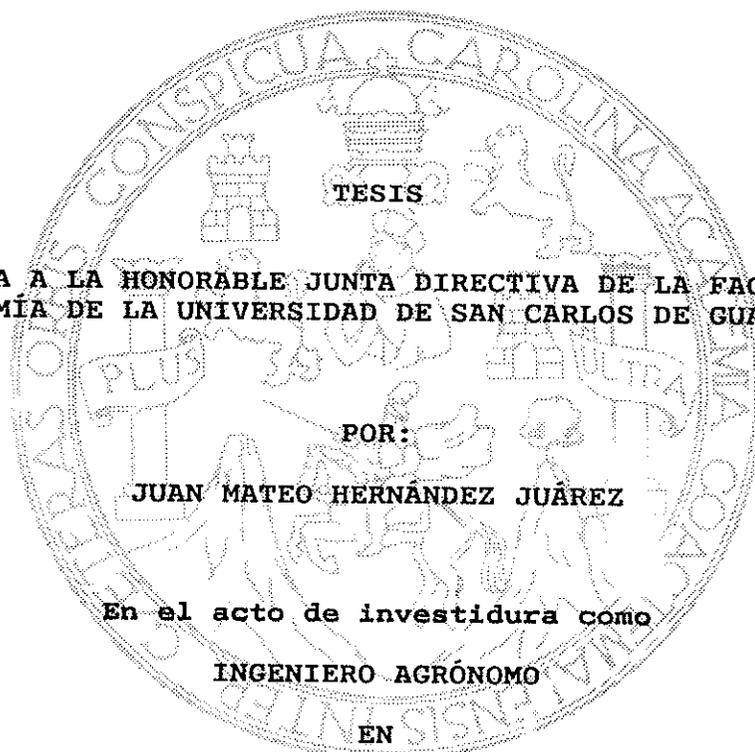


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

MODELO MATEMÁTICO PARA LA CUBICACION  
DE LEÑA EN BOSQUES DENSOS DE  
Pinus pseudostrobus Lindley  
DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO.



PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR:

JUAN MATEO HERNÁNDEZ JUÁREZ

En el acto de investidura como  
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, mayo de 1,995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR**  
**DOCTOR JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO:</b>	<b>Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA</b>
<b>VOCAL PRIMERO:</b>	<b>Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO</b>
<b>VOCAL SEGUNDO:</b>	<b>Ing. Agr. WALDEMAR NUFIO REYES</b>
<b>VOCAL TERCERO:</b>	<b>Ing. Agr. CARLOS ROBERTO MOTTA DE PAZ</b>
<b>VOCAL CUARTO:</b>	<b>Prof. GABRIEL AMADO ROSALES</b>
<b>VOCAL QUINTO:</b>	<b>Br. AUGUSTO SAUL GUERRA GUTIERREZ</b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b>Ing. Agr. MARCO ROMILIO ESTRADA MUY</b>

Guatemala, mayo de 1995

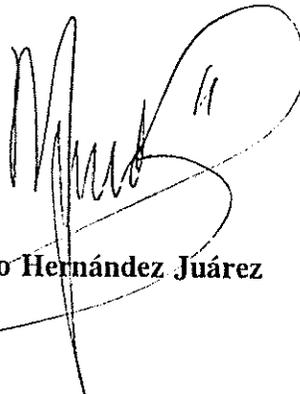
**Señores:**  
**Honorable Junta Directiva**  
**Honorable Tribunal Examinador**  
**Facultad de Agronomía**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**"MODELO MATEMÁTICO PARA LA CUBICACION  
DE LEÑA EN BOSQUES DENSOS DE  
Pinus pseudostrobus Lindley DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO".**

Presentando como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Mateo Hernández Juárez', with a large, sweeping flourish at the end.

**Juan Mateo Hernández Juárez**

# ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** "CREADOR Y SUSTENTADOR POR TODO CUANTO EXISTE"
- A MIS PADRES:** JUAN MATEO HERNÁNDEZ TOLEDO, "XUN MAT"  
ANA JOSE JUAREZ TOLEDO, "ANIX JOSÉ"
- A MIS HIJOS:** FRANZ HELMUT, JUAN ALFONZO (Q.E.P.D.),  
JEFRY ANDRE, JUAN ALFONSO, ORPHA BETZABETH,  
RICARDO ANTONIO, ROXANA ANABI,  
GERSON JAVIER (Q.E.P.D.)
- A MIS HERMANOS:** JUSTINA (Q.E.P.D.) JUAN DE JUAN, ANA, MARIA,  
RUPERTO FILOGONIO, DOMINGO, LUISA,  
GABRIEL(Q.E.P.D.) JOSÉ GABRIEL, EFRAIN, ELIAS,  
EULALIA JUSTINA.
- A LA MEMORIA DE  
MI BISABUELO Y ABUELO:** JUAN PASCUAL HERNÁNDEZ, "XUN CUIN" (Q.E.P.D.)  
MATEO JUAN HERNÁNDEZ, "MAT XUN" (Q.E.P.D.)
- A MIS TIOS:** EN ESPECIAL AL DR. PASCUAL HERNÁNDEZ TOLEDO  
Y AL PROF. PEDRO TOLEDO JUAN.
- A MIS SOBRINOS Y CUñADOS**
- A LA MEMORIA DE MI PADRINO:** DR. WILLIAM WENTE (Q.E.P.D.)
- A UN ADMIRABLE AMIGO:** SR. HORACIO ENRIQUE RUIZ MATAMOROS.

