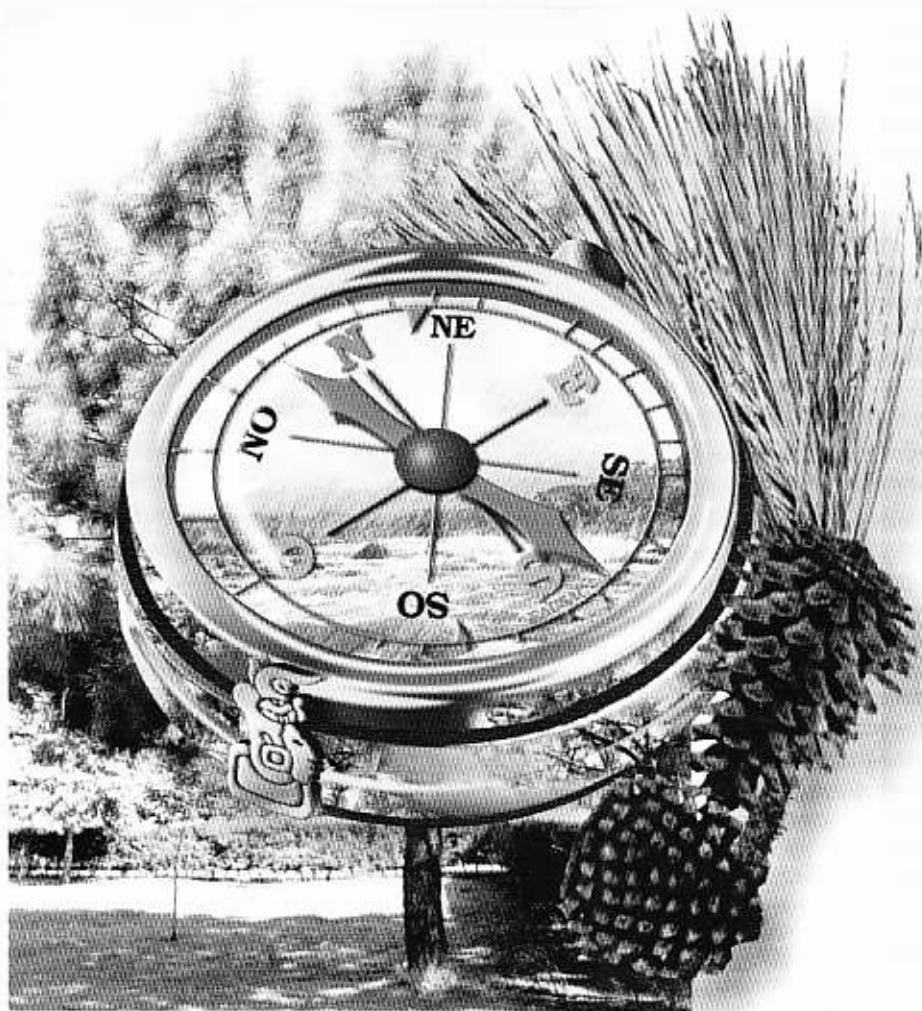


tikalia

Volumen XVIII, No. 1
enero - junio 2000





**APORTES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

La Revista Tikalia es el órgano oficial de divulgación de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Su propósito es contribuir al desarrollo de las Ciencias Agrícolas mediante la publicación de artículos científicos y técnicos que reflejan los resultados de las investigaciones que realizan profesores y estudiantes de la Facultad; así como la publicación de artículos teóricos elaborados por científicos y técnicos de otras universidades e instituciones de investigación agrícola que se adecúen a las necesidades del desarrollo académico de la Facultad.

Los autores son responsables del contenido de sus artículos.



Órgano de divulgación de la
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Vol. XVIII, No. 1



Guatemala
2000

**Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Junta Directiva

Decano: Ing. Agr. Edgar Franco Rivera
Secretario: Ing. Agr. Edil Rodríguez
Vocal I: Ing. Agr. Walter García Tello
Vocal II: Ing. Agr. William Roberto Escobar López
Vocal III: Ing. Agr. Alejandro Hernández
Vocal IV: Br. Jacobo Bolvito
Vocal V: Br. José Domingo Mendoza

Comité Editorial

Dr. Hugo Cardona Castillo
Dr. Ariel Ortiz
Ing. Agr. Mario Alberto Méndez
Lic. David Pinto Díaz
Periodista Dennis Escobar Galicia

Edición y Artes Finales: F&G Editores
Telefax: (502) 4740214
fgeditor@guate.net
www.fygeditores.com

Impresión: Editorial Cholsamaj
Telefax: (502) 2325417
cholsamaj@micro.com.gt

Revista *Tikalía*
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Guatemala
Teléfono: (502) 4769770
Fax: (502) 4769770
Correo electrónico: comited.agro@usac.edu.gt

PRESENTACIÓN

La Revista *Tikalía*, publicación especializada con aportes científico-tecnológicos en Sistemas de Producción Agrícola y Recursos Naturales Renovables, culmina sus dieciocho volúmenes en el año del Cincuentenario de la Facultad de Agronomía.

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) fue creada el 14 de junio de 1950, durante el Periodo Revolucionario de 1944-1954. Fue establecida en esa década porque al impulsarse el desarrollo capitalista independiente, era necesario contar con profesionales de la agricultura con estudios superiores, capaces de mejorar la producción y contribuir a la modernización de Guatemala.

Los planes de estudio de la FAUSAC han sido modificados en diferentes momentos, a fin de adaptarse a los cambios que se han efectuado en el desarrollo mundial, el nacional y el de la unidad académica en particular. El más visionario, el de 1980, creó la carrera de ingeniero agrónomo en recursos naturales renovables e impulsó la edición de ésta revista, cuyo primer número apareció en 1982.

Este número de *Tikalía* contiene cinco artículos de alto interés científico, elaborados por docentes investigadores de la Facultad y por destacados tesisistas. Ahora se da cabida a las dos mejores tesis de 1999.

El primer artículo "Modelos Cualitativos de Alta Dimensión: una aplicación práctica", elaborado por el Dr. en Economía Agrícola Hugo Cardona, hace una exposición sucinta de la primera aplicación práctica que se ha realizado del Modelo Probit Multivariado.

"Usos de Series de Fourier para Predicción Climatológica", artículo del Mestro Eddi Vanegas Chacón, da a conocer la aplicabilidad de las ecuaciones diferenciales parciales, utilizadas

en la predicción numérica de la precipitación media mensual para el Valle de Guatemala durante los últimos 25 años.

El cuarto artículo fue elaborado con base a la tesis de Mario René Alfaro Argueta, premiada como la mejor tesis de 1999 en Recursos Naturales Renovables; presenta los resultados de la investigación llevada a cabo en una plantación de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, dirigida a evaluar el efecto de tres intensidades de raleo y de poda en el crecimiento de una plantación de pino caribe.

"Producción de Micorrizas en Plántulas de *Pinus maximinoi*. H.E.(...)" es el artículo elaborado con base en la mejor tesis de graduación de 1999 en Sistemas de Producción Agrícola. En el estudio de Marvin Urizar Quezada se trabajó la síntesis de micorrizas en *Laccaria laccata* A-127 (cepa extranjera) (Scop. Ex. Fr. Bk. c. Br). *Pisolithus tintorius* (Pers. Coker y Couch) y *Scleroderma* sp. (Pers.) en plántulas de pino candelillo (*Pinus maximinoi*. H.E. Moore), para determinar la eficiencia de las mismas y los efectos sobre las plántulas.

Finalmente se incluye un artículo sobre índices de sitio preliminares para *Cupressus Lusitanica* Miller, elaborado por Julio Rolando Tzirin, Luis Fernando Ortiz Castillo y Mario Alberto Méndez. En este se recogen los resultados de la investigación dirigida a estimar, con carácter preliminar, la calidad de sitio de las plantaciones de *Cupressus Lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii*. H.E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.

Los editores

CONTENIDO

- 7** Modelos cualitativos de alta dimensión:
una aplicación práctica
Hugo Cardona Castillo
- 25** Uso de series de Fourier para predicción climatológica
Eddi Alejandro Vanegas Chacón
- 39** Producción de micorrizas en plántulas de
Pinus maximinoi. H. E. Moore con *Laccaria laccata*,
Pisolithus tinctorius y *Scleroderma* sp.
Marvin Urizar Quezada
Roberto Flores Arzú
Edil Rodríguez Quezada
- 51** Evaluación inicial del efecto de tres
intensidades de raleo y tres de poda en el
crecimiento de una plantación de *Pinus caribaea*
Morelet var. *hondurensis*, Livingston, Izabal
Mario René Alfaro Argueta
- 107** Índices de sitio preliminares para *Cupressus*
lusitanica Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*
Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus*
strobus L. var. *chiapensis* Martínez, establecidas en
plantación en el proyecto de reforestación Saquichaj,
Cobán, Alta Verapaz
Julio Rolando Tzirin Batzin
Luis Fernando Ortiz Castillo (QEPD)
Mario Alberto Méndez Muñoz

MODELOS CUALITATIVOS DE ALTA DIMENSIÓN: UNA APLICACIÓN PRÁCTICA

Hugo Cardona Castillo



Resumen

El presente artículo hace una exposición sucinta de la primera aplicación práctica que se ha realizado del *Modelo Probit Multivariado*. Los fundamentos teóricos de este modelo han venido desarrollándose desde hace varias décadas [Nerlove, 1976; Maddala, 1983]; sin embargo, limitaciones tecnológicas entre otras causas, habían forzado a que su planteamiento se quedara en una simple posibilidad teórica. Su primera aplicación a un caso real fue posible hasta la realización del estudio "Analysis of Policy Alternatives in the Implementation of a Coastal Nonpoint Pollution Control Program for Agriculture," [Cardona, 1999], del cual se presenta aquí un breve extracto.

Para ilustrar la aplicación del modelo, se utiliza el caso de la adopción de "Prácticas Agrícolas Ambientalmente Amigables" (PAAA) en caña de azúcar. En el área de estudio, este cultivo está sujeto a la implementación de PAAA que se han agrupado en tres grandes medidas de manejo [EPA, 1993]. Los resultados indican que el análisis individual de cada una de las PAAA o de cada una de las medidas de manejo es inapropiado ya que existe correlación contemporánea de los errores aleatorios.

INTRODUCCIÓN

Existe un conflicto obvio entre el ambientalismo radical y la indiferencia de la agricultura hacia el ambiente. En lo conceptual, el estudio base fue desarrollado para tratar de lograr dos objetivos de política: conseguir objetivos ambientalmente deseables; y mantener la agricultura como una actividad económicamente viable. En el país donde se realiza el estudio de caso (Estados Unidos de América), existe la posibilidad de requerir que los productores de caña de azúcar implementen ciertas PAAA, en el contexto de tres medidas de manejo, tal como se indica en el Cuadro 1, donde también se indican los códigos que se usan en el análisis.

Las variables independientes que se incluyen en el estudio son organizadas en las siguientes categorías: variables sociales y económicas; actitudes ambientales; y, factores institucionales. Las variables sociales y económicas incluyen: educación, edad, experiencia agrícola, nivel de ingreso, nivel de deuda del agricultor y actitud hacia el riesgo. Las actitudes ambientales de los productores fueron evaluadas mediante el uso de dos variables: una pregunta directa sobre si el productor cree que la agricultura reduce la calidad del agua que sale de las unidades de producción agrícola, y la nueva escala del paradigma ecológico desarrollada por Dunlap *et al.* [1992]. Factores institucionales son evaluados mediante el uso de las siguientes variables: número de veces que el productor se ha comunicado con el servicio de extensión agrícola, conocimiento de la existencia de legislación ambiental que afecta la producción agrícola y si ha recibido algún subsidio para la realización

Cuadro 1
MEDIDAS DE MANEJO, PRÁCTICAS AGRÍCOLAS
AMBIENTALMENTE AMIGABLES, CÓDIGOS Y EXPLICACIÓN

Medida de manejo	Práctica específica	Explicación
Control de la erosión del suelo y de sedimentos (SSC)	SSCP1	Nivelación de tierras y/o arreglo de cultivos en contorno.
	SSCP2	Rotación de cultivos o uso de cultivos de cobertura.
	SSCP3	Mantenimiento de residuos de cultivo durante los meses de invierno.
	SSCP4	Construcción de estructuras permanentes de conservación de suelos.
	SSCPTDUM	Variable binaria por la suma de $SSCP_i$ cuando la suma es mayor que uno.
Manejo de nutrientes (NMP)	NMP1	Aplicación de fertilizantes basada en muestreo de suelos, análisis de laboratorio y rendimientos esperados.
	NMP2	Uso de cualquiera de las siguientes prácticas de fertilización: aplicación escalonada de nutrientes, fertilización en bandas o uso de fertilizantes de liberación lenta.
	NMP3	Uso de fuentes alternativas de nutrientes (abono orgánico, lodos, cultivos de cobertura, etc.).
	NMPTDUM	Variable binaria por la suma de NMP_i cuando la suma es mayor que uno.
Manejo de pesticidas (PMP)	PMP1	Basar la aplicación de pesticidas y herbicidas en umbrales económicos verificados en el campo.
	PMP2	Uso de una construcción especial para la mezcla, carga y almacenaje de agroquímicos.
	PMP3	Calibrar los equipos de aspersión antes de cada aplicación.
	PMP4	Uso de equipo computarizado de precisión para la aplicación de agroquímicos: uso de sensores computarizados para control de velocidad de flujo, radares para la determinación de velocidades de aplicación y/o aplicadores electrostáticos.
	PMPTDUM	Variable binaria por la suma de PMP_i cuando la suma es mayor que uno.

Cuadro 2
VARIABLES INDEPENDIENTES: CÓDIGO Y SIGNO ESPERADO

Variable	Explicación	Signo esperado
ACZMA	Conocimiento de la existencia del Programa de Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Costera según la Ley de Manejo de la Zona Costera (1=si, 0=no).	+
ACWA	Conocimiento de los esfuerzos para controlar la contaminación del agua según la Ley de Control de Calidad del Agua (1=si, 0=no).	+
HBMPT	Ha escuchado el término prácticas agrícolas ambientalmente amigables (PAAA) (1=si, 0=no).	+
TMES	Número de veces que el productor se reunió con personeros del Servicio de Extensión Agrícola o que atendió programas de capacitación promovidos por dicho servicio, durante el último año.	+
TAGM	Número de veces que el productor atendió reuniones gremiales durante el último año.	+
ARWQ	El productor piensa que la agricultura reduce la calidad del agua que sale de las unidades de producción agrícola (1=si, 0=no).	+
PCS	El productor ha recibido algún subsidio para participar en ciertos programas de prácticas agrícolas ambientalmente amigables (1=si, 0=no).	+
SPRISK	Una variable continua que cuantifica la percepción del agricultor de su actitud hacia el riesgo.	+
RISKB	Actitud hacia el riesgo medida a través de enfrentar al productor a una aventura de inversión hipotética.	+
FSIZE	Tamaño de la finca.	+
ORG1	Variable binaria igual a 1, si la finca es una sociedad, 0, de otra manera (la base es la operación individual)	+/-
ORG2	Variable binaria igual a 1, si la finca es una corporación familiar, 0 de otra manera (La base es la operación individual)	+/-
ORG3	Variable binaria igual a 1 si la finca es una corporación no familiar, 0 de otra manera (la base es la operación individual)	+/-
PASS	El productor planea heredar su empresa de producción agrícola a un miembro de su familia (1= si, 0=no).	+
DEBTR	La deuda de la empresa es más del 40% del valor total estimado de la empresa (1=si, 0=no).	-
AGE	Edad del productor en años.	-
SEX	Variable binaria para el sexo del productor (1=masculino, 0=femenino).	-
EDU	Años de educación formal completados por el productor.	+
PINOFF	Porcentaje del total de ingresos familiares que provienen de la agricultura.	+/-
TENURE	Relación entre tierra arrendada y tierra en propiedad.	-

de algunas prácticas agrícolas ambientalmente amigables. En el Cuadro 2 se presentan los códigos utilizados en los modelos de análisis para las variables independientes así como el signo esperado en cada caso.

La información necesaria fue obtenida de fuentes primarias. Para el efecto se elaboró un cuestionario que fue enviado por correo a todos los productores de caña de azúcar en el área de estudio (zona costera del estado de Louisiana, Estados Unidos). El cuestionario fue diseñado de tal manera que generara información sobre los siguientes elementos: cuales prácticas agrícolas ambientalmente amigables están siendo actualmente utilizadas en la producción de caña de azúcar en el área de estudio; los factores que afectan la disposición del productor a adoptar prácticas agrícolas ambientalmente amigables; necesidades educacionales y de asistencia técnica para mejorar las tasas de adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables; y el impacto de los programas de subsidio para la adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables.

II. MÉTODO DE ANÁLISIS

La pregunta clave en este caso es si los productores agrícolas han adoptado o adoptarán prácticas agrícolas ambientalmente amigables (PAAA). En este caso el fenómeno que nos interesa es de naturaleza discreta, no continua [Maddala, 1983]. Estos modelos son conocidos como modelos con variables cualitativas dependientes [Judge *et al.*, 1988], modelos de respuesta cualitativa, o modelos categóricos [Amemi-

Desde hace más de dos décadas ha habido un gran interés en economía sobre los modelos de respuesta cualitativa.

ya, 1981]. En estos modelos, un resultado discreto tal como la decisión de “sí” o “no” es identificada y evaluada, por lo que el análisis de regresión no es aplicable. Sin embargo, es posible construir modelos que conectan la decisión o resultado con una serie de factores, por lo menos en el espíritu de la regresión [Greene, 1997]. La variable dependiente en este tipo de modelos es interpretada como una medida de probabilidad para la cual el valor obtenido toma valores extremos discretos, aunque el valor teórico puede tomar cualquier valor intermedio [Ramanathan, 1992]. Desde hace más de dos décadas ha habido un gran interés en economía sobre los modelos de respuesta cualitativa, debido básicamente al hecho de que los economistas con frecuencia trabajan con variables que son naturalmente discretas o que son reportadas en forma discreta [Amemiya, 1981].

Variables dependientes discretas son generalmente representadas en la forma de modelos aleatorios de utilidad [Greene, 1997; Judge *et al.*, 1988] o modelos de utilidad estocásticos [Amemiya, 1981]. O sea que los economistas asumen que los agentes económicos toman decisiones racionales con el propósito de maximizar su utilidad [Machina, 1983; Henderson y Quandt, 1986]. En este contexto, se define el siguiente modelo general aleatorio de utilidad:

$$U_{ij} = E[U_{ij}] + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

donde la función de utilidad (U_{ij}) para el individuo i se compone del nivel de utilidad ($E[U_{ij}]$) obtenido al seleccionar la alternativa j , y el término de error aleatorio ϵ_{ij} .

Considérese el caso específico de un productor agrícola que tiene que decidir entre adoptar una PAAA o continuar con una práctica tradicional de producción. Ésta es una selección binaria del productor i , que puede ser representada por una variable aleatoria y_i que toma el valor de 1 si la PAAA es adoptada y 0 si la misma no es adoptada. Si P_i es la probabilidad que y_i tome el valor 1, entonces $1-P_i$ es la probabilidad que y_i sea 0. En otras palabras, tenemos la función de probabilidad para y_i así:

$$f(y_i) = P_i^{y_i} (1-P_i)^{1-y_i} \quad y_i=0,1 \quad (2)$$

La utilidad asociada con cada proceso de producción se asume como una función de las características del sistema de producción y las características socioeconómicas del productor, más un término aditivo de error. De acuerdo con Amemiya [1981] y Judge *et al.* [1988], tenemos que:

$$U_{i0} = z'_{i0}\delta + w'_i\gamma_0 + \epsilon_{i0} \quad (3)$$

$$U_{i1} = z'_{i1}\delta + w'_i\gamma_1 + \epsilon_{i1} \quad (4)$$

donde:

U_{i0}, U_{i1} = utilidades de las dos opciones posibles;

z'_{i0}, z'_{i1} = vectores de características de las opciones;

w'_i = características socioeconómicas del i th individuo; y

$\epsilon_{i0}, \epsilon_{i1}$ = errores aleatorios.

δ, γ = parámetros

La premisa es que un productor racional que tiende a maximizar su utilidad adoptará la PAAA si $U_{i1} > U_{i0}$ o la no observable variable aleatoria $y^*_i = U_{i1} - U_{i0} > 0$. (Una indecisión ocurriría si $U_{i0} = U_{i1}$,

pero eso únicamente sucederá con probabilidad cero si ϵ_{i0} y ϵ_{i1} son ambas variables aleatorias continuas). De manera que los valores de la no observable variable aleatoria y_i son determinados por:

$$y_i = 1 \text{ si } y_i^* > 0 \quad (5)$$

$$y_i = 0 \text{ si } y_i^* < 0 \quad (6)$$

La no observable variable y_i^* puede reescribirse como:

$$y_i^* = (z_{i1} - z_{i0})' \delta + w_i' + (\gamma_1 - \gamma_0) + (\epsilon_{i1} - \epsilon_{i0}) \quad (7)$$

$$y_i^* = [(z_{i1} - z_{i0})', w_i'] \begin{bmatrix} \delta \\ \gamma_1 - \gamma_0 \end{bmatrix} + (\epsilon_{i1} - \epsilon_{i0}) \quad (8)$$

$$y_i^* = x_i' \beta + \epsilon_i^* \quad (9)$$

donde:

x_i' = vector de variables independientes;

β = parámetros no conocidos; y

ϵ_i^* = errores aleatorios en el modelo estadístico para y_i^* .

La probabilidad que $y_i = 1$ es entonces:

$$P_i = \Pr[y_i=1] = \Pr[y_i^* > 0] = \Pr[x_i' \beta + \epsilon_i^* > 0] = \Pr[\epsilon_i^* > -x_i' \beta]. \quad (10)$$

Una distribución específica para ϵ_i^* debe ser seleccionada. Las más comunes son la distribución normal y la distribución logística; consecuentemente, los modelos Probit y Logit son normalmente utilizados. De acuerdo con Greene [1997], por conveniencia matemática hay algunas razones para favorecer una distribución sobre la otra, pero es muy difícil justificar dicha preferencia sobre bases teóricas. La función

de distribución acumulada para la distribución normal es

$$F(t) = \int_{-\infty}^t (2\pi)^{-1/2} \exp\{-x^2/2\} dx \quad (11)$$

y la función de distribución acumulada para la distribución logística es

$$F(t) = 1/[1+\exp\{-t\}] \quad (12)$$

Cada observación es tratada como una simple extracción de una distribución Bernoulli (binomial con una extracción). El modelo con probabilidad de éxito $F(\beta'x)$ y observaciones independientes nos conducen a la probabilidad conjunta, o función de verosimilitud,

$$L = \prod_{i=1}^n [F(\beta'x)]^{y_i} [1-F(\beta'x)]^{1-y_i} \quad (13)$$

la cual debe maximizarse.

Las variables categóricas también pueden clasificarse en varias categorías (variables policótomas o multinomiales). Las variables policótomas pueden a su vez ser ordinales y no ordinales. La formulación general es [Greene, 1997]:

$$\text{Prob}(Y_i=j) = \frac{e^{\beta_j'x_j}}{\sum e^{\beta_j'x_j}} \quad (14)$$

Si asumimos $\beta_0 = 0$

$$\text{Prob}(Y=j) = \frac{e^{\beta_j'x_j}}{1+\sum e^{\beta_j'x_j}} \text{ para } j = 1, 2, \dots, J. \quad (15)$$

$$\text{Prob}(Y_i = 0) = \frac{1}{1+\sum e^{\beta_j'x_j}} \quad (16)$$

Estimar los J radios de logaritmos de probabilidades así:

$$\ln [P_{ij}/P_{i0}] = \beta'_j x_j \quad (17)$$

Por otro lado, el modelo Probit Ordinal es ampliamente utilizado cuando la variable dependiente es de naturaleza ordinal. La formulación general es:

$$y^* = \beta'x + \varepsilon. \quad (18)$$

donde y^* no es observada, lo que se observa es:

$$\begin{aligned} y &= 0 \text{ si } y^* \leq 0 \\ y &= 1 \text{ si } 0 < y^* \leq \mu_1 \\ y &= 2 \text{ si } \mu_1 < y^* \leq \mu_2 \\ &\vdots \\ y &= J \text{ si } \mu_{j-1} < y^* \end{aligned}$$

Dada la distribución normal tenemos:

$$\begin{aligned} \Pr(y=0) &= \Phi(-\beta'x), \\ \Pr(y=1) &= \Phi(\mu_1 - \beta'x) - \Phi(-\beta'x), \\ \Pr(y=2) &= \Phi(\mu_2 - \beta'x) - \Phi(\mu_1 - \beta'x), \\ &\vdots \\ \Pr(y=J) &= 1 - \Phi(\mu_{j-1} - \beta'x). \end{aligned}$$

En situaciones multivariadas se pueden hacer extensiones de los modelos anteriores. El modelo Probit multivariado es una posibilidad teórica; sin embargo, dado el número de variables dependientes considerado, tiene la limitación práctica de tener que evaluar integrales normales multivariadas de alto grado [Greene, 1997]. Sin embargo, estudios recientes han

propuesto métodos para obtener estimados confiables de integrales normales multivariadas basados en simulaciones Monte Carlo de cadenas Markow [Chib y Greenberg, 1998], así como otras técnicas numéricas [Greene, 1997; Bock y Gibbons, 1996].

