et al.* (1992)⁴². Isaacs and Srivastava (1989)⁴³ is a recent textbook.

The construction of concepts and methods for the study of spatial patterns in forestry has perhaps an appearance of being home-made in the early applications. It has in recent times, for better or worse, been influenced by the mathematical and statistical theories of *stochastic geometry* and *spatial statistics*. These theories seem at present to be in a state of rapid development. Comprehensive textbooks did not appear until in the 1980's: Ripley (1981)⁴⁴, Diggle (*op. cit.*) y Stoyan *et al.* (1987)⁴⁵.

Spatial statistics now comprises several special applications such as *image analysis* and *stereology*. These theories deal with procedures of making inference about three-dimensional phenomena from observations in two or lower dimensions. We may include also inferences about two-dimensional surfaces from observations in one or zero dimension: Lines and points. The lines and transects of forestry and ecology are

³⁴Ford, E. D. & Diggle, P. J. 1981. Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. pp. 481-500.

³⁵Tomppo, E. 1986. Models and methods for analysing spatial patterns of tree.

³⁶Newnham, R. M. 1965. The effect of the spatial distribution of trees on the design of harvesting machinery.

³⁷Almquist, A. 1973. Simulation of logging machines.

³⁸Newnham, R. M. 1967. The use of simulation models in forest research. pp. 224-254.

³⁹Miller, C.; Poissonnet, M. and Serra, J. 1972. Morphologie mathématique et sylviculture.

⁴⁰Marbeau, J. P. 1976. Géostatistique forestière.

⁴¹Houillier, F. 1986. Échantillonnage et modélisation de la dynamique des peuplements forestiers.

⁴²Rossi, R. E., Mulla, D. J., Journel, A. G. & Franz, E. H. 1992. Geostatistical tools for modelling and interpreting ecological spatial dependence. pp. 277-314.

⁴³Isaacs, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. An introduction to applied geostatistics.

⁴⁴Ripley, B. D. 1981 Spatial statistics.

⁴⁵Stoyan, D.; Kendall, W. S. and Mecke, 1987. Stochastic Geometry and its applications.

examples of practical applications of the stereological theory, and many new possible applications appear in the handling of information from satellites. A good example of a stereologic procedure is the angle count method of Bitterlich, and further developments of the method by Strand, Hirata and others, see Bitterlich (1984).⁴⁶

I started this paper with a study of this method, and I may as well stop here. The relascope is the most spectacular application of spatial statistics in forestry that has appeared in the last 100 years.

REFERENCES

- ADLARD, P. G. 1974. Development of an empirical competition model for individual trees within a stand. *In*: FRIES, J. (1974): 22-37.
- ALMQUIST, A. 1973. Simulation of logging machines. (In Swedish. English summary). *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Meddelande 9*.
- BAUERSACHS, E. 1942. Bestandesmassenaufnahme nach dem Mittelstammverfahren des zweitkleinsten Stammabstandes. *Forstwissenschaftliches Centralblatt 64*: 182-186.
- BITTERLICH, W. 1984. The relascope idea. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- BROWN, G. S. 1965. Point density in stems per acre. *New Zealand Forestry Research Notes 38*.
- CLARK, P. J. and EVANS, F. C. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships. *Ecology 35*: 445-453.
- CORMACK, R. M., 1979. Spatial aspects of competition between individuals. *In*: CORMACK and ORD (1979), pp. 151-211
- CORMACK, R. M. and ORD, J. K. (eds.). 1979. Spatial and temporal analysis in ecology. *Statistical Ecology Series, Volume 8*. International Co-operative Publishing House. Fairland, Maryland, USA.

⁴⁶Bitterlich, W. 1984. The relascope idea.

- COTTAM, G. and CURTIS, J. T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37: 451-460.
- DIGGLE, P. J. 1979. Statistical methods for spatial point patterns in ecology. *In*: CORMACK and ORD (1979), pp. 95-150.
- DIGGLE, P. J. 1983. *Statistical Analysis of Spatial Patterns*. Academic Press, London.
- DIGGLE, P. J., BESAG, J. and GLEAVES, J. T. 1976. Statistical analysis of spatial point patterns by means of distance methods. *Biometrics* 32: 659-667.
- ESSED, F. E. 1954. A quick, simple and at the same time accurate method for estimating the total volume and the increment percent of evenaged stands. Paper for the IV World Forestry Congress, and in *Indian Forester* 82: 260-263 (1956).
- FORD, E. D. and DIGGLE, P. J. 1981. Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. *Annals of Botany* 48: 481-500.
- FRIES, J., (ed.) 1974. Growth models for tree and stand simulation, IUFRO S4.01-4. Proceedings of meetings in 1973. Royal College of Forestry, Stockholm. Department of Forest Yield Research, Research Note 30.
- GATES, D. J. and WESTCOTT, M. 1978. Spatial competition in plantations. Supplement to *Advances in Applied Probability* 10: 98-103.
- GROSENBAUGH, L. R. 1967. The gains from sample-tree selection with unequal probabilities. *Journal of Forestry* 65: 203-206.
- HEGYI, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. *In*: FRIES, J., 1974, pp. 74-90.
- HOLGATE, P. 1967. The angle-count method. *Biometrika* 54: 615-623.
- HØJLLIER, F. 1986. Échantillonnage et modélisation de la dynamique des peuplements forestiers. Thèse présentée devant l'Université de Claude Bernard, Lyon.
- ISAAKS, E. H. and SRIVASTAVA, R. M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press.