# TESIS QUE DEDICO

A GUATEMALA

AL MUNICIPIO DE SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO

AL COLEGIO PARROQUIAL, SANTA EULALIA

A LA ESCUELA RURAL MIXTA DE LA ALDEA CHOJZUNIL, SANTA EULALIA

AL COLEGIO DE LA SALLE, HUEHUETENANGO

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

AL CENTRO UNIVERSITARIO CIUDAD VIEJA

A LOS AGRICULTORES Y AL PUEBLO DE GUATEMALA

A MIS AMIGOS

# AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ftal. José Mario Saravia Molina, por su abnegada ayuda en la asesoría de este trabajo.

Al Ing. Agr. M.S.C. Víctor Manuel Álvarez Cajas, por la asesoría en la primera fase de este trabajo.

A los P. Agr. Carlos Armando Tubac y René Patal López, por la decidida colaboración en la recopilación de los datos de campo.

Al Ing. M.S.C. Gustavo Arsenio Arana López (Q.E.P.D.), por las importantes observaciones que hizo al trabajo.

Al personal de la Región V de DIGEBOS 1990- 1991 por los trámites en la obtención de los permisos correspondientes a los propietarios de las fincas forestales para la toma de datos de campo.

A los propietarios de las fincas forestales: Las Mercedes (Tecpán Guatemala), La Coyotera (San Martín Jilotepeque) y Xepatán (Patzún) por el uso de los bosques para la realización de este trabajo.

Al personal administrativo de Christian Children's Fund. Inc. y Proyecto Nueva Vida, en especial a: Hna. Amabilis Peláez y Sra. Berta Castañeda por su apoyo moral y por agilizar los trámites de transferencia del fondo financiero, otorgado por mi Padrino Bill Wente (Q.E.P.D.) para mi formación universitaria.

A la asociación de Amigos, por facilitar significativamente mi estancia como residente en el Centro Universitario Ciudad Vieja en el primer año de mi formación universitaria.

Al fondo de Becas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el apoyo económico en los primeros años de mi carrera Universitaria.

Al Dr. Pascual Hernández por su apoyo económico y moral en los principios de mi formación universitaria.

Al Sr. Horacio Ruiz Matamoros por su apoyo económico y moral en las diferentes fases de mi formación universitaria, quien en momentos difíciles fue y sigue siendo un amigo muy importante.

A los Cuaqueros, por su apoyo financiero en los últimos años de mi carrera universitaria.

A DIFOBÉ por el apoyo financiero para la ejecución de campo de esta tesis.

# CONTENIDO

No.	DESCRIPCIÓN	PAGINA
	ÍNDICE DE CUADROS	
	ÍNDICE DE FIGURAS	
	RESUMEN	
1.	INTRODUCCIÓN	01
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	03
3.	JUSTIFICACIÓN	04
4.	MARCO TEORICO	05
4.1.	Marco conceptual	05
4.1.1.	La copa de los árboles	05
4.1.2.	Estudios y entornos a la cubicación de maderas	05
4.1.3.	Métodos de cubicación de leña	09
4.1.4.	Importancia de la leña como energético	10
4.1.5.	Efectos de la densidad forestal en el rendimiento de maderas de la copa	11
4.1.6.	Los inventarios forestales	13
4.1.7.	Tablas de volumen	14
	A. Generalidades	14
	B. Elección de la muestra	15
	C. Número de árboles muestra	18
	D. Cubicación de árboles	19
	a. Cubicación de fustes	20
	b. Cubicación de ramas	21
	E. Ecuaciones de volumen y análisis de regresión	21
	a. Análisis de regresión múltiple	22
	F. Selección de variables	24
	a. Método de selección hacia atrás o "backward"	25
	b. Método de selección hacia adelante o "Forward"	27
	c. Método de selección por pasos o "Stepwise"	28
	G. La selección del mejor modelo de regresión	29
	H. Prueba de hipótesis para los coeficientes de regresión	32

No.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
	I. Multilinealidad	33
	J. Prueba de tablas	36
	a. Test de Freese	37
	K. Corrección de tablas	39
4.2.	MARCO REFERENCIAL	41
4.2.1.	Características del departamento de Chimaltenango	41
4.2.2.	Bosques de coníferas	42
4.2.3.	Los pinos de Guatemala	42
4.2.4.	<u>Pinus pseudostrobus</u>	43
A.	Descripción taxónomica de <u>P. pseudostrobus</u>	44
B.	Distribución	45
a.	Distribución a nivel nacional	45
b.	Distribución en el departamento de Chimaltenango	46
5.	OBJETIVOS	47
6.	METODOLOGÍA	48
6.1.	Localización de los sitios de muestreo	48
6.2.	Fotointerpretación	49
6.3.	Selección de los puntos de muestreo en la fotografía aérea.	51
6.4.	Selección de los puntos de referencia.	51
6.5.	Prueba de homogeneidad y chequeo de la fotointerpretación.	52
6.6.	Ubicación de las parcelas de muestreo en el campo	52
6.7.	Deslinde de parcelas	52
6.7.1.	Corrección de radio de parcelas	52
6.7.2.	Deslinde	53
6.8.	Identificación y apeo de los árboles muestra	53
6.9.	Medición de árboles y registro de los datos de campo	54
6.9.1.	Mediciones en el fuste	54
6.9.2.	Mediciones en la copa	55
6.10.	Proceso de los datos de campo	56
6.10.1.	Cálculo del volumen de leña por árbol	56