En el caso bajo estudio, se hipotetiza que los términos de error entre las diferentes categorías de PAAA están contemporáneamente correlacionados, por lo que se utiliza un modelo Probit multivariado que tome en cuenta la correlación de los errores entre ecuaciones. La formulación general [Greene, 1998] es:

$$y_{im}^* = \beta_m' X_{im} + \varepsilon_{im}, \quad m = 1, \dots, M \quad (18)$$

$$y_{im} = 1 \text{ si } y_{im}^* > 0, \text{ y } 0 \text{ de otra manera.}$$

donde ε_{im} , $m = 1, \dots, M$ tienen una distribución normal multivariada con vector de medias 0 y matriz de covarianza R con elementos diagonales iguales a 1.

Las probabilidades que entran en la función logarítmica de verosimilitud son estimadas usando el método de simulación GHK (Geweke, Hajivassiliou, Keane) el cual genera aproximaciones precisas a la integral de nivel M

$$P = \int_{A(1)}^{B(M)} \dots \int_{A(1)}^{B(1)} f(x_1, \dots, x_M) dx_1, \dots, dx_M \quad (19)$$

donde $f(\dots)$ es la densidad normal M-variada de x con vector de medias cero y con la matriz de covarianza $M \times M$ (positiva y definida), W .

El logaritmo de verosimilitud es acumulado como la suma de los logaritmos de las probabilidades de

Las probabilidades que entran en la función logarítmica de verosimilitud son estimadas usando el método de simulación GHK (Geweke, Hajivassiliou, Keane).

los resultados observados, los cuales son estimados con el uso del siguiente modelo:

$$\text{Prob}[y_1, y_2, \dots, y_M / x_1, x_2, \dots, x_M] = \text{MVN} (Tz, TRT')$$

donde z = el vector de utilidades, $z_m = \beta_m' x_{im}$, R es la matriz de correlación, y T es una matriz diagonal con $t_{mm} = 2y_m - 1$.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio base fue realizado en cuatro fases. Este trabajo presenta, para fines de ilustración, los resultados obtenidos en uno de los escenarios de la Fase IV. La fase IV del estudio fue dedicada a probar la existencia de correlación contemporánea de los términos de error entre las medidas de manejo. El escenario que aquí se presenta consistió en requerir que los agricultores implementaran por lo menos dos prácticas agrícolas ambientalmente amigables por cada medida de manejo.

El Cuadro 3 presenta los resultados del modelo Probit Multivariado para este escenario.

*El escenario
que aquí se
presenta
consistió
en requerir
que los
agricultores
implementaran
por lo menos
dos prácticas
agrícolas
ambientalmente
amigables por
cada medida
de manejo.*

El modelo fue corrido utilizando el programa LIMDEP. Para SSCPTDUM, tres variables son significantes: TMES, PCS, y EDU. TMES fue significativa al 10% de nivel de significancia, mientras que PCS y EDU fueron ambos significantes al 1% de nivel de significancia. Todas las variables tienen los coeficientes positivos esperados. Ello significa que el número de veces que el productor se reunió con personeros del Servicio de Extensión (TMES), la participación en programas de subsidio (PCS), y la educa-

ción (EDU) tienen un impacto positivo en la implementación de por lo menos dos prácticas de control de la erosión del suelo y control de sedimentos. Es importante resaltar la importancia de las variables institucionales en influir en la probabilidad de cumplir con los requerimientos de esta medida de manejo.

Las siguientes variables fueron significantes para NMPTDUM: TAGM, ARWQ, DEBTR, y FSIZE. Sus correspondientes niveles de significancia estadística fueron 1%, 10%, 10%, y 5% respectivamente. Todas las variables tienen signo positivo. Esto significa que el número de veces que el productor asistió a reuniones gremiales (TAGM), la creencia del agricultor de que la agricultura reduce la calidad del agua proveniente de las unidades de producción agrícola (ARWQ), el tamaño de la unidad productiva (FSIZE), y el hecho de que la deuda de la empresa sea más del 40% del valor total estimado de la empresa (DEBTR) tienen un efecto positivo en la implementación de por lo menos dos prácticas en la medida de manejo relativa al manejo de nutrientes.

Tres variables independientes fueron significantes para PMPTDUM. TMES y ARWQ fueron significantes al 5% de nivel de significancia, mientras que DEBTR fue significativa al 10% de nivel de significancia. Todas las variables tienen signo positivo, lo que significa que el número de veces que el productor se reunió con personeros del Servicio de Extensión (TMES) y la creencia del agricultor de que la agricultura reduce la calidad del agua proveniente de las unidades de producción agrícola (ARWQ), y el hecho de que la deuda de la empresa sea más del 40% del valor total estimado de la empresa (DEBTR) tienen un efecto positivo en la implementación de por lo menos dos prácticas agrícolas ambientalmente amigables en la medida de manejo de pesticidas.

Es importante resaltar la importancia de las variables institucionales en influir en la probabilidad de cumplir con los requerimientos de esta medida de manejo.

Cuadro 3
MODELO PROBIT MULTIVARIADO PARA TODAS
LAS MEDIDAS DE MANEJO, PARA EL ESCENARIO EN
EL CUAL EL REQUERIMIENTO ES LA IMPLEMENTACIÓN DE
POR LO MENOS DOS PRÁCTICAS PARA CADA MEDIDA DE MANEJO

Variable	Coefficiente	Error estándar
Función índice para SSCPTDUM		
ONE	-1,7563	0.6109
TMES	0.1263*	0.0793
PCS	1.0379***	0.2337
EDU	0.1310***	0.0376
FSIZE	0.0002	0.0001
RISKB	-0.0981	0.1644
Función índice para NMPTDUM		
ONE	-1,092	0.4738
TAGM	0.1255***	0.0514
ARWQ	0.3591*	0.1976
DEBTR	0.3698*	0.2213
FSIZE	0.0002**	0.0001
EDU	0.0553	0.0373
Función índice para PMPTDUM		
ONE	0,0522	0.2717
TMES	0.0882**	0.0339
ARWQ	0.6349**	0.3163
FSIZE	0.0002	0.0001
DEBTR	0.7587*	0.4542
PCS	0.3088	0.2864
Coefficientes de Correlación		
R(01,02)	0.5244***	0.1292
R(01,03)	0.5064***	0.1888
R(02,03)	0.3582**	0.1622

Modelo Probit Multivariado: 3 ecuaciones

Método de estimación: Máxima Verosimilitud

Variable Dependiente: MVProbit

Variable de Ponderación: ONE

Número de observaciones: 222

Número de iteraciones: 31

Función Log likelihood: -262.5111

Replicaciones para simulación de probabilidades: 100

Uno, Dos y Tres * indican que los parámetros son significantes al 10, 5, y 1% nivel de significancia.

Para los propósitos de este artículo, el resultado más importante es que los coeficientes de correlación de los errores entre todas las variables son altamente significantes. La correlación contemporánea entre las variables SSPTDUM y NMPTDUM, y entre las variables SSPTDUM y PMPTDUM fueron significantes al 1% de nivel de significancia. El coeficiente de correlación para los errores entre las variables NMPTDUM y PMPTDUM fue significativo al 5% de nivel de significancia.

Los resultados categóricamente sugieren que el esquema de análisis propuesto es el correcto y que el análisis de alternativas de política para mejorar la adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables debe hacerse en forma consecuente. En términos simples ello significa que el análisis de la adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables debe hacerse en forma simultánea para todas las prácticas en todas las medidas de manejo, y las acciones de política correspondientes deben plan- tearse consecuentemente.

El valor de la función logarítmica de verosimi- litud fue de -262.51, con 222 observaciones, 31 itera- ciones completadas, y 100 replicaciones para las probabilidades simuladas.

IV. CONCLUSIONES

La decisión de adoptar prácticas agrícolas ambiental- mente amigables es significativamente influenciada por el número de veces que el productor se ha reunido con personeros del Servicio de Extensión y el número de reuniones gremiales que el productor ha atendido,

*Los resultados
categóricamente
sugieren que el
esquema
de análisis
propuesto es el
correcto y que
el análisis de
alternativas de
política para
mejorar la
adopción
de prácticas
agrícolas
ambientalmente
amigables
debe hacerse
en forma
consecuente.*

lo cual es indicativo de la efectividad de los programas de extensión y del liderazgo para lograr este objetivo.

La participación en programas que subsidien la adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables, además de ser significativa, tiene un efecto multiplicador, en el sentido de que los productores que han participado en dichos programas para ciertas prácticas tienen mayores probabilidades de adoptar otras prácticas. El riesgo de pérdida de productividad no es un factor significativo. La importancia de programas educativos específicos se refleja en el hecho de que la creencia del productor de que la agricultura afecta la calidad del agua es un factor altamente significativo en la adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables.

Los resultados indican que el análisis individual de cada una de las PAAA o de cada una de las medidas de manejo es inapropiado ya que existe correlación contemporánea de los errores aleatorios.

La deuda, de la forma como es definida en el estudio, es un factor significativo con signo positivo lo cual denota la disposición del productor a absolver los costos de implementar dichas prácticas; además de que puede ser una forma de manejar el riesgo financiero [Mcnamara *et al.*, 1991].

Los resultados indican que el análisis individual de cada una de las PAAA o de cada una de las medidas de manejo es inapropiado ya que existe correlación contemporánea de los errores aleatorios.

BIBLIOGRAFÍA

- AMEMIYA, TAKESHI. "Qualitative Response Models: A Survey." *Journal of Economic Literature*. 19(1981):1483-1536.
- BOCK, R. D., y R. D. GIBBONS. "High Dimensional Multivariate Probit Analysis." *Biometrics*. 52(1996):1183-1194.

- CARDONA C., HUGO. "Analysis of Policy Alternatives in the Implementation of a Coastal Nonpoint Pollution Control Program for Agriculture." Disertación Doctoral. Louisiana State University, USA, 1999.
- CHIB, S. Y E. GREENBERG. "Analysis of Multivariate Probit Models." *Biometrika*. 85(1998):347-361.
- DUNLAP, R. E., Y K. D. VAN LIERE. "The New Environmental Paradigm: A Proposed Measuring Instrument and Preliminary Results." *Journal of Environmental Education*. 9(1978):10-19.
- EPA. Guidance for Coastal Nonpoint Source of Pollution Control. Internet Site. <<http://www.epa.gov/OWOW/NPS/MMGI/>>, 1993
- GREENE, W. *Econometric Analysis*. New York: Macmillan Publishing Co., 1993.
- GREENE, W. *Econometric Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- GREENE, W. *LIMDEP Version 7.0 User's Manual. Revised Edition*. New York: Econometric Software Inc., 1998.
- HENDERSON, J.M., y R.E. QUANDT. *Microeconomic Theory: A Mathematical Approach*. New York: McGraw-Hill, 1986.
- JUDGE, G.G., R. C. HILL, W.E. GRIFFITHS, H. LUTKEPHOL, y T. LEE. *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*. Second Edition. New York: John Wiley and Sons, 1988.
- MACHINA, M. J. "Generalized Expected Utility Analysis and the Nature of Observed Violations of the Independence Axiom" In: *Foundations of Utility and Risk Theory with Applications*. Dordrecht, Holland: Reidel Publishing Company, 1983.

- MADDALA, G. S. Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics. Cambridge University Press, 1983.
- MCNAMARA, K. T., M. WETZSTEIN, y G. DOUCE. "Factors Affecting Peanut Producer Adoption of Integrated Pest Management." *Review of Agricultural Economics*, 13,1(1991): 129-139.
- NERLOVE, M. and S.J. Multivariate and log-linear models for the analysis of qualitative data. Discussion paper no. 1. June 30.
- RAMANATHAN, R. *Introductory Econometrics: with applications*. Second Edition. New York: The Dryden Press, 1992.

USO DE SERIES DE FOURIER PARA PREDICCIÓN CLIMATOLÓGICA

Eddi Alejandro Vanegas Chacón



Resumen

La predicción climatológica permite conocer las variaciones futuras de los factores que componen el clima de una región. Estas variaciones, de diferente duración, proporcionan información precisa acerca de la variabilidad del clima, lo que es utilizado para la planificación de actividades agrícolas, control de heladas, actividades en alta mar, vuelos aéreos, etc. Actualmente la predicción del clima es parte de las noticias que se presentan en los medios de comunicación.

En este artículo se da a conocer la aplicabilidad de las ecuaciones diferenciales parciales utilizadas en la predicción numérica de la precipitación media mensual para el Valle de Guatemala durante los últimos 25 años. Se utilizó como información base la serie de datos de precipitación media mensual de la serie 1980-1987 de INSIVUMEH, posteriormente se calibró la Serie de Fourier, caso de la combinación de las funciones del seno y coseno, para un número finito de 12 meses. Posteriormente se validó el modelo para la serie 1990-1995 y finalmente se realizaron las predicciones para el año 2000.

Los principales resultados muestran un balance hídrico climatológico que muestra la precipitación estimada para el año 2000 vs la evapotranspiración promedio de la serie 1996-1999, que indica: de enero hasta mediados de abril una zona de déficit de agua en el suelo; de mediados de abril a junio, recarga de humedad del suelo; de junio hasta mediados de

octubre exceso de precipitación y de mediados de octubre a diciembre una zona de agotamiento de humedad. Para dar inicio nuevamente al proceso armónico de déficit y así sucesivamente, poniendo de manifiesto el inminente comportamiento periódico del parámetro precipitación en países subtropicales. También se analizó la diferencia en el volumen de agua de lluvia entre los años 1970-1975 y los estimados para el año 2,000, observando: evidencia en la disminución de la lluvia y cambios en los periodos de canícula en los últimos 25 años, que se puede explicar de muchas maneras, siendo las más predominantes, la tala inmoderada en las cuencas aledañas al valle de Guatemala, crecimiento urbano sin ordenamiento alguno y presencia de fenómenos meteorológicos que han influido los regímenes de lluvia, tal como el fenómeno de *El Niño* y el huracán Mich.

Para concluir se presentan las principales limitaciones de los modelos numéricos en la predicción del tiempo, haciendo énfasis en: el estado inicial del modelo, la carencia y baja calidad de la parametrización de la variable en estudio y una resolución escasa para la descripción de los componentes del clima.

INTRODUCCIÓN

La predicción climatológica, comúnmente adopta la denominación inglesa de *Weather Forecast*, la que permite conocer las variaciones futuras de los principales factores que componen el clima de una región. Estas variaciones pueden ser horarias, diarias, mensuales o anuales, proporcionando información precisa acerca de la variabilidad del clima lo que es utilizado para la planificación de actividades agrícolas (laboreo de la tierra, siembra, aplicación de pesticidas, etc), control de heladas, actividades en alta mar, vuelos aéreos o simplemente para información poblacional para saber como vestir, proteger su salud y disfrutar del diario que hacer.

La información de predicción climatológica es de amplia difusión por ejemplo en los diarios naciona-

*La
información
de predicción
climatológica
es de amplia
difusión, en
los diarios
nacionales
como Prensa
Libre o Siglo
Veintiuno.*

les como *Prensa Libre* o *Siglo Veintiuno*, de fácil acceso en Internet al consultar algunas páginas como *weather.com* o *Yahoo.weather.com* donde se puede leer información acerca de la predicción climatológica para tres días que incluye ciudad capital de Guatemala y principales ciudades como Quetzaltenango y Puerto Barrios.

Pero, ¿conocemos en realidad la forma cómo se realiza la predicción del tiempo? Desde tiempos remotos ésta se realizó mediante el registro en el tiempo de fenómenos naturales que solían repetirse en intervalos de tiempo más o menos constantes, hoy día, esto es referido al movimiento armónico de la representación gráfica de los factores que componen el clima como lo son: las horas luz, la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y la humedad, entre otros. Así pues, si se analiza el comportamiento gráfico de estos factores mediante un análisis matemático se llega a la conclusión que muchos de ellos siguen un patrón trigonométrico casi exacto relacionado con las funciones del seno y coseno, lo que permite la representación de manifestaciones meteorológicas mediante modelos matemáticos de funciones armónicas de frecuencia natural cuya amplitud varía periódicamente en el tiempo, tal es el caso típico del comportamiento de la temperatura en países europeos y parte norte del Asia o bien de la precipitación en climas subtropicales.

El objetivo primario del presente artículo es dar a conocer la aplicabilidad de las ecuaciones diferenciales parciales en la predicción numérica del tiempo y poner de manifiesto los cambios climáticos que han surgido en el valle de Guatemala durante los últimos 25 años, producto de la degradación ambiental y contaminación que genera el crecimiento de nuestra

¿Conocemos en realidad la forma cómo se realiza la predicción del tiempo?

El objetivo del presente artículo es dar a conocer la aplicabilidad de las ecuaciones diferenciales parciales en la predicción numérica del tiempo y poner de manifiesto los cambios climáticos que han surgido en el valle de Guatemala durante los últimos 25 años.

ciudad al no seguir patrón alguno en cuanto al desarrollo urbanístico.

I. INFORMACIÓN BASE

Mediante la representación gráfica de la información numérica base (*input*) de los factores atmosféricos que ejercen fuerte influencia sobre el clima de una región, es posible realizar balances hídricos climatológicos, entre otras representaciones, que permiten observar con facilidad periodos críticos de exceso o déficit y/o repetición periódica de manifestaciones naturales que influyen directamente sobre el tempero o sazón que adquiere la tierra para su laboreo. Aquí se presenta el caso específico de la Precipitación media mensual, para lo que se consideran varias series promedio de datos (se utilizaron las series de datos más confiables que ofrece INSIVUMEH). Los llamados valores base, son la serie media mensual de 1980-1987, los que se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1
VALORES MEDIOS MENSUALES DE
PRECIPITACIÓN (PP) EXPRESADA EN MM. PARA EL
VALLE DE GUATEMALA, SERIE DE DATOS 1980-1987. INSIVUMEH

	E	F	M	A	M	J
Pp	9.38	6.69	13.52	23.69	110.01	193.66
	J	A	S	O	N	D
Pp	159.43	124.79	225.22	100.5	11.56	4.22

II. ANÁLISIS NUMÉRICO

Una vez que se cuenta con un *input* o información numérica básica; se aplica un modelo numérico de predicción del tiempo, este modelo puede ser una serie del seno o coseno. Sin embargo la serie con ambas funciones, seno y coseno, es recomendable ya que las otras series son únicamente casos especiales de esta serie más general. En términos matemáticos, en problemas con la condición límite periódico en un intervalo de tiempo finito, por ejemplo en el intervalo cerrado - $L \leq x \leq L$, la llamada *Serie de Fourier* es de gran utilidad:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{n \pi x}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \operatorname{sen} \frac{n \pi x}{L}$$

Joseph Fourier desarrolló este tipo de serie en su famoso tratado acerca del flujo del calor en los primeros años de 1880 como lo menciona Haberman R. [1987].

Donde; a_0 es el coeficiente primario de la serie, a_n y b_n son coeficientes de la Serie del Seno y Coseno respectivamente.

$n\pi x/L$ es el argumento angular de las funciones Seno y Coseno.

Si la serie es convergente, utilizando integrales ortogonales se pueden calcular los coeficientes anteriormente descritos de la siguiente manera para el intervalo - $L \leq x \leq L$:

$$a_0 = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \operatorname{sen} \frac{n\pi x}{L} dx$$

Si el intervalo $-L \leq x \leq L$, representa los doce meses del año como fundamento finito de la serie ($N = 12$) que entonces se convierte en una aproximación de la serie misma con frecuencias naturales igual a la magnitud de L $I = n = 6$; se tiene la aproximación siguiente [Vanegas Eddi, 1998]:

$$F_{(x)} = A_0 + \sum_{n=1}^N (A_n \operatorname{Cos} n\omega x_i + B_n \operatorname{Sen} n\omega x_i)$$

Siendo los coeficientes de la aproximación de la serie finita para $N = 12$:

$$A_0 = 1/N \sum_{i=1}^N Y_i$$

$$A_n = 1/n \sum_{i=1}^N Y_i \operatorname{Cos}(n \omega x_i)$$

$$B_n = 1/n \sum_{i=1}^N Y_i \operatorname{Sen}(n \omega x_i)$$

Donde

$n = 1, 2, \dots, 6$

$\omega = \text{Frecuencia } \pi/6.$

$Y_i = \text{Valor observado}$

$X_i = \text{Mes}$

III. CALIBRACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Utilizando el modelo matemático

$$F_{(x)} = A_0 + \sum_{n=1}^N (A_n \cos nwx_i + B_n \sin nwx_i)$$

y considerando como *input* los valores descritos en el cuadro 1, haciendo uso de la hoja electrónica Excel tal como se muestra paso a paso en la publicación “Aplicaciones de la Serie de Fourier, Un Enfoque Agrícola” [Vanegas Eddi, 1998] se determinaron los valores estimados de precipitación, que permitieron calibrar el modelo en relación con la serie de datos promedio de 1980-1987.

Debido a la variabilidad de un año a otro de la precipitación influenciada principalmente por fenómenos meteorológicos, para calibrar el modelo se utilizó los valores del fundamental de la aproximación de la serie y el segundo, tercero y cuarto armónico ($n=4$). La gráfica 1 muestra los valores observados y los estimados con $n=4$, lo que produce una aproximación bastante real entre valores observados y estimados, por lo que se concluye que la calibración del modelo se lleva a cabo con $n=4$.

IV. VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La validación de la aproximación finita de la serie de Fourier:

$$F_{(x)} = A_0 + \sum_{n=1}^N (A_n \cos nwx_i + B_n \sin nwx_i)$$

para las condiciones especificadas anteriormente, para este caso específico ($n = 4$) se realizó mediante un análisis gráfico donde se muestra la correspondencia entre los valores observados medio mensuales de la serie de datos 1990-1995 y los valores estimados por la aproximación de la serie de Fourier. Como se puede observar en la Gráfica 2, la aproximación es casi perfecta, lo que sirve de base para que el modelo matemático de la aproximación finita de las series del seno y coseno, pueda utilizarse con bastante confiabilidad para realizar predicciones climatológicas de precipitación. Sin embargo, al igual que otros países del mundo, Guatemala ha sido afectada por los fenómenos meteorológicos de *El Niño* y posteriormente *La Niña*, por lo que pueden hacerse ajustes a la aproximación, cambiando el número de frecuencias naturales (fundamental + $n=2$ hasta $n=6$) hasta ajustar mejor los resultados.

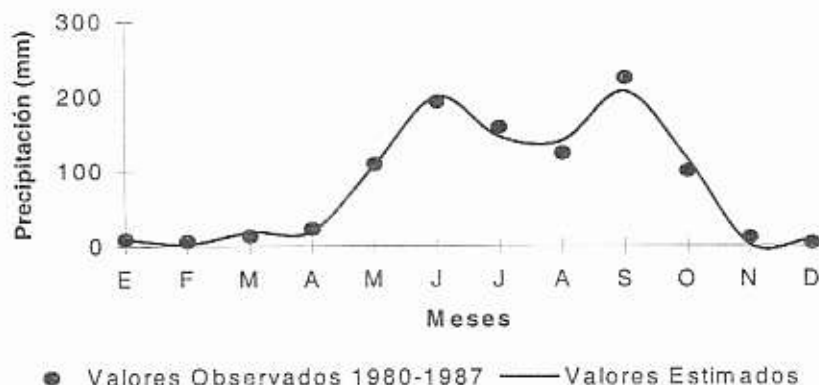
*Guatemala
ha sido
afectada
por los
fenómenos
meteorológicos
de El Niño y
posteriormente
La Niña.*

V. PREDICCIÓN CLIMATOLÓGICA

Sabiendo que el modelo matemático de la aproximación de la serie de Fourier para las condiciones dadas

Gráfica 1.

CALIBRACIÓN DE LA APROXIMACIÓN DE LA SERIE DE FOURIER, PARA LA PRECIPITACIÓN DEL VALLE DE GUATEMALA, SERIE DE DATOS 1980-1987.



Gráfica 2.

VALIDACIÓN DE LA APROXIMACIÓN DE LA SERIE DE FOURIER, EN RELACIÓN CON LOS VALORES MEDIOS MENSUALES DE LA PRECIPITACIÓN DEL VALLE DE GUATEMALA, SERIE DE DATOS 1990-1995.



es confiable se puede hacer uso del mismo para realizar una proyección de un término más en la serie, considerando un valor $N = 13$ constante sustituyendo los valores conocidos por los estimados en forma escalonada, y reduciendo una frecuencia natural, es decir usando el fundamental y dos frecuencias naturales ($n=3$), se obtiene la predicción de valores de precipitación, usando como *input* los valores medios mensuales de 1996-1999, de aquí en adelante a esa predicción, se les llamará valores estimados para el año 2000. Estos valores se presentan en el cuadro 2.

La Gráfica 3, presenta los valores de precipitación del cuadro 2, conjuntamente con los valores de evapotranspiración promedio de la serie de datos de 1996-1999. Los valores de evapotranspiración que aquí se presentan fueron determinados usando el tanque de evaporación tipo A y un factor de tanque igual a 0.7 [Luna G.C. & Barrera G.D., 1999].