- KEULS, M.; OVER, H. J. & De WIT. 1963. The distance method for estimating densities. *Statistica Neerlandica* 17: 71-91.
- KORHONEN, K. T. & MALTAMO, M. 1991. The evaluation of forest inventory designs using correlation functions. *Silva Fennica* 25 (2): 77-83
- LANGSAETER, A. 1926, 1927. Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer regelmässigen Linientaxierung. (In Norwegian. German summary) *Meddelelser fra det norske skogforsoksvesen* 2 (7): 5-47 and 2 (8): 71-89.
- LUNDELL, S. 1973. A model for simulating volume increment in theoretical stands. (In Swedish, English summary). Royal College of Forestry, Stockholm, Department of Silviculture, Research Notes 2.
- MARBEAU, J. P. 1976. Géostatistique forestière. Thèse présentée à l'École Nationale Supérieure des Mines à Paris.
- MATÉRN, B. 1969. WiegroBist die "Relaskopfläche"? *Allgemeine Forstzeitung*, Folge 2 (80): 21-22.
- MATÉRN, B. 1972. The precision of basal area estimates. *Forest Science*, 18 (2): 123-125.
- MILLIER, C., POISSONNET, M. and SERRA, J. 1972. Morphologie mathématique et sylviculture. In: I.U.F.R.O., 3rd Conference, Advisory Group of Forest Statisticians, Jouy-en-Josas, 7-11 septembre 1970. Institut Nationale de la Recherche Agronomique.
- MITCHELL, K. J. 1969. Simulation of the growth of even-aged stands of white spruce. Yale University, School of Forestry, Bulletin 75.
- MUNRO, D. D. 1974. Forest growth models a prognosis. In: FRIES (1974), pp. 7-21.
- NEWNHAM, R. M. 1965. The effect of the spatial distribution of trees on the design of harvesting machinery. Canada, Dept. of Forestry 65-H.5.
- NEWNHAM, R. M. 1967. The use of simulation models in forest research. International Advisory Group of Forest Statisticians. Second Conference.

- Stockholm, 27th September - 1st October 1965. Royal College of Forestry, Stockholm, Department of Forest Biometry, Research Notes 9: 244-254.
- NEWNHAM, R.M. and SMITH, J.H.G. 1964. Development and testing of stand models for Douglas fir and lodgepole pine. *The Forestry Chronicle* 40: 494-502.
- PALLEY, M. N. and O'REGAN, W.G. 1961. A computer technique for the study of forest sampling methods. I. Point sampling compared with line sampling. *Forest Science* 7: 282-294.
- PENTTINEN, A. 1988. A random field approach to Bitterlich sampling. *Annales academiae fennicae. Ser A1* (13): 259-268.
- PERSSON, O. 1964. Distance methods. *Studia forestalia suecica* 15.
- PUKKALA, T. 1989. Methods to describe the competition process in a tree stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 187-202.
- RIPLEY, B. D. 1981. *Spatial Statistics*. Wiley.
- ROSSI, R. E.; MULLA, D. J.; JOURNEL, A. G. and FRANZ, E. H. 1992. Geostatistical tools for modelling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62: 277-314.
- STOFFELS, A. 1955. Die Genauigkeit der Bestimmung der Stammzahl pro Hektar durch Messung von Stammabständen. *Forsfwissenschaftliches Centralblatt* 74: 211-218.
- STOYAN, D.; KENDALL, W.S. and MECKE, J. 1987. *Stochastic Geometry and Its applications*. Wiley.
- STRAND, L. 1954. A measure of the distribution of individuals over a certain area. (In Norwegian, English summary). *Meddelelser fra det Norske skogforsoksvesen* 12: 191-207.
- SUKWONG, S.; FRAYER, W. E. and MOGREN, E. W. 1971. Generalized comparisons of the precision of fixed-radius and variable-radius plots for basal area estimates. *Forest Science* 17: 263-271.

- SUZUKI, T. and MATSUMURA, N. 1989. Simulation der Winkezahlprobe nach Bitterlich. Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie. Freiburg i. Br. 89 (2) 998-1002.
- THAM, A. 1989. Prediction of individual tree growth in managed stands of mixed *Picea abies* (L.) Karst. and *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. Scandinavian Journal of Forest Research 4. 491-512.
- TOMPPA, E. 1986. Models and methods for analysing spatial patterns of trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 138.
- WARREN, W.G., 1971. The center-satellite concept as a basis for ecological sampling. In: PATIL, G.P.; PIELOU, E.C. and WATERS, W.E. (eds). Statistical Ecology 2, Pennsylvania State University Press, pp. 87-116.