No.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
	A. Cálculo del volumen de leña del fuste	56
	B. Cálculo del volumen de leña de la copa	56
6.11.	Análisis de la información	57
6.11.1.	Análisis de regresión	57
A.	Selección de variables	57
a.	Selección del mejor modelo de regresión	58
B.	Análisis de regresión del mejor modelo seleccionado	59
a.	Prueba de multicolinealidad	59
b.	Prueba de la coordenada al origen	59
c.	Análisis de varianza	60
6.11.2.	Prueba de tablas	60
6.11.3.	Corrección de tablas.	61
6.11.4.	Despliegue de tablas	61
7.	RESULTADOS	62
7.1.	Datos de campo	62
7.2.	Variables Generadas	63
7.3.	Análisis de Regresión de la ecuación de volumen de leña	65
7.3.1	Variables independientes de la ecuación	65
7.3.2.	Multicolinealidad	67
7.3.3.	Prueba de la coordenada al origen	68
7.3.4.	ANDEVA	69
7.4.	Prueba de tablas	71
7.5.	Despliegue de tablas	72
7.6.	Alcances y uso de la tabla	74
7.7.	Forma de usar esta tabla	75
7.8.	Confrontación de este estudio con trabajos similares	76
8.	CONCLUSIONES	78
9.	RECOMENDACIONES	79
10.	BIBLIOGRAFÍA	80
11.	ANEXO	85

# ÍNDICE DE FIGURAS

No.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1	Ejemplar de una especie representativa de un bosque de <i>Pinus pseudostrobus</i>	44
2	Distribución natural de <i>Pinus pseudostrobus</i>	46
3	Localización de los sitios de muestreo	50
4	Diagrama que indica las variables registradas en la copa y fuste terminal de árboles muestra	55
5	Áreas cercanas al departamento de Chimaltenango permisibles para el uso de la tabla de volumen de leña	74

# ÍNDICE DE CUADROS

No.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
01	Ecuaciones para estimar el volumen total de madera de fustes de para las especies coníferas de Guatemala.	07
02	Ecuaciones para cubicación del volumen comercial de especies de latifoliadas tropicales de Guatemala.	08
03	ANDEVA de todas las variables para la selección de variables independientes, Método "Backward". Ejemplo	25
04	F parciales de todas las variables, Método "Backward". Ejemplo.	25
05	ANDEVA para las (n-1) variables para la selección de variables, Método "Backward". Ejemplo	26
06	F parciales para las (n-1) variables para la selección de variables, Método "Backward". Ejemplo	26
07	ANDEVA de todas las variables, Método "Forward". Ejemplo	27
08	Localización y características de las tres regiones de muestreo en el departamento de Chimaltenango	49
09	Parámetros considerados para la selección de modelos en cada método de selección de variables.	58
10	Volumen de leña y las variables independientes de los árboles muestra	64
11	Resumen de la selección de variables mediante el método "Backward".	65
12	Resumen de la selección de variables mediante el método "Stepwise".	66
13	Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método de los cuatro pasos: "DJRSQ AIC BIC MSE"	66
14	Resultados de la prueba de multicolinealidad	67
15	ANDEVA y parámetros del mejor modelo de regresión de volumen seleccionado con el $\beta_0$ .	69
16.	ANDEVA y parámetros del mejor modelo de regresión de volumen seleccionado sin el $\beta_0$ .	70
17	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 15 cm.	73

No.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
18A	Boleta para la medición de fuste y copa de los árboles para elaborar las tablas de volumen de leña	86
19A	Método de cálculo electrónico (Quattro Pro) del volumen de las secciones de fuste y copa para leña.	87
20A	Fórmulas empleadas en las celdas claves para la hoja QPRO en el cálculo de volumen de leña.	87
21A	Instrucciones a SAS para solicitar el método de selección de variables.	88
22A	Instrucciones a SAS para solicitar la ejecución de la prueba de multicolinealidad.	89
23A	Instrucciones a SAS para la prueba de la ecuación en el origen.	90
24A	Instrucciones a SAS para solicitar el cálculo del ANDEVA	91
25A.	Prueba de tablas mediante el test de Freese efectuada en hoja electrónica.	92
26A	Fórmulas empleadas en las celdas claves para la hoja QPRO para la prueba de tablas.	93
27A	Método de despliegue de tablas en hoja electrónica	93
28A	Fórmulas empleadas en las celdas claves en la hoja QPRO para el despliegue de tablas.	94
29A	Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "Backward".	95
30A	Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "Stepwise".	96
31A	Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "MAXR".	98
32A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 20 cm.	100
33A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 25 cm.	101

No.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
34A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 30 cm.	102
35A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 35 cm.	103
36A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 40 cm.	104
37A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 45 cm.	105
38A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 50 cm.	106
39A	Tabla para estimar el volumen de leña en m <sup>3</sup> con corteza. DAP 55 cm.	107

**MODELO MATEMÁTICO PARA LA CUBICACION DE LEÑA EN BOSQUES DENSOS DE *Pinus pseudostrobus* Lindley DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

**MATHEMATICAL MODEL FOR CUBING FIREWOOD'S IN FORESTS DENSE OF *Pinus pseudostrobus* Lindley OF CHIMALTENANGO.**

**RESUMEN**

Guatemala sustenta significativamente sus requerimientos de energéticos para el uso doméstico en los bosques, obteniendo de estos la energía en forma de leña, por lo que el bosque desempeña un papel fundamental. Según el penúltimo censo habitacional, (1984) (CATIE <9>), el 83 % de la población utilizó este recurso como energético y mas del 90% de las familias rurales utilizaron la leña como única alternativa energética.