Dicha representación conjunta se denomina balance hídrico climatológico, que permite observar que de enero hasta mediados de abril existe una zona de déficit de agua en el suelo, de mediados de abril a junio, existe una recarga de la humedad del suelo, posteriormente de junio hasta mediados de octubre

Cuadro 2
VALORES ESTIMADOS DE PRECIPITACIÓN EN MM.
PARA EL VALLE DE GUATEMALA, AÑO 2000.

	E	F	M	A	M	J
Pp	9.55	2.68	17.73	22.14	107.26	200.88
	J	A	S	O	N	D
Pp	148.9	137	213.3	110.46	4.61	7.90

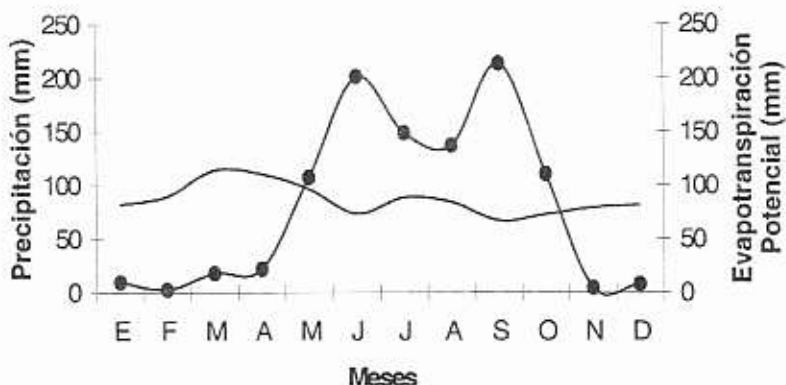
existe un exceso de precipitación, finalmente de mediados de octubre a diciembre se presenta la zona de agotamiento de humedad, para dar inicio nuevamente al proceso armónico de déficit y así sucesivamente, poniendo de manifiesto el inminente comportamiento periódico del parámetro precipitación en países subtropicales.

VI. VARIACIÓN CLIMATOLÓGICA EN EL TIEMPO

Con objeto de ilustrar cómo el clima de la ciudad de Guatemala ha cambiado durante los últimos 25 años, la Gráfica 4 muestra una comparación entre el régimen medio mensual de precipitación durante los años de 1975-1978 y los valores estimados para el año 2000.

El clima de la ciudad de Guatemala ha cambiado durante los últimos 25 años.

Gráfica 3.
BALANCE HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA EL VALLE DE GUATEMALA.



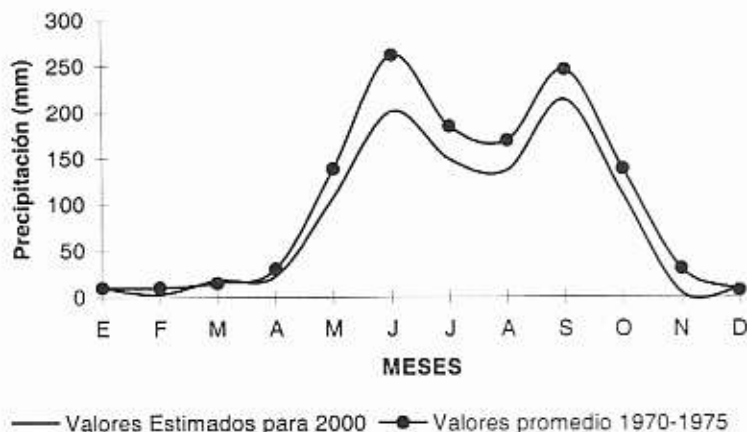
—●— Precipitación para 2000 — Evapotranspiración Potencial Serie 1996-1999

Esta variabilidad que se evidencia en la disminución de la lluvia y cambios en los periodos de canícula (disminución de la cantidad de la precipitación en el período lluvioso) en los últimos 25 años, se puede explicar de muchas maneras, siendo las más predominantes, la tala inmoderada en las cuencas aledañas al valle de Guatemala, un crecimiento urbano sin ordenamiento alguno y presencia de fenómenos meteorológicos que han influido los regímenes de lluvia tal como el fenómeno de *El Niño*.

VI. PRINCIPALES LIMITANTES EN LA PREDICCIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO

Los modelos numéricos son muy útiles en la predicción del tiempo a corto y mediano plazo. Sin embargo

Gráfica 4.
VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA EL VALLE DE GUATEMALA,
COMPARACIÓN AÑOS 1975-1978 Y VALORES ESTIMADOS PARA AÑO 2000.



pueden haber variaciones en la calidad de la predicción, principalmente en el caso de que algunos fenómenos sinópticos importantes en la predicción del tiempo no se encuentren bien representados. Al analizar algún fallo en la predicción, éste se puede deber a: el estado inicial del modelo, el cual no es lo suficientemente preciso, la carencia y baja calidad de la parametrización de la variable bajo estudio (*input*), y una resolución escasa para describir el fenómeno meteorológico apropiado.

REFERENCIAS

- GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INSIVUMEH). Datos meteorológicos serie promedio mensual de 1975-1978; 1980-1987, 1990-1995, y 1996-1999. Hojas de Registro, s.n.p.
- HABERMAN R. 1987. *Elementary Applied Partial Differential Equations*. Segunda edición, Prince-Hall, INC. Englewood Cliffs, New Jersey. United States of América, 547 p.
- LUNA G.C. & BARRERA G.D. 1999. Aplicaciones de cómputo a la Agricultura. Problema especial, Subárea de Matemática y Física, Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 15 p.
- VANEGAS CH. EDDI A. 1998. Aplicaciones de las series de Fourier 'Un enfoque agrícola'. Primera edición, Car-Moy-s. Guatemala. 40 p.

**PRODUCCIÓN DE MICORRIZAS EN
PLÁNTULAS DE *PINUS MAXIMINOI* H. E.
MOORE CON *LACCARIA LACCATA*,
PISOLITHUS TINCTORIUS
Y *SCLERODERMA* SP.¹**

Marvin Urizar Quezada
Roberto Flores Arzú
Edil Rodríguez Quezada



Resumen

En este estudio se trabajó la síntesis de micorrizas en *Laccaria laccata* A-127 (cepa extranjera) (Scop. Ex. Fr. Bk. e. Br), *Pisolithus tinctorius* (Pers. Coker y Couch) y *Scleroderma* sp. (Pers.) en plántulas de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore), para determinar la eficiencia de las mismas y los efectos sobre las plántulas. Se utilizaron contenedores plásticos, con un sustrato de turba/vermiculita, siguiendo recomendaciones de pruebas realizadas en otros países [Parlade, 1992; Pera, 1992].

Se aplicó *Laccaria laccata* en forma miceliar en proporción 1:16 (v/v), *Pisolithus tinctorius* en proporción 1:8 (v/v) y *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma* sp. en solución de esporas 1*105 (10 ml/planta). La cepa más efectiva fue *Laccaria laccata* A-127 que produjo un mayor número de micorrizas, incremento en peso fresco y seco, y diámetro de plántulas de pino.

Pisolithus tinctorius fue muy efectivo en solución de esporas, aunque menor a *Laccaria laccata*, sin embargo se

¹ Premiada como la mejor Tesis de graduación de 1999 en Sistemas de Producción Agrícola.

observó una mayoría en las plantas no analizadas después de cinco meses de cultivo.

Scleroderma sp. produjo pocas micorrizas aunque éstas fueron más grandes. Con este trabajo se pretende generar información para la mejora en la producción de plantas de pino para reforestación.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el crecimiento poblacional y diversos factores económicos, culturales y políticos ha provocado una disminución notoria de las áreas boscosas del país.

En Guatemala el crecimiento poblacional y diversos factores económicos, culturales y políticos ha provocado una disminución notoria de las áreas boscosas del país. Actualmente la cobertura forestal del territorio nacional es aproximadamente de 31,750,200 hectáreas, equivalente al 34.4% del país. La aptitud de los suelos con vocación forestal alcanza el 51.1% de la superficie total y la tasa de deforestación, estimada en la década de los noventa se calcula en 90,000 hectáreas por año [Guatemala, PAFG, 1996; Universidad de San Carlos, 1996].

Una alternativa para el mejoramiento de plantaciones forestales de coníferas es la utilización de hongos ectomicorrícicos, los cuales contribuyen a mejorar la respuesta al trasplante de la planta en suelos deforestados por largo tiempo, además de facilitar una mayor captación de agua, macro y micronutrientes.

La evaluación de la actividad de hongos ectomicorrícicos en especies forestales nativas, es hoy una necesidad y línea de investigación que debe desarrollarse en nuestro país, mediante su uso pueden lograrse incrementos en los porcentajes de sobrevivencia y crecimiento inicial en plantaciones forestales.

En este trabajo se evaluó la inoculación de *Laccaria laccata* (Scop. Ex. Fr. Bk. e. Br), *Pisolithus*

tinctorius (Pers. Coker y Couch) y *Scleroderma* sp. (pers.) en plántulas de pino candelillo *Pinus maximinoi* H. E. Moore), en contenedor. Luego de cinco meses en el invernadero de la Facultad de Agronomía se procedió a extraer las plantas, a las cuales se analizó el porcentaje de micorrización y otras variables como pesos frescos y secos, altura y diámetro de tallo.

I.

REVISIÓN DE LITERATURA

La primera descripción de las micorrizas con estructura reconocible fue realizada por Frank en 1885, (mico = hongo; rhiza = raíz) describiendo las relaciones de los componentes de la simbiosis mutualista [Ainsworth y Sussman, 1968; Pelzar, *et al.* 1993].

Según Parlade [1992], las micorrizas son órganos complejos resultantes de la simbiosis mutualista entre raíces de plantas vasculares y hongos del suelo; el hongo invade el córtex de la raíz, mientras que el meristemo apical y el cilindro vascular quedan intactos. Esta asociación juega un papel de gran importancia en ecosistemas naturales y en los sistemas biológicos creados por el hombre.

USOS EXITOSOS DE LAS MICORRIZAS. La presencia o carencia de hongos ectomicorrícicos nativos capaces de infectar la especie forestal con la que se va a repoblar, debe ser evaluada en las zonas de plantación para determinar la necesidad de utilizar plantas ya micorrizadas [Pera, 1992].

Fogel [1980] estimó que el 40% de la incorporación anual de nitrógeno en un bosque de abeto de

Las micorrizas son órganos complejos resultantes de la simbiosis mutualista entre raíces de plantas vasculares y hongos del suelo.

Douglas se debía a los hongos ectomicorrícicos, lo cual coincide con los resultados obtenidos en trabajos sobre fisiología de ectomicorizas, en los que se encontró que el manto fúngico funcionaba como un tejido de acumulación y almacenamiento, función que lleva a cabo el córtex en raíces no infectadas.

NUTRICIÓN DE LA PLANTA MICORRIZADA. Los macronutrientes necesarios para la nutrición de los hongos micorrícicos son C, N, K, S y Mg; así como Cu, Zn, Mn, Mo y Fe, en cantidades menores pero disponibles.

*Los
carbohidratos
pueden ser
transportados
a largas
distancias a
través de
los cordones
miceliares
interconectados
con raíces.*

Finlay y Read [1986] demostraron que los carbohidratos pueden ser transportados a largas distancias a través de los cordones miceliares interconectados con raíces. De esta manera, se suministran carbohidratos a otras micorizas en formación a partir de micorizas preexistentes. El azúcar preferido por la mayoría de los hongos micorrícicos es la D-glucosa [Parlade, 1992].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN. Invernadero de la Facultad de Agronomía. USAC. Ciudad Capital.

DESCRIPCIÓN DE *PINUS MAXIMINOI* H.E. MOORE. Se caracteriza por poseer un fuste recto con una copa muy clara de 20-35 metros de altura y con diámetro de hasta un metro. Crece a elevaciones de 600-2,400 msnm, pero crece mejor en actitudes de 800 a 1,500 msnm, encontrándose los mejores estándar de crecimiento bajo climas semitropicales, con suelos muy

agrietados y con lluvias anuales entre 1,000 a 2,000 mm al año [Martines, 1948].

TÉCNICAS DE INOCULACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE INÓCULO ECTOMICORRÍCICO. Las cepas fúngicas, aisladas en cultivo puro, se transfirieron de la colección de cultivos a placas Petri con medio de cultivo agar Melin-Norkrans modificado (MMN) Marx (6). y se incubaron a 25 °C durante 30 días. A partir de las colonias obtenidas, se transfirieron 15 discos de micelio de 5 mm de diámetro a frascos con tapón de rosca que contenían 70 ml de medio líquido MMN estéril (120 °C, 15 minutos). Los cultivos líquidos se incubaron a 25 °C durante 15-40 días y se agitaron cada 5-7 días para fragmentar el micelio y conseguir un crecimiento disperso y uniforme. Los hongos empleados fueron *Laccaria laccata* A-127 (cepa extranjera) y *Pisolithus tinctorius* (cepa nativa).

DOSIFICACIÓN DE INÓCULO (MICELIO). El inóculo se mezcló con sustrato de turba-vermiculita (1:1, v: v) desinfectado (120 °C, 60 minutos) estableciendo una dosis de inoculación por cepa de: 1:8 para *Pisolithus tinctorius* y 1:16 para *Laccaria laccata* (inóculo: sustrato, v:v). Se prepararon 10 contenedores por dosis y se sembraron tres semillas *Pinus maximinoi*, desinfectadas, en cada contenedor. Una vez germinadas, se dejó una sola planta por contenedor.

INOCULACIÓN CON ESPORAS. Los esporocarpos se desecaron en una estufa con circulación de aire. Mediante raspados se recolectaron basidiosporas de los hongos *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma* sp.; se recolectó 1 gramo de material de cada hongo. Luego se mezcló con H₂O destilada, más 5 gotas de Tween

20, agitándose por 10 minutos, posteriormente se procedió al conteo de esporas mediante un hematómetro.

DOSIFICACIÓN DEL INÓCULO (ESPORAS). Las dosis utilizadas para la inoculación con esporas fueron: *Pisolithus tinctorius* 1×10^5 ; y *Scleroderma* sp. 1×10^5 ; se prepararon 10 contenedores por dosis, inoculando 10 ml de la solución por contenedor y se sembraron 3 semillas de pino desinfectadas en cada contenedor.

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DE MICORRIZAS. El diseño experimental para este estudio fue el del completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron asignados a las unidades experimentales aleatoriamente (al azar).

Tratamientos

- | | | |
|---|---|------------------------|
| 1. <i>Laccaria laccata</i> (micelio) | + | <i>Pinus maximinoi</i> |
| 2. <i>Pisolithus tinctorius</i> (esporas) | + | <i>Pinus maximinoi</i> |
| 3. <i>Scleroderma</i> sp. (esporas) | + | <i>Pinus maximinoi</i> |
| 4. <i>Pisolithus tinctorius</i> (micelio) | + | <i>Pinus maximinoi</i> |
| 5. Testigo (sin inóculo) | | |

ANÁLISIS DE DATOS. A las variables de respuesta se les realizó un análisis de varianza (Andeva), y una prueba múltiple de medias de Tukey.

VARIABLES DE RESPUESTA A EVALUAR.

- Altura de plantas;
- Diámetro de tallo;
- Peso fresco y seco de las partes aéreas y radiculares; y
- Porcentaje de micorrización.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LACCARIA LACCATA (MICELIO) + PINUS MAXIMINOI.

Ectomicorrizas de color claro amarillento, abundante micelio algodonoso laxo blanquecino amarillento, escasos cordones miceliares interconectados entre las raíces micorrizadas. La mayor parte de micorrizas son simples o bifurcadas simples. Con un tamaño de 0.5 mm de ancho y 2 mm de largo. Abundantes raíces secundarias. No se observaba micelio en el sustrato del tubo de síntesis. La profundidad del manto fue de 17 micras, red de Harting 25 micras y el grosor de hifas fue de 2.5 micras. Después de cuatro meses los tratamientos fueron contaminados con esporas de *Pisolithus tinctorius*.

PISOLITHUS TINCTORIUS (ESPORAS) + PINUS MAXIMINOI.

Ectomicorrizas gruesas de color café amarillento claro, simples o doblemente bifurcadas, llegando a formar estructuras coraloideas de 0.8 mm a 2.3 mm de longitud.

El manto, de color café claro, cubre la raíz micorrizada, y presenta un aspecto fibriloso y compacto, en las porciones superiores y media. Existió presencia de abundantes cordones miceliares y rizomorfas del mismo color de la ectomicorriza, partiendo siempre de la misma. La profundidad del manto fue de 17 micras, red de Harting 20 micras y el grosor de hifas fue de 1.5 micras.

PISOLITHUS TINCTORIUS (MICELIO) + PINUS MAXIMINOI.

El micelio no sobrevivió más allá de dos meses.

SCLERODERMA (ESPORAS) + PINUS MAXIMINOI. Ectomicorrizas blanquecinas con un ligero tono rosado claro; simples en muy poca proporción, la mayor parte de ellas bifurcadas y dicotómicamente bifurcadas, sobre todo en la parte media y superior de la raíz principal. De 1 a 4 mm de longitud.

Abundantes rizomorfos y cordones miceliares, interconectándose entre las micorrizas, de color blanco amarillento claro. Presencia de micelio externo, de color rosado claro sobre las raíces. Se formaron pocas ectomicorrizas. La profundidad del manto fue de 20 micras, red de harting 22 micras y el grosor de hifas fue de 3.0 micras. Se observó poco micelio en el sustrato del contenedor.

CONTROL + PINUS MAXIMINOI. No existió presencia de micorrizas ni elementos fúngicos.

Existe una diferencia marcada en la altura de las plantas de *Pinus maximinoi* inoculado con los hongos micorrícicos; se observó que al utilizar el tratamiento 1 *Laccaria laccata* (micelio), se dio mayor

Cuadro 1
ALTURA, PORCENTAJE DE MICORRIZACIÓN, PESO TOTAL Y
DIÁMETRO DE PLÁNTULAS DE PINUS MAXIMINOI INOCULADO
CON TRES HONGOS MICORRÍCICOS Y UN TRATAMIENTO TESTIGO

Tratamiento	Altura media cm	% de micorrización media	peso total de plántula media. gm	diámetro Media. mm
<i>Laccaria laccata</i> (mic)	19.40 a	84.00 a	3.36 a	2.86 a
<i>Pisolithus tinctorius</i> (esp)	16.67 b	76.33 a	2.83 b	2.0 b
<i>Scleroderma</i> (esp)	14.33 c	12.33 b	2.10 c	1.66 c
<i>Pisolithus tinctorius</i> (esp)	11.67 d	0.0 b	1.53 d	1.23 d
Testigo	7.67 e	0.0 b	0.67 e	0.98 d

Mic = Micelio; Esp = Esporas; Pm = *Pinus maximinoi*.

incremento en altura (19.40 cm), respecto al testigo. En la variable de porcentaje de micorrización el tratamiento 1 *Laccaria laccata* (micelio) y 2 *Pisolithus tinctorius* (esporas) fueron los más infectivos, mostrando una alta incidencia de micorrización. La aplicación de esporas ha resultado eficaz, con un porcentaje de micorrizas del 76.33%. La dosis de 1×10^5 esporas / planta fue efectiva, tal y como recomienda la bibliografía consultada [Parlade, 1992; Pera, 1992]. En el peso fresco total estadísticamente en la fase experimental la utilización de hongos micorrícicos proporciona un follaje más denso. El tratamiento 1, *Laccaria laccata* (micelio) fue el que mayor peso fresco proporciona, con una media de 3.36 gm, mientras que el testigo obtuvo una media de 0.67 gm. Debido a que las micorrizas son órganos de producción de auxinas, gibberalinas y otras hormonas, el aumento en crecimiento y grosor de las plántulas puede verse manifestado en plántulas inoculadas de vivero. Y en la variable de respuesta diámetro el tratamiento 1, *Laccaria laccata* (micelio), fue el que proporcionó al pino un tallo de mayor grosor (2.86 mm) respecto a los otros tratamientos.

La aplicación de esporas ha resultado eficaz, con un porcentaje de micorrizas del 76.33%.

IV. CONCLUSIONES

- 1) Se demostró la capacidad formadora de micorrizas en *Pinus maximinoi* con tres especies de hongos: *Laccaria laccata* A-127 (micelio), *Pisolithus tinctorius* (esporas) y *Scleroderma* sp. (esporas).
- 2) Al inocular *Laccaria laccata* A-127 (micelio), *Pisolithus tinctorius* (esporas) y *Scleroderma* sp.

(esporas) en plántulas de *Pinus maximinoi* se produjo un mayor incremento en altura, peso fresco aéreo y radicular, peso seco aéreo y radicular, diámetro de plántulas y porcentaje de puntas radiculares micorrizadas, respecto al tratamiento no inoculado.

- 3) La inoculación con esporas de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma* sp. ha sido efectiva para la producción de micorrizas, situación que podría recomendarse para la mejoría de viveros forestales.
- 4) Existieron diferencias estadísticas significativas al utilizar *Laccaria laccata* (micelio), respecto a los otros hongos, ya que proporcionó un mayor efecto positivo en *Pinus maximinoi*, para todas las variables evaluadas.
- 5) La aplicación de las dosis de inóculo utilizadas son efectivas para la producción de micorrizas en planta de *Pinus maximinoi*.
- 6) La utilización de contenedores y sustrato de turba /vermuculita es efectiva para la producción de planta micorrizada, ya que facilita la extracción y manejo de plantas para estudios de observación.

La aplicación de las dosis de inóculo utilizadas son efectivas para la producción de micorrizas en planta de Pinus maximinoi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AINSWORTH, G. C.; SUSSMAN, A. S. 1968. The fungi; An advanced treatise. London, England, Academic, Press. v. 3, p. 139 - 171.
- FINLAY, R.D. y READ, D.M. 1986. The structure and function of the vegetative of ectomycorrhizal plants II; The uptake and distribution of phosphorus by mycelial strands interconnecting host plant. New phytol, (E. U. U), 103: 157-165.

- FOGEL, R. 1980. Mycorrhizae and nutrient cycling in natural forest ecosystems. *New Phytol.* (E.E.U.U), 86:199-212.
- GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN. Plan de Acción forestal para Guatemala. 1996. El rol de la forestería comunitaria en el desarrollo. Guatemala. Boletín informativo no. 3. 11 p.
- MARTINES, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2 ed. México, Botas. 361 p.
- MARX, D.H. 1969. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the sistance of pine roots to pathogenic infections I; Pathogenic fungi and soil bacteria. *Phithopathology*, (E.E.U.U), 59: 153-163.
- PARLADE IZQUIERDO, X. 1992. Técnicas de inoculación de Abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziensis*, (Mirb) Franco) con hongos ectomicorrícicos y su aplicación en reforestación. Tesis. Ph. D. España, Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Biología. 202 p.
- PERA ALVAREZ, J.L. 1992. Selección de hongos ectomicorrícicos de *Pinus pinaster* para su aplicación en reforestación. Tesis. Ph. D. España, Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Biología. 178 p.
- PELZAR, READ, CHAN. 1993. Microbiología. Traducido por Jorge Tay Zavala. 4 ed. México. McGraw-Hill. 826 p.
- UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA. Facultad de Agronomía. 1996. La deforestación en Guatemala. Cuaderno Chac. 26 p.

EVALUACIÓN INICIAL DEL EFECTO DE TRES INTENSIDADES DE RALEO Y TRES DE PODA EN EL CRECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. HONDURENSIS, LIVINGSTON, IZABAL¹

Mario René Alfaro Argueta



Resumen

En este artículo se presentan los resultados de la investigación realizada en una plantación de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, dirigida a evaluar el efecto de tres intensidades de raleo y de poda en el crecimiento de una plantación de pino caribe.

La evaluación se realizó en el departamento de Izabal que es uno de los hábitat de esta especie de pino.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de técnicas silviculturales de manejo en una plantación comercial, reviste gran importancia cuando el objetivo de éstas es la producción de madera

¹ Premiada como la mejor Tesis de 1999 en Recursos Naturales Renovables.

de buena calidad para cubrir la demanda, tanto del mercado interno como del mercado internacional.

El crecimiento en diámetro, requiere de grandes cantidades de hidratos de carbono y es altamente dependiente en relación directa con la densidad del rodal [Ortiz Fuentes, 1991].

El raleo es una de las técnicas que permite distribuir el potencial de crecimiento y mejorar la calidad del rodal remanente a través de la eliminación de individuos enfermos y aquellos que han quedado suprimidos en las primeras etapas del crecimiento de la plantación.

La poda reviste significativa importancia en el mejoramiento de la calidad de la madera que se pretende cosechar, ya que mientras persistan ramas en el tronco de un árbol, la madera producida contiene nudos, los cuales han sido uno de los defectos más comunes de la madera.

Es importante el conocimiento del principio biológico de las podas o desrames ya que si una poda es mal realizada puede influir negativamente en el crecimiento de los árboles.

El presente artículo se basa en la aplicación de tres intensidades de raleo con tres intensidades de poda.