Los inventarios forestales de coníferas efectuados en el país, han reportado volúmenes de madera de aserrío pero no así el volumen de otros subproductos como la leña; y para conocer el volumen de este producto es necesario contar con herramientas de cubicación rápida; por esto, y por la importancia económica de la leña, se planteó y se ejecutó este estudio, generando un modelo matemático y la construcción de tablas de volumen.

Para su construcción se talaron 90 árboles en bosques densos de *Pinus pseudostrobus*, en las localidades de: Patzún, Tecpán Guatemala y San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, Guatemala; cubicando la sección terminal del fuste entre un índice de utilización de 10 y 2.5 cm. y la copa (ramas) hasta un índice de utilización de 2.5 cm.

Para el cálculo del volumen de leña se utilizó la fórmula de Smalian y para obtener la ecuación de volumen se analizaron los datos de campo en un modelo de regresión lineal múltiple, evaluando las siguientes variables: el volumen de leña como variable dependiente y como variables independientes: el diámetro a la altura de pecho (dap.), la altura total del árbol (Ht.), altura de copa (hc.) y el número de ramas de la copa (NR.).

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

A esta ecuación se aplicó la prueba de selección de variables mediante los métodos: Cuatro criterios, "Backward", "Stepwise" y "Maxr", con los que se determinó que la altura total, "Ht." no ayudó en la predicción del volumen de leña, eliminándolo del modelo inicial.

A través de la prueba de multicolinealidad se estableció que no hubo competitividad o relación lineal entre las variables independientes (dap., hc., NR.) para estimar el volumen de leña, porque los eigenvalores estuvieron balanceados respecto a la varianza de los estimadores.

Con la prueba de la coordenada al origen, se eliminó el coeficiente de regresión  $\beta_0$ , ya en esta situación el volumen de leña se estimó desde el origen; operación que mejoró la precisión de la ecuación para estimar el volumen de leña, donde el  $R^2$  de este modelo fue mayor que el de la ecuación normal (ecuación con  $\beta_0$ ) así:  $0.97 > 0.89.$ , la cual se constituyó en la ecuación de volumen de leña. Esta ecuación se despliega a continuación:

$$Vol=0.0001773914DAP^2-0.009717426hc+0.0035829133NR$$

A este modelo generado se le practicó la prueba de tablas mediante el test de Freese, aceptando la hipótesis nula planteada:  $Vr. (Vol. real)= Ve. (Vol. estimado con la ecuación)$ , donde Chi Cuadrado calculado fue menor que Chi Cuadrado tabulado así:  $0.3257 < 4.81$ , indicando que la tabla no tenía errores ni está sesgada.

Con una precisión de 10% y un nivel de significancia de 95%, los valores de  $R^2$ , C.V. e Índice de Furnival de la ecuación, fueron: 0.97, 17% y 0.041 respectivamente.

Las tablas generadas son para cubicar el volumen de leña con corteza en bosques naturales densos de Pinus pseudostrobus de Chimaltenango; asimismo, se pueden utilizar para cubicar el volumen de leña en bosques similares del altiplano occidental aledaños a las localidades de muestreo, en un radio no mayor de 30 km.

# INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población, la presión sobre la tierra, la deforestación y el alto costo de los energéticos convencionales están provocando una escasez gradual en el suministro de leña, donde este producto como energético es importante en la economía familiar guatemalteca, porque mas del 80% de la población lo ha utilizado para esa finalidad.

Para ilustración, existe mas de un estudio que indica el ritmo de reducción de la cobertura forestal (*Castañeda <7>*, *SEGEPLAN/INAFOR/IGN <28>*, *Mittak <40>*), estudios sobre uso y demanda de consumo de leña (*CATIE <8>*, *Martínez <38>*), donde por ejemplo *Martínez H. (38)*, indica que el consumo promedio anual de leña por persona es de 1.8 m<sup>3</sup>.

Según Ruiz Matamoros<sup>1</sup>, la demanda de productos como virutas, conglomerados y leña para carbón con mercados para el exterior empieza a desarrollar, y si se auna a esta situación la demanda de leña a nivel interno, significa que es necesario hacer un mejor uso de las diferentes maderas de los árboles para atender las demandas actuales y futuras.

Hasta ahora con los inventarios forestales efectuados en el país solo se ha cuantificado el volumen de madera del fuste, porque para el comercio ha tenido mayor importancia la madera del fuste por ser el parámetro forestal que interesa a comerciantes, en particular a los madereros e industriales. Por otro lado con las tablas y las ecuaciones de volúmenes existentes (*Peters <44>*) y (*FAO/FYDEP <11>*), solo ha sido posible el cálculo de la madera comercial del fuste en especies de coníferas y latifoliadas tropicales.

*Miyares<sup>2</sup>* y *Hernández M. (30)*, indicaban que han existido inventarios forestales reportando el volumen de la madera de la copa en especies de coníferas

---

<sup>1</sup> Ruiz Matamoros H. 1 993. *Perspectiva de los productos forestales. Guatemala. Gremial Forestal Nacional. (Comunicación Personal).*

<sup>2</sup> Miyares F. 1,991. *Inventarios Forestales. Guatemala. DIRECCIÓN GENERAL DE BOSQUES Y VIDA SILVESTRE "DIGEBOS". (Comunicación Personal).*

fundados en el criterio de *Bickelhaup et. al.* (41), quien indica que la relación de volumen de madera de la copa respecto al volumen total, es de 15 a 20% en especies de coníferas y un 20 a 30% en especies de latifoliadas; lo que refleja la necesidad de contar con medios necesarios como una tabla de volumen para la cuantificación del volumen forestal, en particular para cubicar el volumen del producto leña, entre otros.

Por la importancia de la leña es necesario generar tablas de volumen que permitan cubicar este producto, las cuales son posibles de elaborar con la ejecución de estudios básicos como éste.

Con la ecuación generada y las tablas elaboradas se puede estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup>., tablas con aplicación para bosques densos de Chimaltenango y áreas circundantes, pero no para especies, ni bosques diferentes.

El volumen de leña hace referencia al volumen de la madera con corteza del fuste terminal sobre un índice de utilización de 10 cm. y de la copa hasta un índice de utilización de 2.5 cm. donde la copa, según Martínez (25), la conforman las ramas, cuyo volumen varía de un bosque a otro, siendo menor en bosques densos que en bosques abiertos como indican Veillón (40) y Vidal (41).

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia económica de la leña como energético se justifica porque mas del 80% de la población utiliza el bosque como fuente de energéticos y este recurso ya está escasa en algunas regiones de demanda en el interior del país. A pesar de la existencia de otras fuentes convencionales como la electricidad, los hidrocarburos, las poblaciones rurales principalmente no tienen acceso a estos otros recursos por varias razones; por lo que sin la cuantificación y el diagnóstico del potencial forestal no será fácil la formulación de planes de desarrollo forestal con fines energéticos, ni la evaluación del potencial del recurso forestal, principalmente el componente energético.

La posibilidad de facilitar la cuantificación forestal, en particular la cubicación de leña, será posible solo si se generan herramientas que auxilién la cubicación rápida de este producto. En la actualidad la cubicación de leña no es factible porque no existen tablas de volumen para este importante subproducto forestal. Solo es posible la cuantificación de madera de aserrío y volúmenes de fuste de latifoliadas tropicales y de coníferas, a través del uso de ecuaciones y tablas de volumen (FAO <11>) y (Peters <44>), por lo que es necesario la ejecución de estudios como éste para apoyar la ejecución de los inventarios forestales, en especial el inventario de leña.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Sin un modelo matemático y tablas de volumen para la cubicación de leña, los inventarios forestales seguirán siendo incompletos, ni se podrán estimar volúmenes de leña, como tampoco se podrá conocer el potencial de este producto en los bosques del país, por lo que con la generación de éstos se podrá auxiliar de manera decisiva el inventario de leña, tomando en consideración que este es un insumo de vital importancia en la economía familiar guatemalteca. El estudio asimismo, es importante para el apoyo al desarrollo forestal.

Supuestos en que se fundó este estudio:

1. Desde el punto de vista silvicultural, sobre un índice de utilización de 10 cm. en el fuste terminal de especies de Pinus, y por dimensión diamétrica su uso es para leña o pulpa.
2. El uso mas importante de la madera de la copa de coníferas es para energéticos, donde la madera y la corteza se destinan para esa finalidad, por lo que el volumen que se reporta aquí es volumen con corteza.
3. Como indican Veillón (57) y Vidal (58), el efecto de la densidad forestal en el rendimiento de madera de la copa es significativa; bajo estos supuestos, Saravia M. y Alvarez Cajas<sup>3</sup> estimaron necesario evaluar el dap., la altura total "Ht.", la altura de copa "hc." y el número de ramas "NR." como posibles variables independientes para estimar el volumen de leña en bosques densos.
4. Regularmente las secciones de la madera del fuste y de la copa en coníferas son cilíndricas, por eso se utilizó la ecuación de Smalian para la cubicación de la madera.

---

<sup>3</sup>. Saravia M.; Alvarez V. 1991. Posibles variables para una ecuación de volumen para especies de coníferas en bosques de estrato denso. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, "FAUSAC". (Comunicación personal).

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. MARCO CONCEPTUAL:

#### 4.1.1. La copa de los árboles:

Young y Tryon citados por *Russo (41)*, indican que los componentes de un árbol incluyen las raíces hasta las ramas mas pequeñas.

Según Hichtcock y McDonel, citados por *Russo (41)*, la copa está constituida por el follaje y las ramas. Sin embargo otros autores citados por *Russo*, incluyen todas las ramificaciones del tronco principal de diámetros menores y comerciales.

La *FAO (12)* indica que en las especies de latifoliadas (deliscentes), la copa la conforman las ramas y el fuste; ésta inicia en el punto de donde se desarrollan las primeras ramas o ramas basales, vivas o muertas. Los árboles excurrentes del que son ejemplo numerosas especies de coníferas, la copa la constituyen solamente las ramas, excluyendo el fuste sobre el que se encuentran insertas; en este caso el largo de la copa es la porción del fuste provista de ramas.

*Martínez, (37)* citando a Neira y Martínez Mata, define la copa como la porción superior de un árbol o plantas leñosas que contiene el sistema principal de ramas y follaje e indica que para las coníferas la longitud de la copa está comprendida entre el inicio de la copa y la cima del árbol; en cuanto al volumen de madera de esta sección del árbol está conformado por la madera de las ramas.

#### 4.1.2. Estudios y entornos a la cubicación de maderas:

*Russo (41)*, basándose en el estudio de Bickelhaup et. al. sobre rendimiento de madera y otras biomاسas en la copa, expone que por lo general, las especies de coníferas tienen un volumen de 15 a 20% de biomasa total en la copa y en las especies de latifoliadas un 20 a 30%.

Estudios específicos de cubicación y tablas de volumen de madera de ramas y copa de árboles son relativamente escasos. En Europa, según *Veillón (57)*, el "Vademecum du Foreister" de Francia, contiene estudios sobre volúmenes de copa y fuste con tablas de volumen para árboles de la zona templada de ese país.