Con el objeto de evaluar su efecto en el crecimiento de los individuos de una plantación de pino Caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis). Las intensidades de raleo se evaluaron mediante el índice de espaciamento relativo, conocido más comúnmente como *Índice de Hart* con intensidades de $S\% = \text{Actual (A)}, 22 \text{ y } 28$.

Las intensidades de poda evaluadas fueron: sin poda (SP), $1/3$ y $1/2$ de la altura de copa viva.

La investigación se realizó a través de un diseño en bloques al azar con arreglo combinatorio 32 y cuatro repeticiones, con el propósito de realizar un análisis de varianza de los resultados obtenidos.

Las mediciones fueron realizadas antes de las intervenciones para los cálculos del S%. Luego mediante el análisis de fustes se determinó el crecimiento de la plantación, posteriormente se hicieron mediciones a 4, 8 y 12 meses de aplicados los tratamientos, con el propósito de medir el comportamiento del crecimiento en diámetro (DAP), área basal (AB), altura (h) y volumen (VOL) de la plantación bajo las condiciones de estudio.

Este estudio será tomado como base para la implementación de programas de tratamiento silvícola en plantaciones de pino Caribe existentes en la región.

I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es evidente observar en la finca Toquelá un total cierre del dosel superior de copas, lo cual refleja la alta proporción de árboles por unidad de área ($> 2000/\text{ha}$).

Esta situación ha provocado la mortalidad de ramas inferiores (recesión de copas), reducción del sotobosque y la incidencia de malformaciones en los fustes como producto de la competencia por captación de energía lumínica.

Lo anterior tiene como consecuencias para la plantación: la recesión de copas y por consiguiente la disminución de área foliar, aumento en la susceptibilidad de daños provocados por vientos como consecuencia del crecimiento en altura y la reducción de

Este estudio será tomado como base para la implementación de programas de tratamiento silvícola en plantaciones de pino Caribe existentes en la región.

éste en diámetro; aumento de la incidencia de plagas y enfermedades y la pérdida de reservorios de insectos benéficos [Galloway, 1993].

La finca Toquelá cuenta con una extensión de 221.08 hectáreas las cuales están plantadas con pino Caribe, que en ningún momento han sido sometidas a técnicas de clareo para la regulación de la densidad con el fin de favorecer el crecimiento de los mejores individuos. Por otro lado no se cuenta con un programa de podas que tienda a liberar a los individuos con el objeto de comenzar a producir madera libre de nudos.

II.

MARCO TEÓRICO

Marco conceptual

DEFINICIÓN Y PROPÓSITO DEL RALEO

DESARROLLO NATURAL DEL RODAL. La base de la teoría que se sigue en los raleos, se encuentra en el desarrollo natural del rodal. El dosel típico empieza con un número grande de árboles pequeños; inicialmente miles de árboles por hectárea. El número de árboles por unidad de superficie disminuye naturalmente con el crecimiento y expansión de éstos con lo que se tendrá una disminución progresiva en el número de árboles y hacia el fin del turno, la masa queda reducida a unos pocos árboles por unidad de superficie [Camacho, 1980].

Esta disminución continua en el número de árboles, es el resultado de una selección natural y

es la expresión de una de las fundamentales leyes biológicas de la silvicultura. Los árboles más vigorosos o mejor adaptados al ambiente son los capaces de sobrevivir en la competencia por luz, la humedad y las sustancias nutritivas del suelo. Sin embargo, el proceso no es simplemente una selección estable y progresiva de los más adaptados, ya que puede ser interrumpido o temporalmente invertido por accidentes naturales. Además los árboles más adaptados desde el punto de vista de selección natural no son necesariamente los mejores desde el punto de vista forestal [Camacho, 1980].

El proceso de selección mediante la eliminación por competencia es largo y, además, durante su transcurso y lucha por la existencia en las masas densas es tan fuerte que puede reducir el crecimiento y el vigor de todos los árboles del bosque.

DEFINICIÓN DE RALEOS. Los raleos son operaciones culturales que se hacen en un bosque con el fin de dirigir el funcionamiento de la selección natural y tener en todo momento la población formada en su mayoría de especies deseables, donde el número, las formas y el estado de crecimiento son tales, que el bosque responda de manera satisfactoria como le sea posible y permanentemente, de acuerdo con los fines de producción [Camacho, 1980].

Otros autores han definido al raleo forestal como cortas hechas en masas inmaduras con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan conformando la plantación y de aumentar la producción de material utilizable de la masa boscosa [Camacho, 1980].

Los raleos son operaciones culturales que se hacen en un bosque con el fin de dirigir el funcionamiento de la selección natural y tener en todo momento la población formada en su mayoría de especies deseables.

PROPÓSITO DE LOS RALEOS.

- 1) Reducir el número de árboles en un rodal para que los remanentes tengan más espacio para el desarrollo de sus raíces y copas, lo que favorece su crecimiento en diámetro. Así alcanzarían un tamaño comercial más rápidamente.
- 2) Sacar árboles de mala forma, torcidos, bifurcados, con ramas gruesas, etc. para que el incremento futuro se concentre en los mejores individuos.
- 3) Eliminar árboles muertos o enfermos, o cualquier árbol que podría ser el foco de una infección.
- 4) Favorecer a los árboles más vigorosos, con buena forma, los cuales serán para la cosecha final.
- 5) Cuando sea factible, proveer de una fuente de ingresos durante el desarrollo del rodal [Galloway, 1993a].

TIPOS DE RALEO. Se ha hecho una diferenciación de tipos de raleo debido a que ésta no es una actividad rígida y al estar dirigida tanto a las plantaciones forestales como al bosque natural, el administrador forestal podrá escoger entre los diferentes tipos de raleo el que mejor se adapte a su caso específico. Tratando de lograr la mayor flexibilidad en la aplicación de raleos se ha hecho esta clasificación en tipos de raleo en la cual los más comunes son:

*Raleo
por lo bajo.
Corte de todos
los árboles
del nivel
inferior y
si el raleo
es fuerte
sólo se dejan
los árboles
dominantes y
codominantes.*

- 1) **Raleo por lo bajo.** Corte de todos los árboles del nivel inferior y si el raleo es fuerte sólo se dejan los árboles dominantes y codominantes. Si algunos de los dominantes tienen defectos, se pueden cortar si los árboles vecinos son lo suficientemente vigorosos para llenar los espacios dejados. A este tipo de raleo se le conoce también como "aclareo ascendente".

- 2) **Raleo por lo alto.** Solamente un número limitado de los mejores árboles dominantes y algún codominante son dejados para que tengan suficiente espacio para un rápido crecimiento; este espacio es ocupado por los árboles del estrato intermedio y dominado y se eliminan los sujetos muertos y los que no podrán sobrevivir para el próximo raleo. A este tipo de raleo se le denomina "aclare descendente" en el cual se cortan los árboles de las clases dominantes y codominantes para favorecer el crecimiento de la clase de árboles intermedios y de árboles oprimidos vigorosos. El aclareo se efectúa sobre todo en la clase de árboles codominantes [Camacho, 1980; FAO, 1978].
- 3) **Raleo de selección.** Corte de todos los árboles dominantes y en el estrato inferior sólo aquellos dominados que no pueden sobrevivir al próximo raleo. Esto se realiza con el fin de promover el crecimiento de los árboles de los demás estratos [Camacho, 1980].
- 4) **Raleo mixto.** Corte de aquellos árboles dominantes y codominantes que obstruyan de alguna forma el crecimiento de los mejores árboles del piso superior y corte de los árboles entre los intermedios y oprimidos que por sus características físicas, especie y nula protección al suelo, no tienen interés alguno [Camacho, 1980].
- 5) **Raleo mecánico.** Los árboles a cortar o dejar en este método no son seleccionados con base en la posición relativa de sus copas en el dosel, sino con base en un espaciamiento o diseño predefinido. Dentro del raleo mecánico se puede distinguir dos tipos que se denominan raleo por espaciamientos y raleo por fajas o líneas. En el

Dentro del raleo mecánico se puede distinguir dos tipos que se denominan raleo por espaciamientos y raleo por fajas o líneas.

primer método se determina un espaciamiento, se dejan los árboles dentro de éste límite y los demás se cortan. El método de raleo por fajas consiste en cortar fajas estrechas de árboles a intervalos fijos por toda la masa; se puede hacer un raleo en las fajas tratadas, retirando un árbol de cada cinco y siempre el que tenga más defectos.

- 6) **Raleo libre.** Los rodales naturales son rara vez uniformes como para garantizar la futura formación de un rodal cuando se trata a través de cualquiera de los métodos de raleo descritos anteriormente. Al preparar un rodal para una alta utilización del suelo y obtener una producción de buena calidad, es necesario cortar árboles de todas las clases. El método en el que se cortan árboles de todas las clases, después de una discusión libre se denomina método de raleo libre [Camacho, 1980].

- 7) **Raleo natural.** Al mantener plantaciones con alta densidad se produce el raleo natural. La competencia entre los árboles, causa un atraso en su desarrollo, más aún cuando hay una escasez de agua o nutrientes. Además de la muerte de los árboles más débiles, puede provocar condiciones fisiológicas desfavorables en los demás con lo cual la recuperación después de un raleo resulta insuficiente y son más susceptibles a ataques de plagas o enfermedades [Camacho, 1980].

*La
competencia
entre
los árboles,
causa un
atraso en su
desarrollo,
más aún
cuando hay
una escasez
de agua o
nutrientes.*

PRINCIPIOS BIOLÓGICOS DEL RALEO. En términos muy simples, el proceso biológico de crecimiento se da en un ciclo que inicia con la absorción de agua y minerales del suelo por las raíces, convirtiéndose en la llamada savia [Cronquist, 1981].

Esta sustancia es transportada a través del xilema hacia las hojas en la copa. Es aquí en las hojas, las que funcionan como fábricas, donde por efecto del proceso de la fotosíntesis o sea por la energía del sol (luz), la savia bruta es transformada en los compuestos bioquímicos indispensables para el crecimiento vegetativo y, de allí son transportados a todos los demás órganos de la planta a través del floema; como por ejemplo a las raíces, cerrándose así el ciclo vital de absorción-asimilación [Cronquist, 1981].

Es importante hacer algunas consideraciones prácticas sobre el crecimiento en altura y en diámetro. El crecimiento en altura requiere de menos sustancias elaboradas (hidratos de carbono) que el crecimiento en diámetro y, se ha observado poca influencia de la densidad del rodal. Por otro lado, el crecimiento en diámetro requiere de grandes cantidades de hidratos de carbono y es altamente dependiente en relación directa con la densidad del rodal [Ortiz Fuentes, 1991].

El crecimiento en diámetro requiere de grandes cantidades de hidratos de carbono y es altamente dependiente en relación directa con la densidad del rodal.

EFFECTO DEL RALEO SOBRE EL CRECIMIENTO DEL RODAL. El raleo influencia el crecimiento y la forma de los árboles por la reducción de la competencia y la alteración del medio, de tal manera que éste queda más favorable al crecimiento acelerado de los árboles remanentes. Así, el raleo trata de concentrar la producción de biomasa en un número adecuado de árboles seleccionados por su mayor tamaño, buena calidad y forma del fuste y copa, además de su alto vigor de crecimiento y por tanto mayor potencial de incremento en volumen como respuesta al raleo [Camacho, 1980].

ÍNDICES DE COMPETENCIA. Son indicadores matemáticos del nivel de competencia a que está sometido

el rodal. Además, son usados para estimar el tamaño del raleo necesario para bajar dicha competencia a niveles programados. Existe un gran número de estos índices; desarrollados por experiencia de extensos estudios. El *índice de espaciamiento relativo* (IER - $S\%$ -) o *índice de Hart-Becking* (en honor a sus descubridores), es el que mejor se ajusta a la forma de crecimiento de los pinos y por su fácil aplicación [Ortiz Fuentes, 1991].

Definición y propósitos de la poda

Mientras persisten las ramas en el tronco de un árbol, la madera producida contiene nudos [Galloway, 1993a]. Los nudos constituyen uno de los defectos más comunes de la madera. Después de morir las ramas de muchas especies quedan intactas en el tronco por varios años, como por ejemplo, melina, pino, ciprés, pochote, etc. Estas ramas secas forman nudos flojos, los cuales son mucho más dañinos que los formados por ramas vivas [Galloway, 1993a].

En algunas especies, *E. globulus* por ejemplo, la poda ocurre naturalmente y no hay necesidad de realizar esta práctica. La mayoría de las especies, en cambio, tienen ramas persistentes y si se desea madera libre de nudos hay que realizar la poda [Galloway, 1993a].

El objetivo principal de la poda artificial es producir madera de alta calidad, sin nudos. Los nudos sueltos generalmente debilitan las propiedades físicas de la madera. La madera limpia es requerida para la producción de chapas, y para madera de primera calidad [FAO, 1978].

El objetivo principal de la poda artificial es producir madera de alta calidad, sin nudos. Los nudos sueltos generalmente debilitan las propiedades físicas de la madera.

NUDOS Y PRODUCCIÓN DE MADERA LIMPIA. La madera del nudo tiene una estructura diferente a la madera del fuste. Es más oscura, más dura y por la posición horizontal de la rama, tiene un segmento superior de madera de tensión y el otro segmento de madera de compresión. La madera de los nudos cuando está secándose tiene una contracción mucho más fuerte que la del fuste. Además, los nudos producen defectos graves en la madera en sus alrededores [Galloway, 1993a].

La evaporación por los nudos es mucho más rápida que a través de la madera limpia, y por consiguiente, la madera de los nudos y sus alrededores se seca más rápidamente que la del resto [Galloway, 1993a].

La producción de madera libre de nudos, puede dividirse en tres etapas: el corte (poda) de las ramas, la cicatrización de las heridas y la producción de madera limpia [Galloway, 1993a].

- 1) **Corte de las ramas.** Las ramas se cortan cerca del fuste con una herramienta apropiada. Generalmente, se recomienda el uso de serruchos curvados para evitar daños excesivos a los árboles podados. Sin embargo, se ha observado la poda bien hecha con machetes bien afilados [Galloway, 1993a]. Es importante evitar la poda de ramas grandes. Según Troensegaard (1971) citado por Galloway [1993a], no es recomendable podar ramas con un grosor mayor de 5 cm ya que éstas posiblemente contienen duramen (parte más interna de un tallo leñoso, compuesto enteramente de células muertas) que no produce sustancias protectoras después de corte. Ramas grandes toman más tiempo para

La madera de los nudos cuando está secándose tiene una contracción mucho más fuerte que la del fuste.

podar, y los cortes dejados demoran más tiempo para cicatrizar. Además, la existencia de ramas muy grandes probablemente indica que la poda es tardía, pues el propósito es la producción de madera libre de nudos; si hay ramas grandes, habrá un corazón nudoso grande en el fuste. En general, lo ideal es realizar la poda cuando las ramas tienen unos 2.5 cm de diámetro. El corazón nudoso no debe superar unos 12.5 - 15 cm de diámetro.

La forma en que se realiza el corte de las ramas es fundamental para el éxito de una poda. De ello depende; i) el tiempo necesario para que el árbol cicatrice la herida causada por el corte; ii) la pronta producción de madera limpia; y iii) la salud futura del árbol [Galloway, 1993a].

- 2) **Cicatrización del corte.** La oclusión del corte a través del desarrollo de tejidos de callo provenientes del cambium periférico, determinan el momento cuando el árbol empieza a producir madera limpia [Galloway, 1993a].

La tasa de oclusión depende de varios factores que incluyen:

- a) La tasa de crecimiento en diámetro en la parte del fuste donde se encuentra la herida;
- b) El largo del tocón de la rama;
- c) El vigor del árbol;
- d) El tamaño del corte; y
- e) La especie.

La cicatrización será más rápida en lugares donde la especie tenga su desarrollo más vigoroso [Galloway, 1993a].

ALGUNOS EFECTOS DE LA PODA EN LOS ÁRBOLES.

Aquí se incluyen algunos de los efectos posibles en los árboles después de la poda.

*La
cicatrización
será más
rápida en
lugares donde
la especie
tenga su
desarrollo
más vigoroso.*

- 1) **Reducción del crecimiento.** Al eliminar parte de la copa viva, se reduce el área foliar activa en fotosíntesis, lo cual incide en una baja en la tasa de crecimiento. Varios investigadores indican que es posible quitar hasta el 25-30% de la copa viva de muchas especies sin reducir el crecimiento en altura y sin afectar seriamente el crecimiento en diámetro. Regularmente, es más práctico expresar el grado de poda de acuerdo a la altura de la copa viva en relación de la altura total del árbol. Generalmente con una poda de entre 40 y 50%, no habría diferencias estadísticas en volumen al final de turno entre árboles podados y no podados [Galloway, 1993a].
- 2) **Peligro de perder dominancia.** Cuando se podan todos los árboles en un rodal, la reducción en crecimiento carece de importancia; resulta crítico si sólo se podan árboles seleccionados [Galloway, 1993a]. Por el hecho de que la poda es costosa y laboriosa y que se ralean muchos árboles antes de final de turno, sólo se deberían podar árboles seleccionados. Si estos árboles tienen que competir con vecinos que no han sido podados, a menudo, serán dominados. En tal caso, la poda además de no lograr su objetivo, representa una mala inversión también. Por eso, es importante que se combinen las podas y los raleos para favorecer el desarrollo de árboles seleccionados y bajar el costo de esta operación [Galloway, 1993a].

Es importante que se combinen las podas y los raleos para favorecer el desarrollo de árboles seleccionados y bajar el costo de esta operación.

CRITERIO DE SELECCIÓN (CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES). El raleo selectivo es el más apropiado en plantaciones destinadas a producir madera para aserrío. Para reducir el costo de la poda, hay que

tratar de concentrar la poda en los árboles que van a quedar hasta la cosecha final. Algunas características importantes que deberían poseer los árboles a podar son:

- 1) Rectitud de fuste. Esta característica es permanente y, por consiguiente, merece la mayor atención.
- 2) Formación de la yema terminal. Árboles con problemas con la yema terminal (bifurcación, mortalidad, floración precoz) no son deseables en una plantación destinada a producir madera para aserrío.
- 3) Dominancia. Aunque la dominancia de un árbol es importante, su forma es un criterio de selección aún más crítica en la producción de madera para aserrío [Galloway, 1993a].

ÉPOCA DE LA PODA. Muziol y Sánchez [1992] citados por Galloway [1993a] recomiendan ejecutar la poda al final de la época seca por las siguientes razones:

- El corte se seca rápidamente y de este modo se reduce el riesgo de una infección por hongos o insectos;
- Poco después, en la época lluviosa, las heridas se cicatrizan rápidamente;
- Con las especies que pierden su follaje en verano, la poda resulta más fácil cuando las ramas tienen menos follaje.

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS. La poda es la operación silvicultural más cara, requiere de mucha mano de obra y por no rendir ningún beneficio inmediato, es una inversión en el producto final de la plantación [Galloway, 1993a]. Son varios los

La poda es la operación silvicultural más cara, requiere de mucha mano de obra y por no rendir ningún beneficio inmediato, es una inversión en el producto final de la plantación.

factores importantes que determinan el costo de una poda:

- 1) El número de ramas a podar por árbol;
- 2) El grosor de las ramas;
- 3) La altura de la poda;
- 4) El número de árboles a podar por hectárea.

Crecimiento y rendimiento

El crecimiento se refiere al incremento en peso y volumen del árbol o masa forestal observado, en ellos íntegramente [Alder, 1980; Klepac, 1983].

El rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha o en volumen de los árboles de un grupo particular de especies por unidad de superficie [Alder, 1980; Klepac, 1983].

El crecimiento se puede entender a nivel de un sólo árbol o bien a nivel de un sólo rodal. Del mismo modo puede ser enfocado básicamente bajo aspectos fisiológicos [Klepac, 1983].

Las medidas utilizadas para expresar el crecimiento es el incremento; éste significa el crecimiento de un árbol o masa forestal en un período de tiempo. Algunas variaciones de esta modalidad son el incremento corriente anual, el incremento periódico, el incremento total, incremento medio anual. Estos incrementos se consideran como crecimiento absoluto [Baker, 1950].

El crecimiento relativo consiste en la determinación del crecimiento absoluto en determinada etapa o período del desarrollo general de la masa forestal o del árbol individual. Generalmente se presentan como relación entre el crecimiento anual y el valor de la magnitud que procede al crecimiento del año

El rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha o en volumen de los árboles de un grupo particular de especies por unidad de superficie.

en que el crecimiento se produce [Alder, 1980; Klepac, 1983].

Los métodos para calcular el crecimiento son tres:

- 1) **Método del incremento absoluto.** Se utiliza el crecimiento en diámetro observado en el incremento total del árbol [Núñez Saravia, 1986].
- 2) **Método del incremento porcentual.** Se basa en tablas promedio de crecimiento de doble entrada (diámetro promedio número de anillos en X longitud en cm), presentando los resultados en porcentaje, del incremento de área basal. Las fórmulas de A. Schafer, de Seider, de L. Schaefer representan este modelo [Klepac, 1983].
- 3) **Método de paso de una categoría diamétrica a otra.** Se basa en la dinámica de crecimiento del árbol. Abarca el método general del tiempo de paso (basado en la medición del incremento en diámetro, por medio del cual se calcula el porcentaje de árboles que pasan de una categoría diamétrica a otra) y el método de Ken Neth Davis (basado en la elaboración de gráficas por medio del aumento en longitud de barras, con relación a un incremento promedio) [Alder, 1980].

En un árbol la rapidez de crecimiento depende de una serie de factores no siempre fáciles de reconocer.

CRECIMIENTO DE ÁRBOLES INDIVIDUALES. En un árbol la rapidez de crecimiento depende de una serie de factores no siempre fáciles de reconocer. En primer lugar, el sitio y la fertilidad del suelo, el clima y sus variaciones, luego la calidad (los árboles viejos casi no crecen) y por fin la competencia de otras plantas (principalmente árboles) [Veillon, 1965].

CRECIMIENTO DE MASAS FORESTALES. En principio, el crecimiento de una masa forestal es la suma del crecimiento de todos los árboles que componen dicha

masa. En un inventario forestal se sigue este principio [Veillon, 1965].

El crecimiento total dentro de un rodal puede expresarse en muchas formas que dependen especialmente de la ordenación forestal; entre estas formas se encuentra el rendimiento total a lo largo de la rotación, incremento medio anual, incremento periódico anual, crecimiento bruto y el crecimiento neto. El crecimiento de los rodales se ve afectado por el estado de desarrollo de la comunidad, la edad, la calidad de sitio, las especies, la densidad, el área basal, los tratamientos silvícolas. El desarrollo de un rodal es función de un rodal, pero su carácter depende de la especie y de la calidad del sitio; a medida que aumenta la calidad alcanza un estadio particular de desarrollo a una edad más corta [Daniel *et al.*, 1982].

FACTOR DE FORMA Y DE CORTEZA.

- 1) **Factor de forma (f).** Para calcular el volumen de una masa en pie, se utiliza el coeficiente mórfico, que no es más que un factor con respecto al volumen real del árbol. La principal limitante de la utilización del factor de forma, es que éste varía con su edad [Klepac, 1983].

La expresión más simple de la forma del tallo se expresa a través del factor de forma (f) y se relaciona directamente con el volumen del árbol. El factor mórfico no es necesariamente una característica de la forma del tallo por las siguientes consideraciones:

- a) Dos árboles con el mismo f , no tienen necesariamente la misma forma; y
- b) Dos árboles de la misma forma no tienen necesariamente el mismo f .

Para calcular el volumen de una masa en pie, se utiliza el coeficiente mórfico, que no es más que un factor con respecto al volumen real del árbol.

El conocimiento del volumen sin corteza es una necesidad cuando éste es el volumen utilizable que se desea conocer, pues la corteza generalmente no se utiliza.

- 2) **Factor de corteza.** El conocimiento del volumen sin corteza es una necesidad cuando éste es el volumen utilizable que se desea conocer, pues la corteza generalmente no se utiliza [Baker, 1950; Daniel *et al.*, 1982]. La proporción del volumen de corteza al volumen sobre corteza varía desde porcentajes muy pequeños a aproximadamente 20%, para la mayoría de las especies. Esta proporción es tanto más importante si el árbol es joven, si la altitud aumenta y de manera general si las condiciones de crecimiento son más difíciles.

ANÁLISIS DE FUSTE. Los análisis de fuste permiten la reconstrucción de la historia del crecimiento de un árbol por:

- 1) Tumba o apeo del árbol;
- 2) Corte de discos a intervalos de unos 2 m a lo largo del fuste.
- 3) Conteo cuidadoso y medición de los anillos de crecimiento, en los discos.

Una gran cantidad de información sobre la dinámica de un rodal, puede ser obtenida del análisis del fuste, en donde el principal interés radica en la reconstrucción histórica del crecimiento de un rodal. El procedimiento solamente es posible en climas estacionales y con especies que produzcan anillos claramente definidos [Klepac, 1983].

MEDICIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO. Cuando existan anillos de crecimiento, pueden utilizarse para estimar el incremento. El método más práctico, es usar secciones de árboles apeados tomadas a la altura del pecho. La anchura de los últimos tres o cuatro anillos anuales debe ser medidas en dos diámetros

perpendiculares de la sección. Los diámetros deben ubicarse a lo largo de los ejes mayor y menor, si la sección es elíptica. Esto da el incremento periódico bajo corteza. Es necesario construir una regresión que relacione las mediciones directas del diámetro bajo corteza, con las mediciones del diámetro sobre corteza medido con cinta, para hacer compatible los incrementos bajo la corteza con las mediciones normales del diámetro a la altura del pecho [Klepac, 1983].

Marco referencial

ASPECTOS GENERALES DEL PINO CARIBE

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE. Por muchos años existió gran confusión en cuanto a la sistemática del pino Caribe. Sin embargo, Barret y Golfari [1962] dieron solución al problema, subdividiendo la especie en tres variedades, cada una de las cuales posee un ámbito de distribución y características fenológicas muy propias. El cuadro 1 presenta un resumen de estas características [Rojas y Ortiz, 1981].

El árbol puede alcanzar hasta 45 m de altura y 100 cm de diámetro. Presenta corteza grisácea cuando joven; rugosa, resquebrajada en surcos longitudinales y de color oscuro en árboles adultos. Las hojas son aciculares de 1.0 a 1.5 mm de espesor y 13 a 33 cm de largo, con dos a cinco canales resiníferos internos. Éstas vienen agrupadas en fascículos de tres agujas y en ocasiones excepcionales dos o cuatro. Las vainas de los fascículos son de 10 a 16 mm de largo, de color castaño claro a pardusco y nunca oscuras o negras. Las flores masculinas son amentos cilíndricos de 25 a 45 mm de largo. Los conos no son persistentes y son de forma oblonga, asimétricos de 6 a 14 cm de largo, de 2.8 a 4.5 cm de ancho, cuando

Por muchos años existió gran confusión en cuanto a la sistemática del pino Caribe.

están cerrados y de 6 a 7.5 cm cuando están abiertos. En su área de distribución natural los conos alcanzan su madurez entre junio y julio, en sitios costaneros y de julio a agosto en las tierras altas del interior. Las semillas son angostamente ovoides de 6.5 mm de largo y 3.5 mm de ancho con 2 mm de grosor, su color varía de pardo claro a castaño y hasta negruzco. Las semillas poseen una ala membranosa que se desprende fácilmente y los embriones poseen de 5 a 9 cotiledones. Se estima un total de 50,000 a 60,000 semillas por kilogramo [Rojas y Ortiz, 1981].

Cuadro 1
SUBDIVISIÓN DE *PINUS CARIBAEA* (MORELET)
EN VARIEDADES, SEGÚN BARRET Y GOLFARI [1962].

Características	<i>caribaea</i>	Variedades <i>hondurensis</i>	<i>bahamensis</i>
Hojas	Con 3 agujas, raro 4 por fascículo	Con 3 agujas, a veces 4 o 5 por fascículo	Con 2 ó 3 agujas por fascículo
Tamaño de conos	5 a 10 cm	6 a 14 cm	4 a 12 cm
Semilla	Semillas con ala adherente	Semillas con ala articulada y se desprende fácilmente	Semillas con ala articulada, raramente adnata
Hábitat	Isla de Pinos y Pinar del Río, costa de Cuba	Vertiente atlántica de Belice, Guatemala, Honduras y Nicaragua	Isla Bahamas, Grand Bahama, Great Abaco, Andros, Caicos, New Providence
Altitud (msnm)	45 a 355	0 a 850	0 a 30
Temperatura media °C	24.4-25.5	20-27	25-27
Clima	sub-húmedo	sub-húmedo / per-húmedo	sub-húmedo
PPT (mm/año)	1,200-1,600	950-3,500	750-1,300
Meses secos/año	6	2-6	6-7
Suelos	ácidos (pH 4.5-6)	ácidos (pH 4.6-6.5)	ácidos (pH 7.5-8.5)

Comercialmente el cultivo de la especie ha revelado que las plantas jóvenes del pino caribe, no presentan hojas agrupadas en fascículos hasta los 8 o 10 meses de edad. Asimismo, estas plantas se caracterizan por presentar numerosos brotes adventicios en la base del tronco, los cuales perduran hasta los tres o cuatro años [Rojas y Ortiz, 1981].

DISTRIBUCIÓN NATURAL. El *Pinus caribaea* var *hondurensis* se encuentra en forma natural en numerosos rodales discontinuos y fragmentados desde los 18 grados (Orange Walk, Belice), hasta los 12 grados de latitud norte (Bluefield, Nicaragua), en la vertiente atlántica del istmo centroamericano y Cuba, desde el nivel del mar en las llanuras costeras, hasta las tierras del interior con elevación máxima de 850 mm en Honduras y Belice [Rojas y Ortiz, 1981].

Pinus caribaea muestra buen crecimiento en climas húmedos de las regiones tropicales; sin embargo en sitios sin una época seca marcada los árboles tienden a formar "cola de zorro" [Rojas y Ortiz, 1981].

USOS DE LA MADERA. La madera de esta especie posee una coloración clara, con tonalidades que van de amarillo a amarillo-naranja en la albura y naranja oscura a café rojizo en el duramen.

Su madera es de gran versatilidad y puede utilizarse para la producción de leña, carbón, postes para tendido de redes telefónicas o eléctricas. Otros usos son: pulpa para papel, parquet o (parqué) para pisos, láminas para contrachapados, madera para construcción, muebles y artesanías. La resina puede utilizarse en la elaboración de desinfectantes y pinturas [Rojas y Ortiz, 1981].

Pinus caribaea muestra buen crecimiento en climas húmedos de las regiones tropicales; sin embargo en sitios sin una época seca marcada los árboles tienden a formar "cola de zorro".

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA. De acuerdo con Arthur Cronquist [1981], la clasificación botánica del pino caribe es:

Reino	Plantae (vegetal)
Sub-reino	Embryobionta
División	Pinophyta
Clase	Pinopsida
Sub-Clase	Pinicae
Orden	Pinales
Familia	Pinaceae
Genero	Pinus
Especie	<i>Pinus caribaea</i> Morelet
Variedad	hondurensis

LOCALIZACIÓN. La plantación en donde se realizó la investigación, se encuentra en la finca Toquelá, la cual está localizada en el municipio de Livingston, del departamento de Izabal, con una extensión de 221.08 ha, equivalentes a 4.91 caballerías, colinda al norte con la finca Búfalo, al sur con las fincas Las Carabelas y Las Gemelas, al este con la finca Doctor Paredes y al oeste con la finca Caobal (FORESA), sus coordenadas geográficas son 15°49'05" de Latitud Norte y 89°07'08" de longitud Este. La finca se encuentra dividida en siete secciones las cuales están separadas por brechas cortafuegos y caminos internos; está repoblada con pino caribe en su totalidad (figuras 1 y 2).

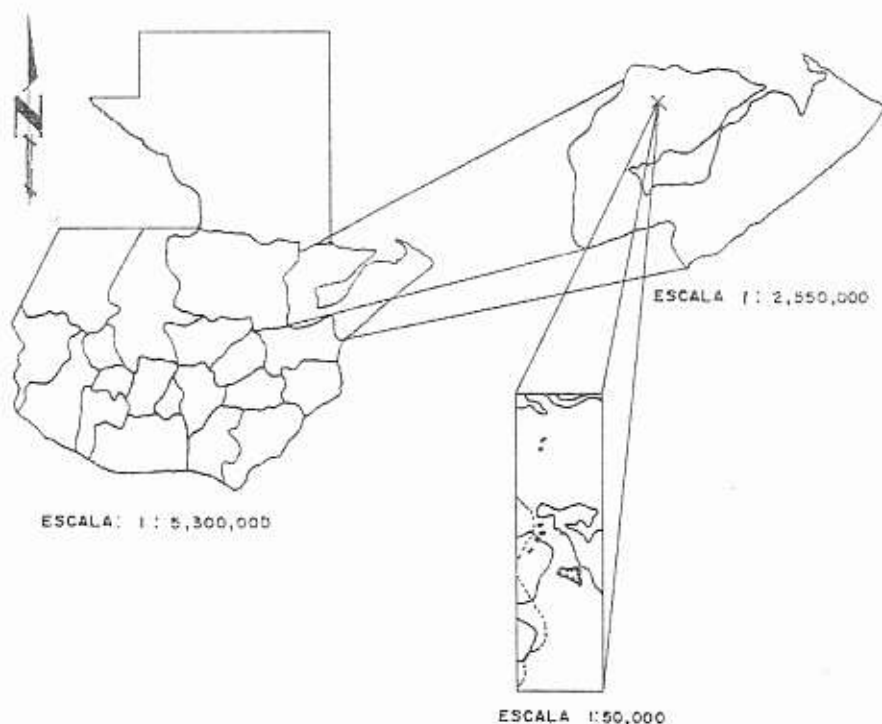
VÍAS DE ACCESO A LOS TERRENOS DE LA FINCA

La finca dista de Guatemala 303 Km. A la finca se llega por la ruta que conduce al Atlántico, en donde a la altura del kilómetro 245, en el lugar conocido como la Ruidosa del municipio de Morales, se toma

la ruta que conduce hacia Modesto Méndez, a la altura del kilómetro 300 (más o menos 15 km del puente del Río Dulce), se encuentra la entrada a la finca, la cual dista de la carretera 3 Km. de terracería. La finca cuenta con caminos internos, los cuales son transitables en todo tiempo y conducen adecuadamente a todas las secciones.

CONDICIONES CLIMÁTICAS. Según el *Atlas Forestal* [IGN, 1980], se encuentra localizada en la zona de

Figura 1
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE
ESTUDIO EN EL CONTEXTO NACIONAL

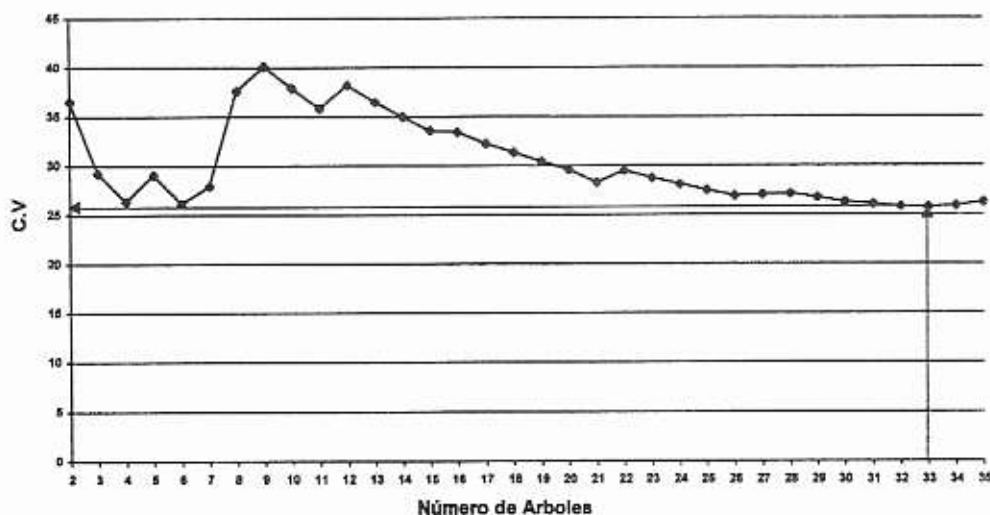


vida de bosque muy húmedo subtropical cálido identificada con la simbología bmh-S(c).

Posee una precipitación pluvial media anual de 3,600 mm y llueve aproximadamente 220 días al año, con una temperatura media anual de 25°C. Humedad relativa de 80%, con una evapotranspiración potencial según Hargreaves de 1,600 a 1,800 mm y un brillo solar aproximado de 180 a 200 horas/luz, mensual [PAFG, 1980].

La región bioclimática según Tonrthwite es A'b'Ar: clima muy húmedo, vegetación selva, con invierno benigno, cálido sin estación seca bien definida.

Figura 2
DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE
PARCELA EN LA EVALUACIÓN INICIAL DEL EFECTO DE TRES
INTENSIDADES DE RALEO Y TRES DE PODA EN UNA PLANTACIÓN DE
PINUS CARIBAEA MORELET VAR. HONDURÉNSIS, LIVINGSTON, IZABAL



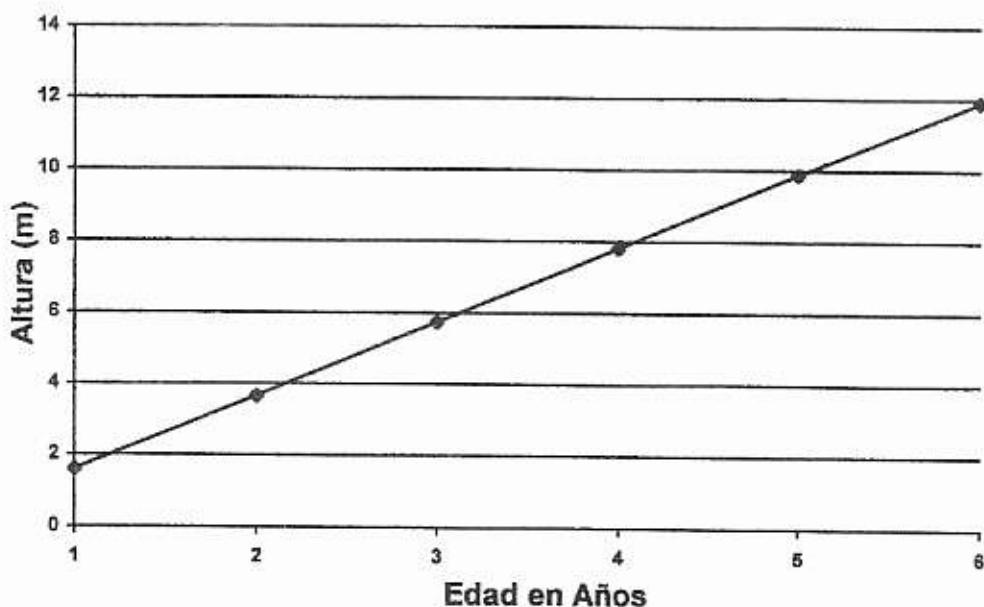
RELIEVE. Los terrenos correspondientes a la finca son de relieve ondulado a suavemente ondulado, con elevaciones que van de 60 a 80 msnm (ver figura 3).

SUELOS. Pertenecen a la serie de suelos Chocón, los cuales se caracterizan por poseer textura arcillosa, son profundos, color café oscuro o grisáceo, de consistencia plástica, fertilidad natural baja y se encuentran asociados con los suelos Chacalté.

HIDROLOGÍA. En la finca se localizan dos quebradas de agua, las cuales guardan caudal en época de invierno.

Figura 3

CURVA DE CRECIMIENTO PROMEDIO EN ALTURA DOMINANTE PARA *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *HONDURÉNSIS*, LIVINGSTON, IZABAL



III. OBJETIVOS

GENERAL.

Evaluar el efecto de tres intensidades de raleo y tres intensidades de poda en el crecimiento de una plantación de pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis), en el municipio de Livingston, Izabal.

ESPECÍFICOS

- 1) Determinar la mejor intensidad de raleo de las evaluadas, a ejecutar en la plantación.
- 2) Determinar la mejor altura de copa de las evaluadas, a la cual debe realizarse la poda.

IV. HIPÓTESIS

- 1) Se espera que la aplicación de tratamientos de raleo, estimule la tasa de crecimiento de la plantación de pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis).
- 2) Se espera que la aplicación de tratamientos de poda de la copa viva, no influya negativamente en el crecimiento de la plantación de pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis).
- 3) No existe interacción en cualesquiera intensidades de raleo y poda.

V. METODOLOGÍA

Definición del marco de estudio

El estudio se realizó en las secciones dos, cinco, seis y siete debido a que no han sido intervenidas silviculturalmente. Las extensiones de las secciones son las siguientes:

Sección	Extensión
1	11.00 ha
2	45.07 ha
3	26.58 ha
4	30.25 ha
5	37.98 ha
6	19.44 ha
7	50.76 ha

El proyecto de reforestación Toquelá, fue aprobado para su ejecución el 2 de febrero de 1988 mediante resolución de INAFOR No. 88.

La producción de plántula se realizó utilizando semilla de procedencia "Poptún".

La plantación fue establecida con un distanciamiento inicial de 2 m x 2 m y una densidad de 2,500 árboles/ha. La edad actual de la plantación es de 6 años.

Tamaño y forma de la parcela

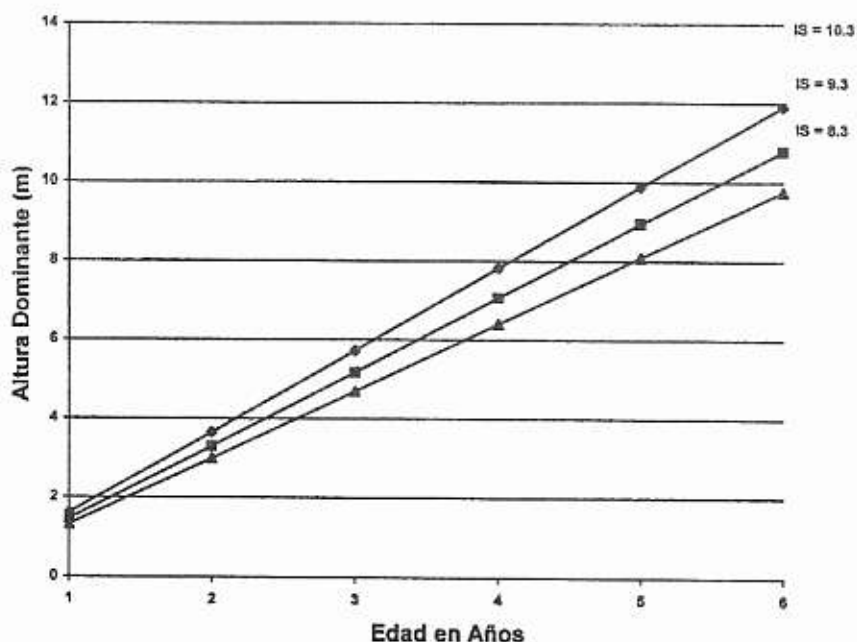
TAMAÑO DE LA PARCELA. Para determinar el tamaño de las parcelas se procedió a la toma de DAP de diferentes árboles, agrupados sucesivamente para la obtención de los parámetros estadísticos que nos

permitió establecer el número óptimo de árboles a contener en la unidad experimental así como el área de ésta. A estos datos se les determinó la varianza (s^2), desviación estándar (s), media ($\bar{x}$) y coeficiente de variación (CV) para los diámetros obtenidos en los diferentes árboles.

Luego en un eje de coordenadas, se colocaron en las abcisas (X) el número de árboles, y en el eje de las ordenadas (Y) los coeficientes de variación, el tamaño óptimo de parcela está dado por el valor de X en el punto de intersección de máxima inflexión de la curva, cuando los valores de C.V. tienden a ser más o menos constantes (ver figura 4).

Figura 4

CURVA PRELIMINARES DE INDICE DE SITIO PARA
PINUS CARIBAEA MORELET VAR. HONDURÉNSIS, LIVINGSTON, IZABAL



De acuerdo con los resultados, el número óptimo es de 33 árboles en la unidad experimental, pero para efectos de mayor confiabilidad y considerando el efecto de borde, se tomó un número de 64 árboles para la parcela total que equivale a un área de 256 m², y 36 árboles para la parcela neta que equivale a un área de 144 m². En el apéndice 10 se presenta la ubicación de los árboles dentro de una repetición.

FORMA DE LA PARCELA. Las parcelas fueron levantadas de forma cuadrada. Las de formas rectangulares o cuadradas son más adecuadas para tamaños mayores de 0.01 ha; mientras que las circulares son más rápidas de ubicar para tamaños inferiores de 0.01 ha en rodales poco densos y 0.05 ha en rodales densos [Alder, 1980].

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PARCELAS. El número de parcelas se determinó con base en la fórmula de un arreglo combinatorio 3ⁿ, la cual es:

$$3^2=9$$

en donde:

3 = Número de niveles de cada factor

2 = Número de factores

Debido a que se evaluaron dos factores con tres niveles cada uno, el número de tratamientos es igual a 9. Como los tratamientos fueron repetidos cuatro veces, nos dio un número total de 36 parcelas.

DISTRIBUCIÓN DE LAS PARCELAS. Las parcelas fueron distribuidas dentro de las secciones de acuerdo

con el arreglo del diseño experimental y basado en la composición de la plantación.

FRECUENCIA Y ÉPOCA DE LAS MEDICIONES. Las mediciones se realizaron antes de la aplicación de los tratamientos, a cuatro, ocho y doce meses después de todas las intervenciones.

La primera medición para determinar las variables de la plantación y estimar los distintos tratamientos se llevó a cabo durante la última semana de febrero de 1995. La aplicación de los tratamientos se realizó durante la semana del 27 al 31 de marzo de 1995. La segunda medición se realizó durante la semana comprendida del 24 al 28 de julio de 1995, la tercera medición se realizó durante la semana del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 1995 y la cuarta medición se realizó durante la semana del 25 al 29 de marzo de 1996. En las mediciones se tomó el DAP y altura de todos los árboles dentro de la parcela.

Diseño de tratamientos a evaluar

RALEOS. Se utilizó el Índice Hart (S%), con intensidades: $S\% = \text{Actual (A)}$, $S\% = 22$ y $S\% = 28$, debido a que el Índice de Hart establece que entre 20 y 30 % del espaciamiento.

Cuadro 2
COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS EVALUADOS

Intensidades de poda (altura de copa)	Intensidad de raleo		
	S% A	S% 22	S% 28
S.P.	S% A, S.P. (T1)	S% 22, S.P. (T2)	S% 28, S.P. (T3)
1/3	S% A, 1/3 h (T4)	S% 22, 1/3 h (T5)	S% 28, 1/3 h (T6)
1/2	S% A, 1/2 h (T7)	S% 22, 1/2 h (T8)	S% 28, 1/2 h (T9)

PODA. Ésta se hizo con las siguientes intensidades: sin poda (SP), 1/3 y 1/2 de la altura de la copa viva. Considerando los tratamientos de raleo y poda, los tratamientos aplicados fueron los que se presentan en el cuadro 2.

Diseño experimental

La presente investigación se realizó utilizando un diseño en bloques al azar, con arreglo combinatorio, en el cual se evaluaron dos factores y sus respectivos niveles con cuatro repeticiones.

ASIGNACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS A LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. Los tratamientos se asignaron a las unidades experimentales, mediante aleatorización.

MODELO ESTADÍSTICO. El modelo estadístico que sustenta la base del presente diseño es el siguiente:

$$V_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_j + \beta_k + \alpha\delta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = Rendimiento de la ijk -ésima unidad experimental

μ = Valor de la media general de rendimiento

δ_j = Efecto de la j -ésima intensidad de poda

β_k = Efecto del k -ésimo bloque

$\alpha\delta_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo método de raleo y la j -ésima intensidad de poda

ϵ_{ijk} = Error experimental de la ijk -ésima unidad experimental.

La presente investigación se realizó utilizando un diseño en bloques al azar, con arreglo combinatorio, en el cual se evaluaron dos factores y sus respectivos niveles con cuatro repeticiones.

VARIABLES DE RESPUESTA. Para este caso se evaluaron los resultados a través de las variables respuesta: diámetro, altura, área basal y volumen.

Delimitación y trazo de los bloques y parcelas

El trazo de los bloques se realizó en función del número de parcelas, por consiguiente éstos se orientaron en forma perpendicular a la pendiente. Las parcelas se trazaron de 16 x 16 m (256 m²). El trazo se hizo mediante el uso de brújula, alidada y cinta métrica con el objeto de darle las dimensiones deseadas. La delimitación se realizó marcando tres árboles de cada vértice de la parcela con cinta de color azul, así como mediante el uso de estacas, las cuales quedaron permanentemente en el lugar para mejor localización de las mismas.

Marcación de los árboles para raleo

La marcación se hizo utilizando cinta de color rojo, amarillo y azul, el color azul se utilizó para delimitar los vértices de las parcelas, el color rojo para marcar los árboles a ralear y el color amarillo para marcar los árboles a dejar en cada parcela.

Mediciones antes del raleo

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA. La altura se midió con un hipsómetro (Suunto) y se tomaron las alturas de todos los individuos presentes en cada una de las parcelas. La altura dominante se determinó del promedio de la altura de los tres árboles más gruesos por parcela, partiendo de la relación de 100 árboles por hectárea.

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BASAL. El área basal no es más que el área de la sección transversal del árbol a una altura de 1.30 (DAP). Se determinó el área basal mediante la formula siguiente:

$$AB = \frac{\pi * D^2}{4}$$

En donde:

D = Diámetro medio por parcela (en m)

DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE RALEO POR MEDIO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE HART. Éste se realizó utilizando la forma siguiente:

$$\text{Índice de Hart} = (a/h) * 100$$

En donde:

a = espaciamiento medio actual de la plantación

h = Altura dominante (de los tres árboles más gruesos por tratamiento)

El número de árboles a dejar después de los raleos se calcula mediante la siguiente relación:

$$\# \text{ de árboles a dejar por tratamiento} = 144 M^2/R \text{ m}^2$$

En donde:

144 m² = área de la parcela

R² = área que ocupará cada árbol después del raleo.