En Suiza, Alemania e Inglaterra, se han efectuado estudios de cuantificación de maderas y leña dentro de ciertos límites de diámetros pero no se consideran volúmenes de copa (*Veillón <57>*).

Según *Veillón (54)* en la India, el "Yield and Stand Tables for Plantation Teak (Tectona grandis)" contiene tablas de volúmenes para madera de fuste y ramas.

En Venezuela, *Veillón (54)* y *Wicke (56)* han ejecutado estudios y elaborado tablas de volumen de ramas y fuste en varias especies de latifoliadas. Algunos de los resultados de volúmenes promedios de ramas por especie se anotan así: Swietenia macróphyla: 2.24 metros cúbicos, Brosimum sp.: 2.45 m<sup>3</sup>, Pouteria sp: 1.50 m<sup>3</sup>., Astrognum gravilens: 1.05 m<sup>3</sup>., Terminalia oblonga: 0.78 m<sup>3</sup>, Anacardium excelsium: 3.28 m<sup>3</sup>, Pterocarpus vernulis: 1.52 m<sup>3</sup>, y Bombacopsis quinata: 5.58 m<sup>3</sup>.

*Latorre (33)*, elaboró para el bosque de Uruguay, un manual con instrucciones de terreno para un proyecto de estudio e inventario de maderas del fuste y copa de árboles para la producción de carbón.

Landis y Morgan, según *Burkhart (4)*, efectuando estudios de biomasa en especies de Abies. sp. (*Engelman, USA, 1,975*), determinaron que la ecuación (con un R<sup>2</sup> de 0.90) para la madera de las ramas y la corteza fue la siguiente:

$$Y = -7.78 + 0.07 (DAP)^2$$

En Centro América, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, "CATIE", (9) y para Guatemala, esta institución (CATIE) y el

Proyecto MADELEÑA de La Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, "DIGEBOS" (17), están efectuando estudios de cuantificación de madera para leña en especies de latifoliadas de rápido crecimiento.

Para los bosques de coníferas de Guatemala están las tablas de volumen elaboradas por *Peters (44)*, con las cuales se pueden cubicar siete especies proporcionando los siguientes volúmenes: el volumen cúbico total en m<sup>3</sup>., volumen de aserrío en m<sup>3</sup> y pies tablares hasta 10 a 25 cm. de índice de utilización y el volumen cúbico sobre un índice de utilización de 10 a 25 cm. Las ecuaciones con que se construyeron estas tablas, en particular las del volumen cúbico total se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Ecuaciones para estimar el volumen total de madera del fuste las especies coníferas de Guatemala.

ESPECIE	ECUACION	R <sup>2</sup>
<u>Abies guatemalensis</u>	$V = -0.0434084982 + 0.0000350901(DAP^2 * H)$	0.93
<u>Cupressus lusitanica</u>	$V = -0.0134651922 + 0.0000289134(DAP^2 * H)$	0.97
<u>Pinus ayacahuite</u>	$V = -0.0197725259 + 0.0000288708(DAP^2 * H)$	0.95
<u>Pinus caribaea</u>	$V = -0.0684728026 + 0.0000309465(DAP^2 * H)$	0.91
<u>Pinus montezumae</u>	$V = -0.0229946375 + 0.0000277515(DAP^2 * H)$	0.90
<u>Pinus oocarpa</u>	$V = -0.026827659 + 0.0000287215(DAP^2 * H)$	0.93
<u>Pinus psuedostrobus</u>	$V = -0.0050811768 + 0.0000286052(DAP^2 * H)$	0.95
<u>Pinus rudis</u>	$V = -0.0179836819 + 0.0000283104(DAP^2 * H)$	0.90
<u>Pinus tenuifolia</u>	$V = -0.0044171177 + 0.0000285570(DAP^2 * H)$	0.91

Fuente: Peters (45).

Donde: V= volumen sin corteza en m<sup>3</sup>  
 DAP= diámetro a la altura de pecho con corteza en cm.  
 H= altura total en m.

Por otro lado para la cubicación de madera de especies de latifoliadas tropicales para la región del norte del país, se utilizan las ecuaciones desarrolladas por la *FAO (11)*; estas se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Ecuaciones para cubicación del volumen comercial de especies de latifoliadas tropicales de Guatemala.

DESCRIPCION	ECUACION	R <sup>2</sup>
CASO I Para árboles sin gambas	$V = 0.567 + 0.5074(DAP^2 * H)$	0.96
CASO II Para árboles con volumen utilizables en las gambas	$V = 0.0714 + 0.4568(D^2 * H)$	0.96
CASO III Para árboles sin volumen utilizable en las gambas	$V = 0.0753 + 0.5544(D^2 * H)$	0.95

Fuente: FAO (Gua.) (11).

Donde: DAP= diámetro a la altura de pecho con corteza (cm.)  
D= diámetro a 50 cm. sobre las gambas (cm.)  
H= altura total (m.).

Por otra parte, a través de estudios realizados a nivel local, se han generado tablas de volumen local, como producto de estudios de tesis de grado, en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, (FAUSAC). De estos, el trabajo mas importante es el de *Martínez Corea (31)*, el cual contempló como información adicional, el volumen de ramas de *P. rudis*, cuyo volumen promedio fue de 0.053 m<sup>3</sup>. de madera por árbol, el cual es básicamente el volumen de copa de esa especie.

Según el uso y la demanda comercial de la madera de fuste y copa, se han definido diámetros mínimos. *Peters (45)*, indica que la madera del fuste sobre un índice de utilización de 10 cm. ya no es útil para aserrío y su uso solo se restringe para leña o pulpa.

Otros autores (*CATIE <9>*, *Rodríguez y Moreno <47>*, *Spur <51>*), indican que el rango de diámetro comercial de leña es de 2.5 a 10 cm. *Salazar (49)*, indica que los diámetros de fuste y ramas por debajo de 2.5 cm. se consideran como follaje.

#### 4.1.3. Métodos de cubicación de leña:

Se entiende por leña, todas las maderas destinadas para energéticos y aquellas que por su calidad no pueden rendir mayores ingresos económicos en un mejor aprovechamiento, además de todos los árboles del bosque con DAP menores de 7 cm. (*Spur <51>*).

Según la *USAC (53)*, para la investigación y cuantificación de volúmenes forestales se usa el metro cúbico que es la unidad de medida adoptada en la ley forestal de Guatemala. Para la cubicación comercial de la madera como indican *Martínez H.(38)*, *Salazar R. (49)*, además del uso del metro cúbico, se usan también el pie tablar para maderas de aserrío; la tarea, la carga, el tercio de leña, el manojo, la raja y palito, para leña.

Según el *CATIE (7)*, *Salazar (49)*, el palito (rama rolliza) son leños de ramas con diámetros menores de 5 cm. con largos de 40 a 45 cm, u 80 a 100 cm. Una raja es un leño rajado de 45 a 75 cm. de largo. Un manojo equivale a 10 leños; un tercio 25- 27 leños; una carga 80 leños y una tarea 5 cargas o lo que es equivalente a un paralelepipedo con las siguientes dimensiones: 3.25 metros de largo (4 varas), 0.84 metros de alto (1 vara) y un ancho de 0.51 metros (aproximadamente 3/4 de vara), ancho que corresponde al largo de la leña que se produce en las regiones de Chimaltenango y Sacatepequez; sin embargo, en otras regiones del país este largo de la leña es variable.

*Hernández (30)*, indica que la leña comercial, ha tendido a reducirse de tamaño, produciendo leñas hasta de 40 cm. de largo, porque el maderero y el comerciante de madera y leña con esta reducción de tamaño de leña busca obtener mayores beneficios económicos; considerando esto como uno de los efectos de la reducción de las fuentes de la materia prima versus la demanda de leña.

#### 4.1.4. La importancia de la leña como energético:

*Vidal (58)*, indica que desde el punto de vista forestal, aun cuando la madera de las especies de pinus responden en términos generales a las características del leño de las coníferas, la aplicación, el valor industrial varía sensiblemente con las especies y con las condiciones del medio en que estas crecen

La industria forestal del mundo esta abastecida por dos grandes tipos de maderas: blandas, provistas en casi su totalidad de árboles de coníferas y; duras, provenientes de árboles de latifoliadas. Para destacar la importancia que tienen las primeras desde el punto de vista económico, las maderas blandas ocupaban para 1960 el 35% del área forestal del globo terrestre, en tanto que las maderas duras, el 65 % con una distribución del 50% en las regiones del trópico; pero la industria, por la característica del leño y la aptitud para la obtención de productos y subproductos de madera que el mercado reclama en su consumo anual, absorbe un 70% de maderas de árboles de coníferas.

El volumen de las cortas de madera en el mundo, alcanzaron en 1959 1,718 millones de metros cúbicos, de esa producción el 43% fue utilizado como energético (*Vidal <58>*).

En los países en desarrollo, la madera suele ser la principal fuente de energía para la cocina, calefacción, alumbrado, para uso industrial y otros. *Arnold y Joyman*, citados por *Martínez Corea (37)*, consideran que hasta un 80% de la madera producida en estos países se emplea como combustible.

*Valle Dawson (55)*, apunta que la mayor parte del consumo de leña en Guatemala se realiza en el área rural, donde se emplea como fuente de energía para el uso doméstico y para la pequeña empresa.

El 54% de la energía consumida en el país proviene de la leña, donde el 80% de los hogares del área urbana usan leña y en la zonas rurales la proporción llegó hasta el 97%, de modo que del total de madera

extraída del bosque, el 85% fue usada como combustible en forma de leña (*Martínez Corea <37>, Valle <55>*).

El censo habitacional de 1964 reveló que el 89% de hogares guatemaltecos utilizaron leña y carbón para la cocina nueve años más tarde (1973), este censo indicó que el 83% de los hogares cocinaron con leña y carbón (*CATIE <9>*).

*Martínez H. (38)*, indica que el consumo de leña anual varía entre 1.2 metros cúbicos por personas en las zonas secas, hasta 2.3 metros cúbicos en el altiplano guatemalteco, con promedio anual de 1.8 metros cúbicos por persona.

Estadísticas de la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, "DIGEBOS" de 1990 (16), indican que el volumen de leña proveniente de aprovechamientos forestales autorizados por el estado fue de 11,403 m<sup>3</sup>. de los cuales 3,882.043 m<sup>3</sup>. correspondieron a especies de coníferas. Por otra parte, estadísticas del sub-sector de biomasa y fuentes no convencionales del *Ministerio de Energía y Minas (27)*, reportó un consumo de 7,090,000 toneladas de leña para ese mismo año.

#### 4.1.5. Efectos de la densidad forestal en el rendimiento de maderas de la copa:

Con la edad, el porte de las especies coníferas varía sensiblemente, según si ha crecido aisladamente o integrando una masa forestal.

Cuando los pinos crecen aisladamente en parques o bosques abiertos, el desrame natural resulta casi nulo y el árbol presenta, con la edad una copa más o menos globosa, redondeada, achatada, abierta según características de la especie; por otro lado, los árboles que integran una masa forestal de mayor densidad presentan una copa de cono más alargado, fuste largo, desnudo y de escasa conicidad, cuyas características son valiosas desde el punto de vista maderero (*Vidal*

<58>).