Entonces el número de árboles a cortar fue la resta de la densidad inicial menos el número de árboles calculados anteriormente, finalmente se determinó el porcentaje de raleo de la siguiente manera:

$$\% R = \frac{\# \text{ de árboles a cortar} * 100}{\text{Densidad inicial}}$$

DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE PODA. La intensidad de poda se determinó a partir de la altura de copa del árbol, mediante la determinación de la altura total de cada árbol y la diferencia de esta altura y la del fuste sin ramas, a la altura de copa se le determinó la intensidad a la cual fue podada de acuerdo con la distribución de las diferentes intensidades.

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Para el procesamiento de la información se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistics Analysis System). Los datos provenientes de cada medición dentro de cada tratamiento fueron inicialmente sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) y luego sometidos a una prueba múltiple de medias de Tukey para establecer el mejor tratamiento. Así mismo los datos fueron sometidos a un análisis de covarianza (ANCOVA), debido a que no se partió del mismo valor de área basal para cada tratamiento y repetición, tomando como covariable el área basal existente en la plantación inmediatamente después de aplicados los tratamientos.

ANÁLISIS FUSTAL. Para la realización del análisis fustal se tomaron dos árboles por cada clase diamétrica presentes en cada tratamiento del experimento y luego se tumbaron (de acuerdo con el raleo) a ras del suelo. Para este caso se evaluaron aproximadamente dos árboles por repetición, considerando que en algunas repeticiones los individuos eliminados no reunían las características adecuadas para el análisis.

En la cara superior de cada sección de fuste, se realizó el conteo de anillos a lo largo de dos diámetros perpendiculares, este conteo se hizo en el campo inmediatamente después de seccionado el fuste con motosierra, debido a que en ese momento se observaban perfectamente bien los anillos de crecimiento. A cada sección se le tomó el diámetro con y sin corteza para la obtención de los correspondientes coeficientes (mórfico y de corteza). Asimismo con base en las mediciones que se efectuaron, se obtuvo el volumen real y las variables relacionadas con la edad (incrementos).

El volumen real se obtuvo para cada una de las secciones de los árboles evaluados mediante la fórmula de Smalian:

$$V = (AB + ab)/2 * L$$

En donde:

AB = Área basal en la parte más ancha de la sección

ab = Área basal en la parte más angosta de la sección

L = Longitud de la sección o troza

El volumen real se obtuvo para cada una de las secciones de los árboles evaluados mediante la fórmula de Smalian.

El incremento en cada variable se estimó dividiendo el valor de la variable de cada árbol dentro de la edad de la plantación.

La edad en altura se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$X = NAB - NAX$$

En donde:

NAB = Número de anillos en la base del árbol

NAX = Número de anillos a la altura X.

Para determinar el factor de corteza, se analizaron 34 árboles provenientes de la aplicación de los diferentes tratamientos de raleo, los cuales fueron seccionados a 1.3 m y luego a 1.0 m hasta el largo total del fuste limpio, luego les fueron tomados datos de DAP, grosor de corteza a cada una de las secciones en que fue dividido el árbol.

$$k = (DAP_{cc} * DAP_{sc}) / (DAP_{cc})^2$$

Para la estimación del factor de forma, se analizaron los mismos árboles que para el factor de corteza seccionándolos y analizándolos de igual forma. Con los datos de diámetro y altura, se obtuvo el volumen real de cada árbol y luego mediante la relación entre éste y el volumen de un cilindro regular a partir del DAP (1.3 m), se obtuvo el factor de forma.

$$ff = \text{Vol. real del árbol} / \text{Vol. de un cilindro}$$

DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DEL MEDIO FÍSICO. La determinación de los factores del medio físico, especialmente el medio edáfico, se hizo mediante la lectura de los perfiles del suelo, para ello se abrió una calicata en cada uno de los sitios en donde se levantaron los diferentes bloques, luego se tomaron muestras las cuales fueron analizadas en el laboratorio de suelos del ICTA.

La altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva a la clase de sitio.

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE SITIO. Para ello existen diferentes metodologías entre ellas la más frecuentemente utilizada y la cual se utilizó en esta investigación es el uso de la altura dominante como indicador del sitio. La altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva a la clase de sitio.

La altura dominante es la altura promedio de los 100 árboles más gruesos/ha, llamada también "altura tope".

Para la determinación del IS se hizo mediante la función de índice de sitio propuesta por Schumacher [1965], que es la siguiente:

$$\text{Ln Ho.} = a + b/A^k$$

En donde:

Ho = Altura de los árboles dominantes en una parcela.

a, b y k = parámetros a ser ajustados.

A = Edad del rodal.

Los datos agrupados de los diferentes análisis fustales, se procesaron de acuerdo con la metodología propuesta por Alder [1980], mediante el uso del paquete Sindex, del programa Palmer.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Situación de las parcelas antes y después de la aplicación de los tratamientos

Previo a la aplicación de los tratamientos, se llevó a cabo la medición de los individuos presentes en cada uno de los tratamientos, siendo ésta en altura y diámetro, con el objeto de determinar las variables dasométricas de la plantación en cada uno de los anteriores tratamientos. El índice de raleo que se utilizó en los tratamientos considera precisamente el espacio necesario para crecer, dependiendo de la

altura de los árboles y su distanciamiento medio. De esta forma, diferencias iniciales entre estas variables en los bloques, fueron compensadas con la aplicación del índice utilizado.

La densidad media oscila entre 2,083 y 2,153 árboles por hectárea, que para una edad de seis años ya es una densidad considerable. Por su parte el área basal oscila entre 22.3 y 35.3 m² la cual es casi seguro que sea la máxima capacidad de carga de área basal para los sitios evaluados.

El índice de Hart promedio oscila entre 17 y 20% por debajo del S% recomendado para la especie. En otras palabras, para esas condiciones y de acuerdo al índice de Hart ya se hace necesario un raleo para favorecer el crecimiento en área basal de los individuos mejor conformados.

Determinación de la intensidad de raleo por medio del índice de Hart-Becking.

En el cuadro 3 puede observarse que para el mismo tratamiento existe diferente número de árboles a

Cuadro 3
ÁRBOLES RALEADOS Y ALTURA DE PODA SEGÚN TRATAMIENTO

Bloq. Trat.	I		II		III		IV	
	No. arb. Ral	h poda	No. arb. Ral	h Poda	No. Arb. Ral	h Poda	No. Arb. Ral	h Poda
S%A,S.P.	0	SP	0	SP	0	SP	0	SP
S%22,S.P.	12	SP	5	SP	9	SP	3	SP
S%28,S.P.	15	SP	13	SP	13	SP	14	SP
S%A,1/3h	0	1/3	0	1/3	0	1/3	0	1/3
S%22,1/3h	9	1/3	15	1/3	14	1/3	2	1/3
S%28,1/3h	22	1/3	25	1/3	17	1/3	12	1/3
S%A,1/2h	0	1/2	0	1/2	0	1/2	0	1/2
S%22,1/2h	13	1/2	4	1/2	7	1/2	7	1/2
S%28,1/2h	22	1/2	21	1/2	12	1/2	21	1/2

ralear en cada uno de los bloques, lo cual obedece a la composición en términos de frecuencia (número de árboles) de cada uno de los sitios en donde fueron levantados los diferentes bloques.

Análisis de los resultados provenientes de las mediciones posteriores a la aplicación de los tratamientos

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CAMPO PARA LA VARIABLE DAP PROMEDIO, OBTENIDOS DURANTE LAS CUATRO MEDICIONES. En el cuadro 4 puede observarse que los tratamientos con raleo presentan las mejores tasas de crecimiento con respecto a los que no involucran raleo, así también se observa que conforme se incluyen los tratamientos de poda, las tasas de crecimiento se reducen de tal forma que llegan a presentar mejores tasas de crecimientos aquellos cuyas intensidades de poda son bajas. Aunque dicha relación no es constante, es probable que la poda haya causado cierta reducción en la tasa de crecimiento.

Cuadro 4
MEDIAS GENERALES DE TRATAMIENTOS PARA DAP

Tratam./ Medición	1a. (0 meses)	2a. (4 meses)	3a. (8 meses)	4a. (12 meses)	% Crecim.
S%A,S.P.	12.39	12.73	12.82	13.02	5
S%22,S.P.	13.28	13.62	13.90	14.09	6
S%28,S.P.	12.77	14.07	14.15	14.25	11
S%A,1/3h	12.85	13.19	13.33	13.76	7
S%22,1/3h	13.17	13.70	13.86	14.12	7
S%28,1/3h	14.43	14.99	15.21	15.66	8
S%A,1/2h	12.06	12.40	12.73	13.03	8
S%22,1/2h	13.27	13.94	14.22	14.27	7
S%28,1/2h	14.14	14.57	14.74	14.96	6

El análisis de varianza realizado indica que para la variable raleos existen diferencias significativas para la 2a., 3a. y 4a. mediciones. No existen diferencias significativas para podas y para la interacción.

La prueba de Tukey realizada indica que en la segunda y tercera mediciones las intensidades S% 22 y S% 28 son iguales estadísticamente y diferentes de la intensidad S% A, las mejores medias las presenta la intensidad S% 28. En la cuarta medición esta relación se pierde ya que la intensidad S% 28 es diferente de las intensidades S% A y S% 22 las cuales son iguales estadísticamente, la mejor media la presenta la intensidad S% 28. Probablemente para DAP, la intensidad S%22 no sea significativa y ésta es igualada por el testigo, manifestando los mejores resultados la intensidad S%28.

El análisis de covarianza realizado indica que estadísticamente la covariable área basal inicial no ejerce ningún efecto sobre los tratamientos que involucren DAP, debido a que las diferencias iniciales de ésta, fueron compensadas con los raleos.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CAMPO PARA LA VARIABLE ALTURA PROMEDIO, CORRESPONDIENTES A LAS CUATRO MEDICIONES. De acuerdo a los porcentajes del cuadro 5 puede observarse que de los tratamientos sin poda la mejor tasa de crecimiento la presenta el tratamiento sin raleo, para tratamientos con 1/3 de la altura de poda la mejor tasa de crecimiento la presenta el tratamiento con S%22 de índice de raleo y para los tratamientos con %Z de la altura de poda la mejor tasa la presenta el tratamiento sin raleo. Probablemente para la variable altura, a mayor intensidad de raleo se manifiesta el efecto de los tratamientos de poda en cuanto a

reducción de las tasas de crecimiento; aunque dicho comportamiento no es constante en función de la intensidad de poda, se aprecia que ésta ejerce cierto efecto en cuanto al crecimiento en altura.

El análisis de varianza realizado indica que existen diferencias significativas para raleo en las cuatro mediciones efectuadas. En cuanto a poda únicamente existen diferencias significativas durante la 2a., 3a. y 4a. mediciones. No existe interacción en ninguna de las mediciones efectuadas.

La prueba de Tukey realizada indica que en la primera medición, las intensidades S% 22 y S% 28 son iguales estadísticamente, pero diferentes de la intensidad S% A, esta situación se repite durante la cuarta medición y en ambas la mejor media la presenta la intensidad S% 28. En la segunda y tercera mediciones, las intensidades S% A y S% 22 son iguales estadísticamente y diferentes de la intensidad S% 28 la cual presenta la mejor media. Es muy probable que no se haya partido de valores similares de altura para cada uno de los tratamientos, sin embargo con la aplicación de los tratamientos dichas diferencias

Cuadro 5
MEDIAS GENERALES DE TRATAMIENTOS PARA ALTURA

Tratam./ Medición	1a. (0 meses)	2a. (4 meses)	3a. (8 meses)	4a. (12 meses)	% Crecim.
S%A,S.P.	7.95	8.32	8.58	8.77	10
S%22,S.P.	8.62	8.64	8.74	9.11	5
S%28,S.P.	8.83	9.05	9.13	9.16	4
S%A,1/3h	8.36	8.45	8.68	8.90	6
S%22,1/3h	8.71	8.98	9.34	10.00	15
S%28,1/3h	9.75	9.84	10.02	10.20	5
S%A,1/2h	7.86	8.33	9.01	9.67	23
S%22,1/2h	8.92	9.12	9.14	9.46	6
S%28,1/2h	9.43	10.11	10.34	10.57	12

Es muy probable que para altura, intensidades bajas de raleo necesiten mayor tiempo para manifestar su efecto.

fueron compensadas, lo cual se manifiesta en la segunda y tercera mediciones en donde la intensidad S%22 es igualada por el testigo; sin embargo a 12 meses el efecto de esta se manifiesta igualando a la intensidad S%28. Es muy probable que para altura, intensidades bajas de raleo necesiten mayor tiempo para manifestar su efecto.

De acuerdo con el análisis anterior puede decirse que para altura, la intensidad de raleo no es relativamente significativa ya que para este caso raleos a intensidades S% 22 y 28 producen efectos similares en el crecimiento, debido a que la altura es menos susceptible a reducir su crecimiento por efectos de competencia por densidad.

La prueba de Tukey realizada indica que para tratamientos de poda, no existen diferencias en la primera medición. Durante la 2a., 3a. y 4a. mediciones, se aprecia que las intensidades 1/3 h y %Z h son iguales estadísticamente y diferentes de la intensidad S.P., presentando la mejor media la intensidad 1/2 h. Es muy probable que la altura de poda no ejerza ningún efecto negativo en el crecimiento.

El análisis de covarianza realizado indica que la covariable área basal inicial no ejerce estadísticamente ningún efecto sobre el resto de tratamientos que involucran altura, ya que diferencias iniciales de ésta fueron compensadas con la aplicación de los raleos. Por otro lado el análisis de covarianza indica que existe interacción para el tratamiento S%28,1/2h, por lo que presenta la mejor media y que el 76% de la variabilidad del área basal inicial con respecto a la altura es explicada por ésta.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CAMPO PARA LA VARIABLE ÁREA BASAL EN M²/ÁRBOL, CORRES-

PONDIENTE A LAS CUATRO MEDICIONES. La variable área basal fue analizada en forma individual, con el objeto de conocer el efecto de los diferentes tratamientos, debido a que el área basal es una medida de la productividad de un sitio y generalmente es expresada por unidad de área.

En el cuadro 6 se aprecia que las mejores tasas de crecimiento las presentan los tratamientos que involucran la mayor intensidad de raleo y de poda.

Aunque este comportamiento no es uniforme para todos los tratamientos, es importante considerar que el raleo estimula el crecimiento individual en términos de área basal. A pesar de que con la aplicación de los tratamientos se extrae área basal, la remanente se distribuye entre un número menor de árboles mejor conformados, lo cual es beneficioso en términos de productividad por unidad de área.

El análisis de varianza indica que únicamente existen diferencias significativas para bloques y tratamientos de raleo en las cuatro mediciones. Los tratamientos de raleo fueron sometidos a una prueba de Tukey, el resumen se presenta a continuación:

Cuadro 6
MEDIAS GENERALES DE ÁREA BASAL (M²/PARCELA)

Tratam./ Medición	1a. (0 meses)	2a. (4 meses)	3a. (8 meses)	4a. (12 meses)	% Crecim.
S%A,S.P.	0.0121	0.0123	0.0126	0.0128	6
S%22,S.P.	0.0121	0.0150	0.0150	0.0161	33
S%28,S.P.	0.0117	0.0151	0.0157	0.0157	34
S%A,1/3h	0.0131	0.0136	0.0140	0.0140	7
S%22,1/3h	0.0118	0.0140	0.0142	0.0147	25
S%28,1/3h	0.0135	0.0169	0.0169	0.0177	31
S%A,1/2h	0.0116	0.0124	0.0127	0.0130	12
S%22,1/2h	0.0125	0.0144	0.0148	0.0148	28
S%28,1/2h	0.0125	0.0160	0.0164	0.0171	37

La prueba de Tukey indica que los tratamientos son estadísticamente diferentes

La prueba de Tukey indica que los tratamientos son estadísticamente diferentes, lo cual indica que no se partió de valores iguales de área basal, a 8 meses de aplicados los tratamientos las intensidades S% A y 22, son estadísticamente iguales y diferentes de la intensidad S% 28 la cual presenta la mejor media y a 4 y 12 meses las intensidades S% 22 y 28 son estadísticamente iguales y diferentes de S% A, presentando la mejor media la intensidad S% 28. Como puede apreciarse la aplicación de tratamientos de raleo, compensa las diferencias iniciales por lo que los tratamientos con raleo son diferentes del testigo debido a que se extrajo área basal; posteriormente a 8 meses el testigo iguala al tratamiento S%22 y finalmente a 12 meses dicho tratamiento supera al testigo e iguala a la intensidad S%28, 1, cual es muy probable se deba a que con los tratamientos se estimula la tasa de crecimiento en área basal.

El análisis de covarianza indica que la covariable área basal inicial no ejerce ningún efecto sobre el resto de tratamientos de área basal, debido a que éstos fueron compensados con la aplicación de los raleos. Por otro lado el análisis de covarianza indica que el 70% de la variabilidad del área basal inicial sobre el resto de tratamientos que involucran área basal, es explicada por ésta y aunque existen diferencias de dichos valores para un mismo tratamiento, éstas no son significativas como para afectar los resultados posteriores a la aplicación de los tratamientos, siendo ésta además una variable sujeta a medición.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CAMPO CORRESPONDIENTES A VOLUMEN EN M³/ÁRBOL, DURANTE LAS CUATRO MEDICIONES. En el cuadro 7 se presentan las medias por tratamiento y por me-

dición. De igual manera que la variable área basal, el volumen fue analizado en forma individual con el objeto de determinar el efecto de los tratamientos ya que el volumen también implica una medida de la productividad de los sitios.

En el cuadro 7 puede apreciarse que los tratamientos con raleo presentan las mejores tasas de crecimiento las cuales incrementan conforme se involucran los tratamientos de poda respectivamente. Aunque dicha relación no es constante para cada uno de los tratamientos, es muy probable que dicho comportamiento se deba a que los tratamientos estimulan en cierto grado el crecimiento tanto en altura como en Dap cuyas variables relacionan la productividad en área basal y volumen.

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas para bloques y para tratamientos de raleos durante las cuatro mediciones y para tratamientos poda únicamente en la última medición. Es bastante probable que el efecto de las podas se manifieste en forma más lenta para volumen

Cuadro 7
MEDIAS GENERALES DE VOLUMEN

Tratam./ Medición	1a. (0 meses)	2a. (4 meses)	3a. (8 meses)	4a. (12 meses)	% Crecim.
S%A,S.P.	0.0516	0.0544	0.0580	0.0600	16
S%22,S.P.	0.0514	0.0688	0.0691	0.0705	37
S%28,S.P.	0.0526	0.0679	0.0729	0.0771	47
S%A,1/3h	0.0580	0.0623	0.0647	0.0663	14
S%22,1/3h	0.0517	0.0658	0.0705	0.0768	48
S%28,1/3h	0.0664	0.0877	0.0915	0.0954	44
S%A,1/2h	0.0548	0.0553	0.0597	0.0727	33
S%22,1/2h	0.0564	0.0665	0.0726	0.0726	29
S%28,1/2h	0.0592	0.0843	0.0900	0.0957	62

que para el resto de las variables, debido a que la poda no incide negativamente en el crecimiento de la plantación.

Los tratamientos de raleo, y poda (durante la última medición) fueron sometidos a una prueba de Tukey, cuyo resumen se presenta a continuación:

La prueba de Tukey indica que para raleos durante la primera medición, las intensidades S% 22 y 28, son estadísticamente iguales y diferentes a S% A, la mejor media la presenta S% 28. Para la segunda, tercera y cuarta mediciones la intensidad S% 28 es estadísticamente diferente de las intensidades S% A y 22, presentando la mejor media la primera. De lo anterior podemos decir que con la aplicación de los tratamientos las intensidades S% 22 y 28 difieren del testigo debido a que se extrajo volumen, sin embargo la intensidad S%22 es igualada por el testigo lo cual es probable que se deba a que para la variable volumen la intensidad S%22 no es significativa.

Para poda, el ANDEVA indica que la intensidad 1/2 de altura de la copa viva es estadísticamente diferente a las intensidades SP y 1/3 de altura de la copa viva, presentando la mejor media la intensidad 1/2.

El análisis de covarianza indica que el efecto de la covariable área basal inicial no ejerce ninguna influencia sobre tratamientos de volumen, debido a que estas diferencias fueron compensadas con la aplicación de raleos. Por otro lado el análisis de covarianza indica que el 73% de la variabilidad del área basal inicial con respecto a volumen es explicada por ésta.

El análisis de covarianza indica que el efecto de la covariable área basal inicial no ejerce ninguna influencia sobre tratamientos de volumen.

Análisis fustal

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA. El factor de forma, se obtuvo de la media del correspondiente factor de cada árbol, siendo el valor para una la edad de 6 años, el siguiente:

$$ff = 0.53$$

FACTOR DE CORTEZA. El factor de corteza es la media del correspondiente factor para cada árbol, cuyo valor a la edad de 6 años, es el siguiente:

$$fc = 0.84$$

Determinación de los factores del medio físico

Luego de leídos cada uno de los horizontes de cada calicata, se procedió a la toma de muestras, a las cuales se les realizaron análisis de fertilidad, mecánico (textura) y elementos menores. El cuadro 8 resume las características de cada sitio.

Cuadro 8
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO
EDÁFICO DE LA FINCA TOQUELÁ, LIVINGSTON, IZABAL

Calicata	Bloque	Sección	Horizonte	Prof. (cm)	Textura	pH
1	IV	7	AC	20	Arcillosa	4.0
1	IV	7	C	>20	Franca	4.0
2	III	6	AC	25	Arcillosa	4.2
2	III	6	C	>25	Arcillosa	4.0
3	II	5	AC	10	Arcillosa	4.0
3	II	5	C	>10	Franca	3.8
4	I	2	AC	15	Arcillosa	4.0
4	I	2	C	>15	Arcillosa	4.0

En el cuadro 8 se aprecia que el comportamiento en cuanto a distribución y presencia de horizontes, se mantiene en los cuatro sitios, de igual forma se comporta la textura y pH, existiendo únicamente diferencias en cuanto a profundidad se refiere. En cuanto a pH, los suelos bajo plantación de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis, de la Finca Toquelá, se clasifican como suelos muy ácidos. En cuanto al análisis de fertilidad, puede observarse que los contenidos de Fe, se encuentran en forma aceptable ya que $>80\%$ se considera como bueno, en cuanto a Cu y Zn, estos elementos se encuentran en niveles aceptables ya que < 1 ppm se considera limitante, en cuanto a Mn, éste se encuentra en niveles aceptables únicamente para la sección 7 en la cual se localizó el bloque IV y para el resto, se encuentra en forma limitante en vista de que $>100\%$ es aceptable. En cuanto a P, éste se encuentra en cantidades limitantes ya que <7 ppm se considera limitante; el elemento K se encuentra en cantidades aceptables a excepción de el horizonte C en la sección 7 y el horizonte AC en la sección 5 que se encuentran bajo y muy alto respectivamente en cuanto a Ca y Mg, se encuentran en niveles no limitantes.

Calidad de sitio

Para la determinación de la calidad de sitio, se llevó a cabo a través de la estimación de índices de sitio para lo cual se tomaron lecturas de edad-altura de 36 árboles seccionados para tal efecto, para este caso se analizaron 36 árboles dominantes, provenientes de la aplicación de los raleos los cuales fueron seccionados para la toma de datos de edad-altura para luego analizarlos mediante regresión jerárquica para

la obtención de los parámetros que definen la construcción de las curvas respectivas.

De acuerdo con el diagrama de dispersión de datos, el comportamiento en cuanto a crecimiento en altura para cada sitio es irregular, apreciándose además que existe una diferencia aproximada en altura dominante entre el mayor y menor sitio de 3 metros, por lo tanto únicamente se construyeron 3 curvas de índice de sitio con una amplitud de 1 metro.

El modelo utilizado fue el de Shumacher, el cual se denota de la siguiente forma:

$$\text{LnH} = a + b/A^k$$

Luego de obtenidos los estimadores por regresión jerárquica, se procedió a despejar la fórmula, con el objeto de encontrar los valores de pendiente e intercepto común, quedando de la siguiente forma:

$$a = \text{LnH} - b/A^k$$

Con el objetivo de determinar los índices de sitio a la edad base de 5 años, se sustituyó la ecuación anterior en la ecuación original de Schumacher, quedando de la siguiente forma:

$$\text{Ln}(\text{IS}) = \text{Ln}(\text{hdom}) + b(1/\text{Ab}^k - 1/A^k)$$

Con la función anterior, se procedió a calcular los índices de sitio en cada bloque, a la edad base de 5 años, edad alcanzada por la mayoría de los individuos en la plantación. El índice de sitio a esa edad base, estimado con la ecuación varió desde 8.46 hasta 11.23 m, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 1.41 hasta 1.87 m/año.

Con la ecuación de Schumacher ajustada se procedió a elaborar la figura 3, la cual representa la tendencia de la altura dominante con respecto a la edad.

El modelo utilizado para la construcción de curvas de índice de sitio fue el de Schumacher, ya que es el que mejor ajusta la dispersión de datos edad-altura.

Como se indicó anteriormente, el modelo utilizado para la construcción de curvas de índice de sitio fue el de Schumacher, ya que es el que mejor ajusta la dispersión de datos edad-altura.

Los valores o estimadores del modelo de Schumacher fueron obtenidos por medio de regresión jerárquica a través del programa Sindex, en virtud de que el modelo es no lineal y no permite su linearización por medio del método de mínimos cuadrados.

Los valores de los coeficientes son:

Coefficiente de pendiente común B = -12.222

Coefficiente de intercepto común A = 12.5038

Coefficiente K = 0.0997237

Con el objeto de obtener los interceptos de los índices de sitio de 10.3 m, 9.3 m y 8.3 m (I, III y III respectivamente), se despeja el coeficiente a de la ecuación de Schumacher la cual queda de la siguiente forma:

$$a = \ln H - b/A^k$$

A través de esta relación se obtuvieron los valores de los interceptos siendo los siguientes:

I.S.	Intercepto común	Pendiente común
10.3	-11.9	12.7
9.3	-12.1	12.6
8.3	-12.2	12.5

El modelo matemático para una curva de índice de sitio a la edad base de 5 años y altura 10.3, es el siguiente:

$$\ln H = 12.7 - 12.222/A^{0.0997237}$$

CONSTRUCCIÓN DE LA FAMILIA DE CURVAS. Para la construcción de la familia de curvas se consideró una edad base de 5 años, categorizándolas de menor a mayor calidad con números romanos de la siguiente manera:

Calidad I= 10.3 m

Calidad II = 9.3 m

Calidad III = 8.3 m.

Como puede apreciarse en la figura 4, únicamente se presentan 3 curvas de índice de sitio, lo cual obedece a que la amplitud es de 1m debido a que la diferencia entre índices de sitio es de 3 metros con lo cual construir más de tres curvas resulta poco práctico ya que las diferencias entre uno y otro no son significativas.

VALIDACIÓN DEL MODELO. Para determinar si el modelo es adecuado para la construcción de curvas de índice de sitio, es necesario someterlo a un análisis estadístico, el cual se realizó con la ayuda del paquete SAS, los resultados son los siguientes:

Modelo 1

Variable dependiente: LH

ANÁLISIS DE VARIANZA

F.V.	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Prob>F
Modelo	1	75.33220	75.33220	927.874	0.0001
Error	274	22.24550	0.08119		
Total	275	97.57770			

Sx	0.28494	R ²	0.7720
Media gral.	1.40411	R ² ajustado	0.7712
C.V.	20.29292		

PARÁMETROS ESTIMADOS

Variable	GI	Valor Estimado	Parámetro del Error	Parámetro Estandar=0	T paraH0: Prob> T
Intercepto	1	4.075149	0.08934866	45.610	0.0001
IE	1	-3.487788	0.11450003	-30.461	0.0001

De acuerdo con el análisis de varianza, puede observarse que el modelo es adecuado para la estimación de curvas de índice de sitio, debido a que el 77% de la variabilidad de la altura con respecto a la edad es explicada por el modelo, mientras que el 23% no lo explica. Así también puede observarse que el coeficiente de variación es adecuado considerando la variabilidad que existe en este tipo de análisis la cual es inherente a la variabilidad de la plantación.

VII. CONCLUSIONES

- 1) La aplicación de tratamientos de raleo, estimula el crecimiento en diámetro, por lo que para DAP la intensidad de raleo S% 28 presentó los mejores resultados, con las mejores medias a la edad de 7 años con un 8% de crecimiento en relación con el testigo.
- 2) El raleo ejerce un efecto en el crecimiento, por lo que para altura, la intensidad de raleo S% 28 presentó los mejores resultados, con las mejores medias; aunque la poda no influye significativamente en el crecimiento, las intensidades de poda 1/3 h y 1/2 h de copa viva presentaron similares resultados, las mejores medias las presentó la intensidad 1/2 h de copa viva. El análisis de covarianza indica que el mejor tratamiento es S%28,1/2h.

- 3) Los tratamientos de raleo influyen en forma positiva en el crecimiento, por lo que para volumen los mejores resultados los presentó la intensidad de raleo S% 28, con las mejores medias. En volumen a pesar de que la poda no influye significativamente en el crecimiento, la intensidad 1/2 h de copa viva presentó las mejores medias.
- 4) La aplicación de tratamientos de raleo estimula el crecimiento de la plantación, para área basal la mejor intensidad de raleo es a S%28, la cual presenta la mejor media.
- 5) La covariable área basal inicial no ejerce ningún efecto sobre el resto de tratamientos, debido a que diferencias iniciales de ésta fueron compensadas con la aplicación de raleo.
- 6) El factor de forma para *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis a la edad de 6 años es de 0.53.
- 7) El factor de corteza para *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis a la edad de 6 años es de 0.84.

IX. RECOMENDACIONES

- 1) Para plantaciones con condiciones similares al área en donde se realizó el experimento, se recomienda realizar raleos con intensidades iguales a S%28.
- 2) A pesar de que la poda no ejerce una influencia significativa en el crecimiento, se recomienda realizar podas a mitad de la altura de copa viva, lo cual permite la producción de madera libre de nudos. En la medida de lo posible garantizar

A pesar de que la poda no ejerce una influencia significativa en el crecimiento, se recomienda realizar podas a mitad de la altura de copa viva.

- que las podas dejen libre de nudos longitudes similares a las dimensiones de troza comerciales.
- 3) Realizar ensayos considerando períodos de tiempo más prolongados con intensidades de raleo intermedias entre S%22 y S%28 con el objeto de evaluar su comportamiento hasta la edad de turno.
 - 4) Monitorear los tratamientos con intensidades de raleo de S%28 con el objeto de determinar la susceptibilidad de los árboles remanentes a daños por vientos, plagas o enfermedades.
 - 5) Considerar los factores de forma y de corteza para la estimación del volumen real con y sin corteza. Estos factores no deben ser utilizados a lo largo de todo el crecimiento de la plantación, ya que éstos varían conforme crece el árbol.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con especial referencia a los trópicos. Roma, Italia, FAO. Estudios FAO Montes 22/2. v2. 198 p.
- BAKER, F.S. 1950. Principles of silviculture. New York, E.E.U.U., McGraw Hill. 415 p.
- BARRIENTOS GARCÍA, M. 1981. Evaluación de cuatro métodos para la determinación del tamaño y forma óptimos para experimentación agrícola. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 80 p.
- BENÍTEZ RAMOS, R.F.; MONTESINOS LAGOS, J.L. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras. Siguatepeque, Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. p. 127-128.

- CAMACHO, M.P. 1980. Técnicas de raleo forestal. Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Departamento de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación Forestal. 100 p.
- CRONQUIST, A. 1981. Introducción a la botánica. México. Continental. 848 p.
- DANIEL, T.; HELMS, J.; BAKER, F. 1982. Principios de silvicultura. México, McGraw Hill. 492 p.
- FAO (México). 1978. Producción forestal. México. 126 p.
- GALLOWAY, G. 1993. Dinámica de rodales; curso regional de transferencia de tecnología en silvicultura de árboles de uso múltiple. San Pedro Sula, Honduras, CATIE/MADELEÑA. 17 p.
- . 1993. Manejo forestal; curso regional de transferencia de tecnología en silvicultura de árboles de uso múltiple. San Pedro Sula, Honduras, CATIE/MADELEÑA. 21 p.
- GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1980. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja topográfica Toquelá no. 236311. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
- GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. 1988. Atlas climático de la república de Guatemala. Guatemala. 21 p.
- GUATEMALA PLAN DE ACCIÓN FORESTAL PARA GUATEMALA. 1980. Atlas forestal; mapa de zonas de vida de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000.
- KLEPAC, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2 ed. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 365 p.

- NÚÑEZ SARAVIA, O.M. 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoii* H. E. More, en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 130 p.
- ORTIZ FUENTES, A. 1991. Manual de raleos. Tegucigalpa, Honduras, Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal, Departamento Forestal. 25 p.
- ROJAS, F.; ORTIZ, E. 1981. Pino Caribe *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis (Barret y Golfari); especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Guía silvicultural no. 8. p. 3 - 14.
- VEILLON, J. 1965. Curso de ordenación forestal. Turrialba, Costa Rica, IICA, Programa Forestal. 85 p.

**ÍNDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA
CUPRESSUS LUSITANICA MILLER, *PINUS*
CARIBAEA MORELET VAR. *HONDURENSIS*
BARRET & GOLFARI, *PINUS MAXIMINOII* H.
E. MOORE Y *PINUS STROBUS* L. VAR.
CHIAPENSIS MARTÍNEZ, ESTABLECIDAS
EN PLANTACIÓN EN EL PROYECTO DE
REFORESTACIÓN SAQUICHAJ,
COBÁN, ALTA VERAPAZ**

**Julio Rolando Tzirin Batzin
Luis Fernando Ortiz Castillo (QEPD)
Mario Alberto Méndez Muñoz**



Resumen

En este artículo se recogen los resultados de la investigación dirigida a estimar, con carácter preliminar, la calidad de sitio de las plantaciones de *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.

El carácter preliminar se debe a que la plantación en general aún no alcanza la edad de turno. También se obtuvo información sobre la correlación existente entre la calidad de sitio con algunas características fisiográficas y edáficas del área de estudio. Se complementó el análisis de correlación con el desarrollo de algunos modelos de regresión. Estos modelos son útiles para estimar el índice de sitio de las especies bajo estudio en áreas de interés forestal dentro de la finca.

INTRODUCCIÓN

La finca Saquichaj se encuentra en el municipio de Cobán, Alta Verapaz. En esta finca se inició en 1977 el proyecto de reforestación denominado "Saquichaj". El proyecto se ejecutó bajo el Programa de Incentivos Fiscales establecidos en la anterior ley forestal de Guatemala [Guatemala. INAFOR, 1974].

La finca Saquichaj posee una extensión de 1,897.08 hectáreas, de las cuales 1,114.83 fueron abarcadas por el proyecto de reforestación, equivalente al 58.77% del área total. El resto de la finca (694.34 hectáreas) aún posee vegetación natural primaria.

En la actualidad el área plantada se ha reducido en un 46.28% del área que inicialmente abarcó el proyecto [Tzirin, 1995], debido a la falta de un manejo silvícola adecuado. Esta situación se debió principalmente a ciertas situaciones que desestimularon la inversión en el proyecto, por ejemplo, la falta de mercado para productos intermedios.

Para el "rescate" y desarrollo de la masa forestal existente es importante obtener la información básica que permita elaborar un Plan General de Manejo, dentro del cual se formulen las actividades silvícolas pertinentes. La calidad de sitio es parte de esa información.

El presente estudio se realizó con el fin de estimar preliminarmente las calidades de sitio para las especies establecidas en el proyecto, mediante índices de sitio. Este carácter preliminar se debe a que la plantación en general aún no alcanza la edad de turno. También se obtuvo información sobre la correlación existente entre la calidad de sitio con algunas características fisiográficas y edáficas del

El presente estudio se realizó con el fin de estimar preliminarmente las calidades de sitio para las especies establecidas en el proyecto, mediante índices de sitio.

área de estudio. Se complementó el análisis de correlación con el desarrollo de algunos modelos de regresión. Estos modelos son útiles para estimar el índice de sitio de las especies bajo estudio en áreas de interés forestal dentro de la finca.

I. OBJETIVOS

GENERAL.

- Estimar preliminarmente la calidad de sitio de las plantaciones de *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Pinus strobus* L. var. *chiapensis* Martínez, establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz.

ESPECÍFICOS.

- Determinar los índices de sitio preliminares para las plantaciones forestales establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj.
- Correlacionar las calidades de sitio de las plantaciones con algunos factores fisiográficos y edáficos.

II. MÉTODOS Y RECURSOS

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO. La finca Saquichaj se ubica en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, dentro de las coordenadas 15°31'28" y

15°35'41" Latitud Norte y entre 90°24'18" y 90°27'39" Longitud Oeste.

CLIMA. La precipitación media anual es de 2,074.90 milímetros, distribuida de mayo a diciembre, con una precipitación media mensual mayor a 120 milímetros. La temperatura media anual es de 17.4 °C, con una media máxima anual de 24.5 °C y una media mínima anual de 13 °C. La humedad relativa varía de 90% en los meses de octubre y diciembre a 85% en los meses de marzo y mayo. De la Cruz [1982] indica que el área de estudio se encuentra en la zona de vida Bosque muy Húmedo Subtropical (frío).

GEOLOGÍA, FISIOGRAFÍA, TOPOGRAFÍA Y SUELOS. Las estructuras geológicas presentes en la finca, según el mapa geológico de la República de Guatemala [Guatemala. IGN, 1988], pertenecen al cretácico Albiano-Cenomaniano, formados por rocas de caliza.

El mapa de regiones fisiográficas de la República de Guatemala [Guatemala. IGN, 1982] indica que la finca se encuentra comprendida dentro de la región de las tierras altas sedimentarias.

El mapa de regiones fisiográficas de la República de Guatemala [Guatemala. IGN, 1982] indica que la finca se encuentra comprendida dentro de la región de las tierras altas sedimentarias, donde se presentan una gran variedad de formas, desde colinas paralelas, topografía kárstica anticlinales y sinclinales sumergidos, así como cavernas de roca caliza.

El área donde se ubica el proyecto de reforestación Saquichaj, según el mapa topográfico de la República de Guatemala [Guatemala. IGN, 1982] posee una topografía ondulada a quebrada y de quebrada a fuertemente quebrada. Las pendientes van de 10% a 70% y de 60% a 100%. Las elevaciones varían de 560 a 1,500 metros sobre el nivel del mar.

Simmons, Tarano y Pinto [1959] indican que los suelos del área de estudio pertenecen a la serie

Tamahú, que se caracterizan por ser poco profundos, de bien a excesivamente drenados, desarrollados sobre caliza en un clima húmedo o húmedo-seco.

HIDROGRAFÍA. El sistema hidrográfico de la finca está constituido principalmente por una serie de corrientes efímeras que desembocan en sumideros o "siguanes" y en el río Sachichá. Según el mapa de cuencas de la República de Guatemala [Guatemala. IGN, 1982], la finca se ubica dentro de la microcuenca del río Sachichá, tributario del río Chixoy que a su vez drena a la cuenca del río Usumacinta dentro de la vertiente del golfo de México.

DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. Los rodales de *Cupressus lusitanica*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoii* y *Pinus strobus* var. *chiapensis* están distribuidos desde 600 hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, abarcando un área aproximada de 598.89 hectáreas [Tzirin, 1995].

SELECCIÓN DE LA MUESTRA. Para obtener la información se establecieron parcelas temporales de medición, distribuidas en rangos altitudinales de 100 metros de amplitud. Los sitios de medición se seleccionaron tomando en cuenta el área y la representatividad de cada rodal dentro de los rangos de altitud. Se establecieron como mínimo 2 parcelas por rango altitudinal, con un total de 54 parcelas.

FORMA Y TAMAÑO DE LAS PARCELAS TEMPORALES DE MEDICIÓN. Se utilizaron parcelas temporales de 20 m X 25 m. La dimensión de las parcelas se determinó en un área cercana a la finca Saquichaj, en un estudio anterior [Barrios *et al.*, 1993].

Para obtener la información se establecieron parcelas temporales de medición, distribuidas en rangos altitudinales de 100 metros de amplitud.

MEDICIÓN DE VARIABLES

- a) **Diámetros.** A todos los árboles dentro de las parcelas se les tomó el diámetro a la altura del pecho (dap) empleando una forcípula.
- b) **Altura dominante.** Se le tomó la altura total a los 5 árboles más gruesos por parcela, tomando en cuenta el concepto de altura dominante. Las alturas se midieron utilizando un hipsómetro.
- c) **Muestreo de suelos.** El muestreo de suelos se realizó después de haber determinado las calidades de sitio para cada especie. Se tomaron como mínimo dos muestras por calidad de sitio.
- d) **Características físicas y fisiográficas**
 - Profundidad del suelo: para obtener la información de la profundidad del suelo, se estableció un límite de hasta 75 centímetros, ya que hasta esta profundidad se facilitaba obtener la información con la herramienta disponible en el proyecto
 - Para la posición topográfica se utilizaron cuatro categorías: cima, pendiente superior, pendiente inferior y fondo plano.
 - Exposición: se tomó la exposición de las parcelas en grados.
 - Pendiente: en cada parcela se obtuvo la información de pendiente superior, pendiente inferior y la pendiente promedio.

ANÁLISIS FUSTAL. Para realizar el análisis fustal se tumbó un árbol en cada parcela. Los árboles tumbados tenían las características siguientes: dominantes o codominantes, sin señales de daño, fuste bien conformado y sin bifurcación. Dichos árboles se seccionaron a 1.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 15.0%, 20.0%, 30.0%, 40.0%, 50.0%, 60.0%, 70.0%, 80.0% y 90.0%

de la altura total. En dichas secciones se hicieron lecturas de anillos. Para ello se cortó una rodaja de 10 centímetros de espesor en cada sección del árbol. Para la especie *Cupressus lusitanica* se analizaron 13 árboles, en los rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* fueron analizados 15 árboles, para *Pinus maximinoii* se analizaron 16 árboles y para *Pinus strobus* var. *chiapensis* los árboles analizados fueron 10. La cantidad de árboles analizados dependió del número de rodales delimitados para cada especie.

Procesamiento de la información

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE SITIO. La información edad-altura dominante obtenida en el campo fue utilizada para ajustar el modelo de Schumacher para cada especie. Dicho modelo se expresa por la siguiente ecuación:

$$\text{Ln}(h_{\text{dom}}) = A + \frac{B}{\text{edad}^k}$$

donde

Ln = logaritmo natural

h_{dom} = altura dominante

A, B = coeficientes estimados por regresión lineal

k = coeficiente de ajuste

El ajuste del modelo de Schumacher se realizó por medio de la regresión jerárquica, a través del programa Sindex del sistema de paquetes estadísticos Palmer (PSP).

La información edad-altura dominante obtenida en el campo fue utilizada para ajustar el modelo de Schumacher para cada especie.

ELABORACIÓN DE CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO.

El índice de sitio para cada parcela se estimó utilizando la ecuación anamórfica de índice de sitio ajustado para cada especie bajo estudio. Una vez

asignado el índice de sitio para cada parcela, éstas se agruparon en clases de sitio. El número de clases de sitio para cada especie fue definido de acuerdo con la diferencia de los valores máximo y mínimo de índice de sitio determinados para cada especie. Definidas las clases de sitio se elaboraran las curvas de índice de sitio a la edad base seleccionada para cada especie.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO. Para determinar cuáles variables están más asociadas a las calidades de sitio definidas para cada especie, se realizó un análisis de correlación canónica. En la correlación canónica se realiza la transformación y estandarización de las variables independientes, con el objeto de poder analizar en conjunto estos datos y así determinar el grado de asociación entre variable dependiente y variables independientes. El análisis de correlación se desarrolló con ayuda del sistema SAS (Statistical Analysis System). Inicialmente se realizó el análisis de correlación entre las calidades de sitio y todos los factores de sitio. Luego, se realizaron los análisis de calidad de sitio vrs. factores fisiográficos y calidad de sitio vrs. factores fisicoquímicos del suelo para observar el comportamiento de las variables en grupos específicos.

Como complemento al análisis anteriormente descrito se procedió a seleccionar un modelo de regresión para cada especie, con el objetivo de que pueda ser utilizado para estimar la calidad de sitio en áreas similares a las abarcadas en este estudio. Para la selección de los modelos también se utilizó el sistema SAS

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cupressus lusitanica Miller

ÍNDICES DE SITIO. Para la estimación de los índices de sitio de la especie *Cupressus lusitanica* fueron analizados los datos de análisis fustal de 13 árboles provenientes de los diferentes rodales de dicha especie. Los coeficientes estimados para el modelo de Schumacher son los siguientes:

Coeficiente de intercepto común A= 8.26339

Coeficiente de pendiente común B= -12.424

Valor de k= 0.299815

$R^2 = 0.9453$

Sustituyendo los valores de los coeficientes en la ecuación de Schumacher, ésta queda de la siguiente manera:

$$\text{Ln}(h_{\text{dom}}) = 8.26339 - \frac{12.424}{E^{0.299815}}$$

donde:

Ln = Logaritmo natural

hdom = Altura dominante (metros)

E = Edad (años)

Con la ecuación de Schumacher ajustada, se desarrolló la ecuación que se presenta a continuación, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 17 años para cada parcela establecida.

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{\text{dom}}) - 12.424(Eb^{-0.299815} - E^{-0.299815})$$

donde:

Ln = Logaritmo natural

IS = Índice de sitio (metros)

hdom = Altura dominante (metros)

Eb = Edad base (17 años)

E = Edad del rodal (años)

Los índices de sitio estimados con la ecuación anterior variaron desde 14.69 a 21.74 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.86 a 1.28 metros/año. Ugalde [1993] menciona que en parcelas medidas en algunas localidades de Guatemala, los incrementos medios anuales en altura variaron de 0.7 a 1.4 metros para plantaciones de 12 a 15 años.

ELABORACIÓN DE CURVAS DE ÍNDICE. La figura 1 muestra las curvas de crecimiento en altura dominante para la especie *Cupressus lusitanica*.

En el análisis en conjunto de la información, las características edáficas obtuvieron los coeficientes de correlación más altos.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO. En el análisis en conjunto de la información, las características edáficas obtuvieron los coeficientes de correlación más altos. Luego se procedió al análisis de correlación de la calidad de sitio vrs. características fisiográficas y calidad de sitio vrs. características edáficas en forma separada. En el primer caso la correlación obtenida fue baja ($r=0.51$ y $\alpha=0.78$), en el segundo caso la correlación obtenida fue excelente ($r=1$ y $\alpha=0.00$). De estas características sobresalió el manganeso, con un coeficiente de correlación -0.94 lo que indica que a mejor calidad de sitio la tendencia es encontrar concentraciones relativamente bajas del elemento manganeso.

El modelo para determinar el índice de sitio para esta especie, es el que se presenta a continuación:

$$IS = 11.254208 + 1.018906Mg - 2.129232Zn$$

donde:

IS = Índice de sitio (metros)

Mg = Magnesio (meq/100ml)

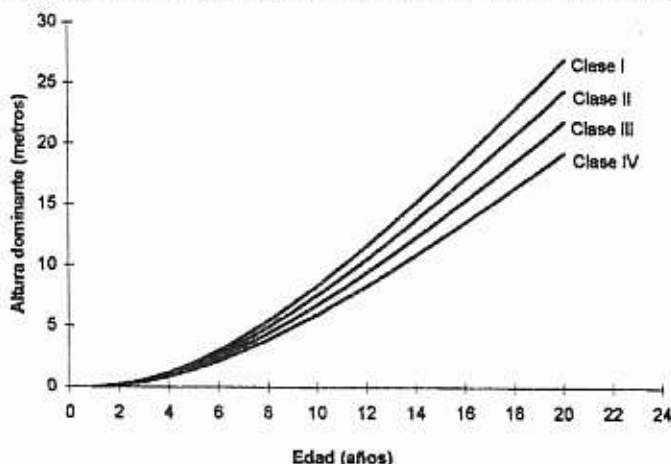
Zn = Zinc(microgramos/ml)

R² = 0.7502

***Pinus caribaea* Morelet var.
hondurensis Barret & Golfari**

En la determinación de los índices de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* fueron analizados los datos de edad-altura dominante obtenidos del análisis fustal de 15 árboles. Los coeficientes estimados para el modelo de Schumacher son los que se presentan a continuación:

Figura 1
CURVAS ANAMÓRFICAS DE EVOLUCIÓN EN ALTURA
DOMINANTE, POR CLASE DE SITIO, PARA LA ESPECIE
CUPRESSUS LUSITANICA, ESTABLECIDA EN EL PROYECTO
DE REFORESTACIÓN SAQUICHAJ, COBÁN, ALTA VERAPAZ, 1996.



Coeficiente de intercepto común A= 12.2524
 Coeficiente de pendiente común B= -15.9678
 Valor de k= 0.193123
 $R^2 = 0.9596$

El modelo de Schumacher ajustado quedó de la siguiente forma:

$$\text{Ln}(h_{\text{dom}}) = 12.2524 - \frac{15.9678}{E^{0.193123}}$$

donde:

Ln = Logaritmo natural
 hdom = Altura dominante (metros)
 E = Edad (años)

Con el modelo de Schumacher ajustado se desarrolló la respectiva ecuación anamórfica, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 16 años para cada parcela de *Pinus caribaea*. Esta ecuación es la que se presenta a continuación:

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{\text{dom}}) - 15.9678 (E_b^{-0.193123} - E^{-0.193123})$$

donde:

Ln = Logaritmo natural
 IS = Índice de sitio (metros)
 hdom = Altura dominante (metros)
 Eb = Edad base (16 años)
 E = Edad del rodal (años)

Los índices de sitio estimados con la ecuación anterior variaron desde 12.40 a 18.80 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.78 a 1.18 metros/año. En Panamá, Vásquez [1987] reporta para esta especie, un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.75 hasta 1.81 metros/año, estimado a una edad base de 15 años. También indica que en Costa

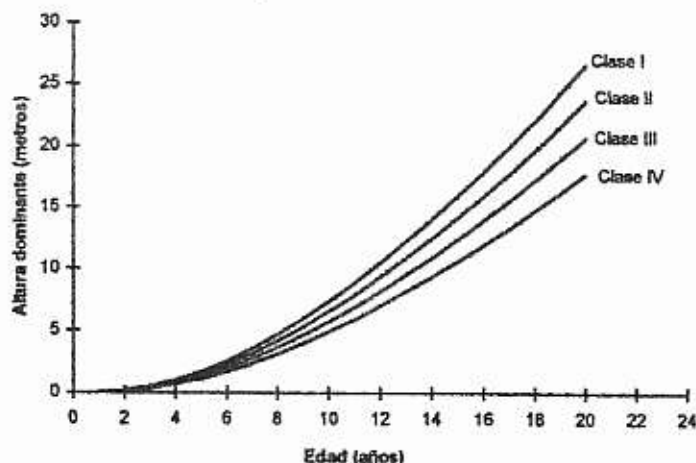
Rica y Venezuela se obtuvieron incrementos medios anuales en altura dominante de 1.5 y 1.6 metros/año, en los sitios menos productivos y 2.4 y 2.0 metros/año, en los sitios más productivos, a la edad de 8 y 9 años, respectivamente.

Los sitios en el proyecto de reforestación Saquichaj para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* deben de considerarse como poco productivos, ya que los incrementos en altura dominante obtenidos en Cobán se encuentran dentro del rango de incrementos en sitios menos productivos obtenidos en Costa Rica y Venezuela, los cuales fueron estimados a una edad base mucho menor.

CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO. La figura 2 muestra las curvas de crecimiento en altura dominante corres-

Los sitios en el proyecto de reforestación Saquichaj para Pinus caribaea var. hondurensis deben de considerarse como poco productivos.

Figura 2
CURVAS ANAMÓRFICAS DE EVOLUCIÓN EN ALTURA DOMINANTE, POR CLASE DE SITIO, PARA LA ESPECIE *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS*, ESTABLECIDA EN EL PROYECTO DE REFORESTACIÓN SAQUICHAJ, COBÁN, ALTA VERAPAZ, 1996.



pondientes a la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO. En el análisis de correlación entre calidad de sitio y características fisiográficas y edáficas de los sitios, la correlación obtenida fue excelente ($r=1$, $\hat{a}=0.00$).

Luego de analizar los datos en forma general, se procedió al análisis de correlación de la calidad de sitio vrs. las características fisiográficas y calidad de sitio vrs. las características edáficas en forma separada. En el primer caso la correlación fue relativamente baja ($r=0.73$ y $\hat{a}=0.17$). En el segundo caso la correlación obtenida fue excelente ($r=1$ y $\hat{a}=0.00$). De estas características sobresalieron el hierro, el zinc y el manganeso, con coeficientes de correlación 0.72, -0.69 y -0.66, respectivamente. El hierro actúa en forma directamente proporcional con la calidad de sitio, los otros dos elementos actúan en forma inversamente proporcional a la calidad de sitio.

Vásquez y Ugalde [1995], en Costa Rica, realizando un análisis de correlación entre el índice de sitio (IS) y algunos factores de sitio en parcelas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, indican que las variables que mostraron mayor correlación con el IS fueron la profundidad del suelo, la precipitación media anual y el viento. Los mejores sitios para esta especie fueron aquellos donde la precipitación media anual y la profundidad del suelo eran mayores.

El modelo de regresión seleccionado para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* es el que se presenta a continuación. Las variables que componen dicho modelo fueron las que presentaron mayor coeficiente de determinación:

$$IS = 19.163325 + 0.0011501Pf - 0.05328Mn - 0.805288Mo$$

donde:

IS = Índice de sitio (metros)

Pf = Profundidad del suelo (centímetros)

Mm = Manganeso (microgramos/ml)

Mo = Materia orgánica (%)

R^2 = 0.89

Pinus maximinoii H. E. Moore

ÍNDICES DE SITIO. Para determinar los índices de sitio de *Pinus maximinoii* se analizaron los datos obtenidos del análisis fustal de 16 árboles provenientes de diferentes rodales.

Los valores de los coeficientes de la ecuación de Schumacher, al ajustar dicho modelo son los siguientes:

Coefficiente de intercepto común A = 9.09725

Coefficiente de pendiente común B = -13.1687

Valor de k = 0.27940

R^2 = 0.9257

El modelo de Schumacher ajustado se presenta a continuación:

$$\ln(h_{dom}) = 9.09725 - \frac{13.1687}{E^{0.279402}}$$

donde:

Ln = Logaritmo natural

hdom = Altura dominante (metros)

E = Edad (años)

La ecuación que se utilizó para estimar los índices de sitio para la especie *Pinus maximinoii* es la siguiente:

Para determinar los índices de sitio de Pinus maximinoii se analizaron los datos obtenidos del análisis fustal de 16 árboles provenientes de diferentes rodales.

$$\text{Ln}(\text{IS}) = \text{Ln}(\text{hdom}) - 13.1687(\text{Eb}^{-0.279402} - \text{E}^{-0.279402})$$

donde:

Ln = Logaritmo natural

IS = Índice de sitio (metros)

Hdom = Altura dominante (metros)

Eb = Edad base (14 años)

E = Edad del rodal (años)

Los índices de sitio estimados variaron desde 13.34 a 20.0 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.95 a 1.43 metros/año. Para esta especie, Núñez [1986] reporta un crecimiento promedio en altura de 1.091 metros/año, en Alta Verapaz. Escobar [1987] reporta un incremento en altura de 1.32 metros/año, en el período de 10-15 años. Esta información fue obtenida en el departamento de Jalapa.

CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO. La figura 3 muestra las curvas de crecimiento en altura dominante correspondientes a *Pinus maximinoii*.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO. Utilizando la correlación canónica se analizaron los factores de sitio, obteniendo los siguientes resultados: en el análisis de la calidad de sitio y los factores de sitio en conjunto, las características edáficas obtuvieron los coeficientes de correlación más altos.

En el análisis de correlación de la calidad de sitio vrs. características fisiográficas y calidad de sitio vrs. características edáficas en forma separada se obtuvo la siguiente información: en el primer caso la correlación fue baja ($r=0.56$ y $\hat{a}=0.50$). En el otro caso la correlación obtenida fue excelente ($r=1$ y $\hat{a}=0.00$), sobresaliendo de las características edáficas,

el potasio y el zinc, con coeficientes de correlación 0.99 y 0.76, respectivamente. Esto indica que la calidad de sitio es directamente proporcional a la concentración de estos dos elementos.

El modelo obtenido en el análisis de regresión entre la calidad de sitio y los factores de sitio, las variables profundidad del suelo, concentración de potasio y la concentración de zinc en el suelo obtuvieron los mayores coeficientes de correlación, por lo cual integraron el modelo seleccionado para esta especie, el cual se presenta a continuación:

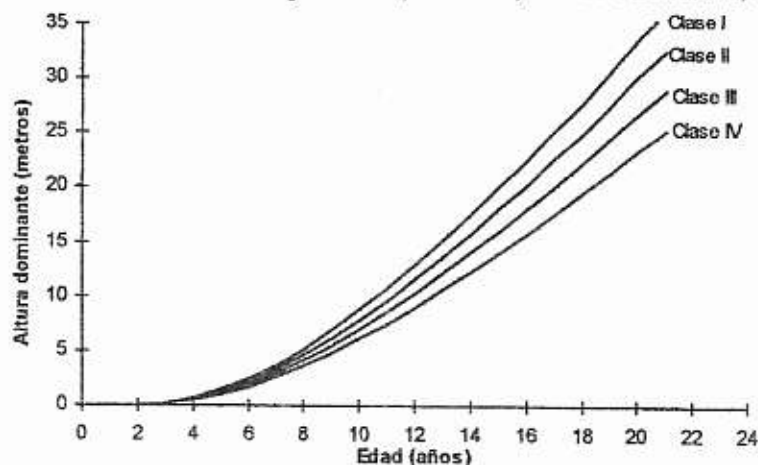
$$IS = 23.82 - 0.0001Pf - 124.93589K + 0.91041Zn$$

donde:

IS = Índice de sitio (metros)

Pf = Profundidad del suelo (centímetros)

Figura 3
CURVAS ANAMÓRFICAS DE EVOLUCIÓN EN
ALTURA DOMINANTE, POR CLASE DE SITIO, PARA LA
ESPECIE *PINUS MAXIMINOII*, ESTABLECIDA EN EL PROYECTO
DE REFORESTACIÓN SAQUICHAJ, COBÁN, ALTA VERAPAZ, 1996.



K	= Potasio (meq/100ml)
Zn	= Zinc (microgramos/ml)
R ²	= 0.99

Pinus strobus L. var. *chiapensis* Martínez

ÍNDICES DE SITIO. Los coeficientes de la ecuación de Schumacher estimados con datos de edad-altura dominante obtenidos en los rodales de *Pinus strobus* var. *chiapensis*, son los siguientes:

Coeficiente de intercepto común A= 8.51985

Coeficiente de pendiente común B= -12.5108

Valor de k= 0.31628

R² = 0.9599

La ecuación de Schumacher con los coeficientes estimados quedó de la siguiente forma:

$$\text{Ln}(h_{\text{dom}}) = 8.51985 - \frac{12.5108}{E^{0.316282}}$$

donde:

Ln = Logaritmo natural

hdom = Altura dominante (metros)

E = Edad (años)

Con el modelo de Schumacher ajustado se desarrolló la ecuación que se presenta a continuación, la cual se utilizó para estimar el índice de sitio a la edad base de 16 años para cada parcela temporal establecida.

$$\text{Ln}(IS) = \text{Ln}(h_{\text{dom}}) - 12.5108(E_b^{0.316282} - E^{-0.316282})$$

donde:

Ln = Logaritmo natural

IS = Índice de sitio (metros)

Hdom = Altura dominante (metros)

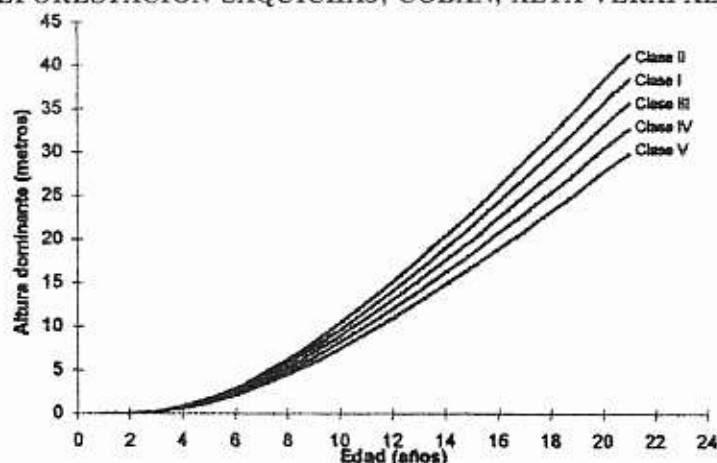
Eb = Edad base (16 años)

E = Edad del rodal

La variación de los índices de sitio estimados con la anterior ecuación fue de 20.75 a 29.88 metros, lo que corresponde a un incremento medio anual en altura dominante que va desde 1.30 a 1.87 metros/año. Klepac [1983], reporta que en varias localidades del valle del río Sava, en la antigua Yugoslavia, *Pinus strobus* alcanza una altura de 11.3 metros a los 20 años. Esta diferencia significativa en el crecimiento en altura entre las dos regiones, ratifica el mayor ritmo de crecimiento que tienen las especies vegetales en las regiones tropicales.

CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO. La figura 4 muestra las curvas de crecimiento en altura dominante correspondientes a la especie *Pinus strobus* var. *chiapensis*.

Figura 4
CURVAS ANAMÓRFICAS DE EVOLUCIÓN EN ALTURA DOMINANTE, POR CLASE DE SITIO, PARA LA ESPECIE *PINUS STROBUS* VAR. *CHIAPENSIS*, ESTABLECIDA EN EL PROYECTO DE REFORESTACIÓN SAQUICHAJ, COBÁN, ALTA VERAPAZ, 1996.



ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SITIO. El análisis de correlación de la calidad de sitio vrs. características fisiográficas y calidad de sitio vrs. características edáficas en forma separada presentó los siguientes resultados: en el primer caso, la correlación obtenida fue relativamente baja ($r=0.86$ y $10=0.22$), en el segundo caso, el dato de correlación obtenido fue muy superior a la presentada anteriormente ($r=1$ y $10=0.00$). De las características edáficas sobresalieron el potasio, el manganeso y el fósforo, con coeficientes de correlación 0.76, 0.71 y 0.71, respectivamente, lo que indica que la calidad de sitio es directamente proporcional a las concentraciones de estos elementos.

El modelo estadístico seleccionado para esta especie, es el que a continuación se presenta.

$$\begin{aligned} \text{IS} = & 17.463041 + 0.006058\text{Ex} - 0.488079\text{PT} \\ & + 93.211921\text{K} + 0.559576\text{Al} \end{aligned}$$

donde:

IS = Índice de sitio (metros)

Ex = Exposición (grados)

PT = Posición topográfica

K = Potasio (meq/100ml)

Al = Aluminio (meq/100ml)

$R^2 = 0.69$

La figura 5 muestra la distribución de las clases de sitio dentro de las plantaciones establecidas en el proyecto de reforestación Saquichaj. Se utilizaron rangos de clases de sitio ya que se encontró variación en los índices de sitio a distancia cortas. Con las áreas muestreadas en este estudio se dificultó elaborar un mapa más preciso.

Figura 5
MAPA PRELIMINAR DE CALIDADES DE SITIO DE LAS
ESPECIES FORESTALES ESTABLECIDAS EN EL PROYECTO
DE REFORESTACIÓN SAQUICHAJ, COBÁN, ALTA VERAPAZ, 1997.

Referencias:

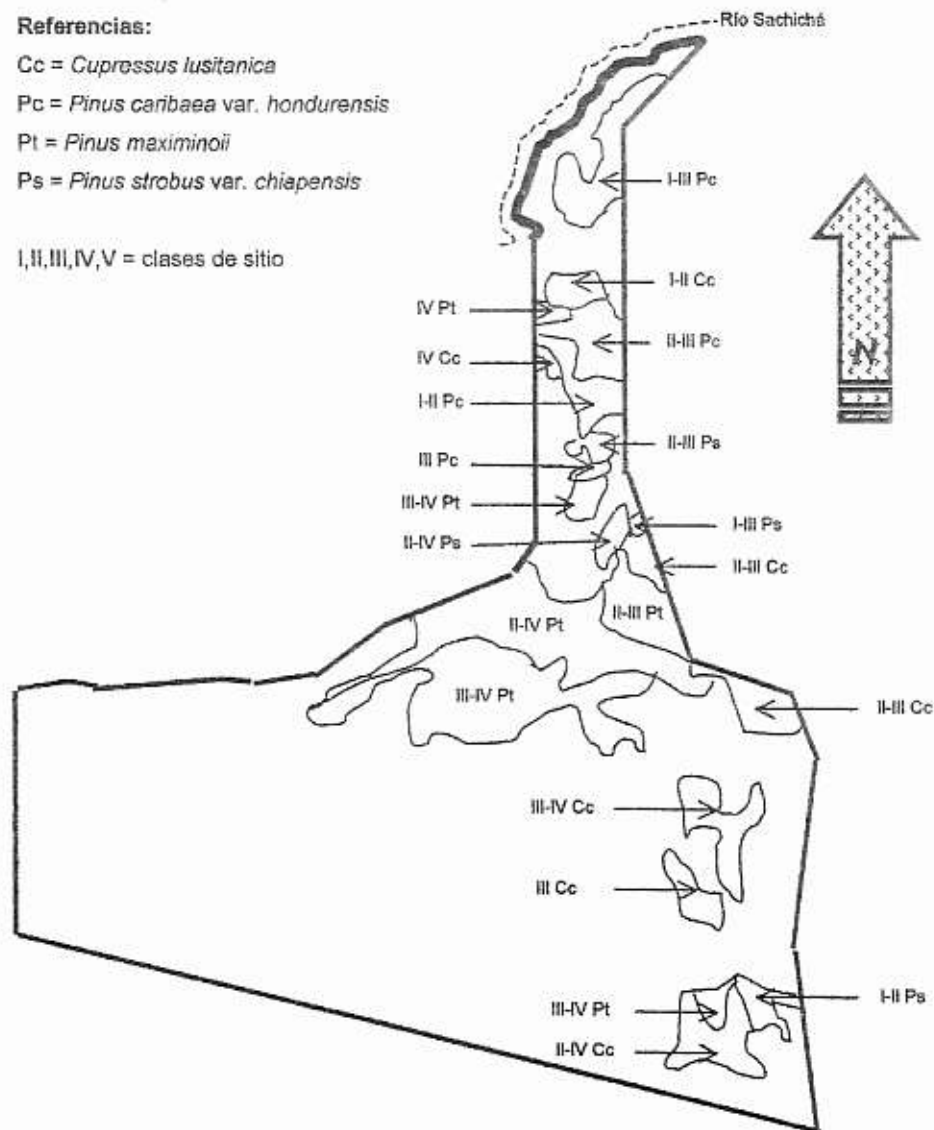
Cc = *Cupressus lusitanica*

Pc = *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Pt = *Pinus maximinoii*

Ps = *Pinus strobus* var. *chiapensis*

I, II, III, IV, V = clases de sitio



IV. CONCLUSIONES

- *Cupressus lusitanica* presentó índices de sitio que variaron de 14.69 a 21.74 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.86 hasta 1.28 metros/año.
- *Pinus caribaea* var. *hondurensis* presentó índices de sitio que variaron de 12.40 a 18.80 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.78 hasta 1.18 metros/año.
- *Pinus maximinoii* presentó índices de sitio que variaron de 13.34 a 20.0 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0.95 hasta 1.43 metros/año.
- *Pinus strobus* var. *chiapensis* presentó índices de sitio que variaron de 20.75 a 29.88 metros, lo cual representa un incremento medio anual en altura dominante que va desde 1.30 hasta 1.87 metros/año.
- Al comparar los datos de incrementos obtenidos en el proyecto de reforestación Saquichaj con datos obtenidos en otras regiones, se pudo establecer que *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ha respondido de mejor forma en algunas localidades de Costa Rica y Venezuela; *Pinus maximinoii* y *Cupressus lusitanica* se encuentran dentro de los valores obtenidos en otras regiones de nuestro país. Para *Pinus strobus* var. *chiapensis* se encontraron datos de crecimiento obtenidos en la antigua Yugoslavia, que solamente muestran la diferencia significativa en

crecimiento que se da en regiones que se encuentran en latitudes distantes.

- En el análisis de los factores de sitio, las características fisicoquímicas del suelo obtuvieron los coeficientes de correlación más altos.

V. RECOMENDACIONES

- Obtener dentro de las parcelas establecidas en este estudio la información necesaria para ajustar adecuadamente el modelo de Schumacher de cada especie a la edad de turno.
- Los modelos de regresión seleccionados para *Cupressus lusitanica*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoii* y *Pinus strobus* var. *chiapensis* nos dan una estimación de la calidad de sitio. Tomando en cuenta las variables que componen cada modelo, esta información puede utilizarse para seleccionar la especie o especies más convenientes para reforestar determinada área, dependiendo de las características del sitio dentro de la finca Saquichaj o en áreas cercanas a ella.
- Integrar la información obtenida en las plantaciones (estratificación, inventarios forestales, calidad de sitio) con el fin de delimitar áreas de acuerdo a las condiciones de los diferentes rodales, para definir lineamientos de manejo de las diferentes áreas.
- Las características fisicoquímicas del suelo presentaron mayor correlación con la calidad de sitio, por lo que es básico obtener esta informa-

Los
modelos
de regresión
seleccionados
para
*Cupressus
lusitanica*,
Pinus caribaea
var.
hondurensis,
*Pinus
maximinoii* y
Pinus strobus
var.
chiapensis
nos dan una
estimación
de la calidad
de sitio.

ción al elaborar futuros proyectos de reforestación en la finca Saquichaj.

- Es importante obtener información adicional sobre índices de sitio en la finca, estableciendo parcelas temporales en lugares estratégicos dentro de las plantaciones, ya que es necesario elaborar un mapa más preciso de calidad de sitio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; con referencia especial a los trópicos. Roma, Italia, FAO. Estudio FAO; montes 22/2. V.2, 118 p.
- BARRIOS, J. *et al.* 1993. Inventario forestal y plan de tratamientos silvícolas de la plantación de *Pinus maximinoii* H. E. Moore y *Cupressus lusitanica* Miller en la finca Chicocom, Cobán, Alta Verapaz. Cursos Especializados de Sistemas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 89 p.
- CASTILLO CONTRERAS, D. 1993. Tablas de producción preliminares para *Cupressus lusitanica* Miller: estudio de caso en la finca Florencia, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez y finca Santa Isabel, Fraijanes, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 80 p.
- CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
- ESCOBAR SAGASTUME, A. 1987. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoii* H. E. Moore en Jalapa, departamento de Jalapa. Tesis Ing. Agr.

Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 76 p.

GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1982. Mapa de cuencas de la república de Guatemala, cuenca Usumacinta, subcuenca Salinas. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

_____. 1982. Mapa de regiones fisiográficas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.

_____. 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja cartográfica Rubeltem, Alta Verapaz, No. 2162 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

_____. 1988. Mapa geológico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. 1974. Ley forestal de Guatemala. Decreto 58-74.

KLEPAC, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Trad. al español del libro Rast H. Prirast. Chapingo, México, Escuela Nacional Agrícola. 365 p.

NUÑEZ SARAIVA, O.M. 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoii* H. E. Moore, en Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 130 p.

SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.

TZIRIN BATZIN, J.R. 1995. Determinación del uso actual de la tierra de la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 28 p.

- UGALDE, L. 1993. Notas sobre crecimiento y calidad de sitio de ciprés en América Central. En curso taller Manejo de Plantaciones Forestales de Coníferas en Guatemala (1993, Guatemala). Guatemala, CATIE, Sistema de Manejo de Información Sobre Recursos Arbóreos. s.p.
- VÁSQUEZ CARBALLO, W. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 86 P.
- VÁSQUEZ CARBALLO, W.; UGALDE ARIAS, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 256. 33 p.
- ZEPEDA B., E.; RIVERO, P. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índices de sitio; ejemplificación del método de curva guía. Ciencia Forestal (Mex) 9(51): 3-38.

Los Autores

Hugo Cardona Castillo

Ing. Agr. por la Facultad de Agronomía de la USAC. Ph. D. en Economía Agrícola y Ambiental por la Universidad Estatal de Luisiana, Estados Unidos. Coordinador de la Subárea y Administración Agrícola de la FAUSAC.

Eddi Alejandro Vanegas Chacón

Ing. Agr. por la Facultad de Agronomía de la USAC. Maestría en Ciencias en Uso y Manejo del Suelo y Agua por la Universidad Wageningen, Holanda. Docente-investigador de la FAUSAC.

Mario René Alfaro Argueta

Ing. Agr. en Recursos Naturales Renovables por la Facultad de Agronomía de la USAC.

Luis Fernando Ortiz Castillo (QEPD)

Ing. Agr. por la Facultad de Agronomía de la USAC. Maestría en Manejo Forestal por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Asesor de Tesis de los primeros egresados en Recursos Naturales Renovables de la FAUSAC.

Mario Alberto Méndez Muñoz

Ing. Agr. en Recursos Naturales Renovables por la Facultad de Agronomía de la USAC. Maestría en Manejo Forestal con énfasis en Economía por la Universidad del Estado de New York, Estados Unidos. Coordinador del Programa de Recursos Naturales Renovables de la FAUSAC.

Julio Rolando Tzirin Batzin

Ing. Agr. en Recursos Naturales Renovables por la Facultad de Agronomía de la USAC. Coordinador del Departamento de Manejo Forestal de CONAP.

Marvin Urizar Quezada

Ing. Agr. en Sistemas de Producción Agrícola por la Facultad de Agronomía de la USAC.

Roberto Flores Arzú

Lic. en Biología por la Universidad de San Carlos de Guatemala. Estudios de Posgrado en Producción de Micorrizas en España. Docente de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

Edil Rodríguez Quezada

Ing. Agr. por la Facultad de Agronomía de la USAC. Maestría en Fitopatología por la Universidad del Este, Estados Unidos. Docente-investigador de la FAUSAC.



CONTENIDO

**Modelos cualitativos de alta
dimensión: una aplicación práctica**

**Uso de series de Fourier
para predicción climatológica**

**Producción de micorrizas en
plántulas de *Pinus maximinoi*. H. E.
Moore con *Laccaria laccata*,
Pisolithus tinctorius y *Scleroderma* sp.**

**Evaluación inicial del efecto
de tres intensidades de raleo y
tres de poda en el crecimiento de una
plantación de *Pinus caribaea* Morelet
var. *hondurensis*, Livingston, Izabal**

**Índices de sitio preliminares
para *Cupressus lusitanica* Miller,
Pinus caribaea Morelet var.
hondurensis Barret & Golfari,
Pinus maximinoii. H. E. Moore y
Pinus strobus L. var. *chiapensis*
Martínez, establecidas en plantación
en el proyecto de reforestación
Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz**

Facultad de Agronomía
Universidad de
San Carlos de Guatemala