La densidad o espesura de un rodal se explica generalmente en porcentaje e indica hasta que grado, el rodal está utilizando la capacidad productiva del sitio. Por ejemplo una densidad de 20%, indica que el sitio está siendo utilizado en el 20% de su capacidad (*Bazán <3>*).

Para medir la densidad de los rodales se pueden usar criterios como: volumen, área de la base del árbol y densidad de copa (*Bazán <3>*, *Peters <45>*, *Vanniere <56>*).

*Bazán (3)*, indica que en función del volumen y area basimétrica, un rodal de coníferas 100% denso tiene un volumen promedio de 200 m<sup>3</sup>/Ha. y un área basimétrica de 18 m<sup>2</sup>/Ha. y en función del número de árboles, *Vanniere (56)*, indica que en estos bosques densos existen aproximadamente 1,000 árboles/Ha. con especies de diferentes clases de diámetro

Para la densidad de copa, el criterio es la relación entre el espacio actual que ocupa la proyección de las copas de un rodal y la que ocuparía si su densidad fuera del 100% (*Bazán <3>*, *Burkhart <5>*).

Generalmente se clasifican los rodales por su densidad de copa en rodales de densidad alta, media y baja o también de copa denso, media y abierta, cuyos porcentajes pueden variar de 100- 70% para los primeros, de 70- 40% para los segundos y menos de 40% para los últimos (*Bazán <3>*, *Peters <45>*).

En el rendimiento de maderas, el porcentaje de volumen de las copas, en relación al volumen total, aumenta desde las clases diamétricas inferiores hacia las superiores. Este aumento sin embargo, varia mucho en intensidad de un tipo de bosque y especie a otro (*Veillón <59>*).

Por lo general, la porción del volumen de madera de la copa en relación al volumen total es menor en bosques densos que en bosques

ralos y esta relación porcentual aumenta de una clase diamétrica a otra superior. Cuando la porción geométrica decrece del número de árboles de una clase diamétrica a la clase inmediatamente superior es mas abrupta. Esto se explica por el grado de densidad de los árboles de clase diamétrica superior, los cuales cuando son menos densos facilitan el desarrollo de las copas de los árboles de las clases inferiores (*Veillon <58>*).

#### 4.1.6. Los inventarios forestales:

Un inventario forestal se suele considerar como sinónimo de la cantidad de maderas de un bosque, proporcionando información de volúmenes y crecimiento de los árboles (*FAO <12>*, *Gilchrist <15>*).

Para estimar los volúmenes de un rodal en pie se necesitan la utilización de tablas de volumen como herramientas auxiliares para facilitar y simplificar la cuantificación de la masa forestal. Estas tablas normalmente se utilizan para cubicar los rodales en donde fueron elaboradas y para árboles dentro de una extensión de diámetros y alturas (*Burkhart <5>*).

Estas tablas constituyen el fundamento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de los métodos de ordenación de montes, organización de planes de explotación y formulación de políticas forestales, así como para la creación de sistemas de protección y aprovechamiento económico de los bosques (*FAO <12>*, *Gilchrist y Gilchrist <15>*).

En los inventarios forestales elaborados en Guatemala se han cuantificado parcialmente los volúmenes de madera, donde regularmente se ha cubicado solo la madera del fuste y no se conoce hasta ahora estudios de cubicación reportando volúmenes totales, por carecer de tablas de volumen que permiten hacer dicha cuantificación, porque

talves, en el pasado no era significativa la demanda de la madera de la rama de los árboles para usos industriales y domésticos como está sucediendo actualmente (*Hernández M. <30>, Herrera F. <31>*).

Para el inventario de maderas de coníferas se ha efectuado utilizando la tabla de volumen de especies coníferas de *Peters (44)*. Para la evaluación de volúmenes de maderas en aprovechamientos forestales autorizados por el estado, en la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, "DIGEBOS", se ha comprobado que los volúmenes de madera reportados con los inventarios forestales solicitando aprovechamientos de madera han sido menores que los volúmenes autorizados. Estos excedentes de madera regularmente ha correspondido al volumen de madera de la copa, los cuales no han sido reportados en dichos inventarios (*Hernández <30>, Herrera <31>*). Por lo que *Hernández M. y Herrera F. (30, 31)*, sugieren que el resultado de los inventarios forestales, deben de referirse como volúmenes de fuste y no como volúmenes totales como equivocadamente se han expresado.

#### 4.1.7. Tablas de volumen:

##### A. Generalidades:

Las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas de volúmenes de árboles en pie llevaron desde hace tiempo, el desarrollo de metodologías para la elaboración de tablas de volumen (*Loján <35>*).

Una tabla de volumen se construye con la finalidad de cubicar los árboles con base en los datos que se toman en el campo; estos datos puede ser el diámetro solamente, diámetro y altura, o diámetro, altura y un factor diamétrico de forma (*Loján <35>*)

*Rodríguez y Moreno (47)*, definen a una tabla de volumen como una expresión tabulada del volumen de árboles en función de una o más de sus dimensiones. El propósito de éstas es proporcionar una tabulación que exprese el contenido medio de maderas de los árboles en pie de diversos tamaños y especies (*Burkhart <5>, FAO <12>, Rodríguez y Moreno <47>*).

*Loján (35)*, citando a Chapman & Meyer (1949) indica que las tablas de volumen se clasifican según el tipo de volumen que tratan de estimar; así se tienen: tablas de volumen total, volumen comercial, volumen sin corteza, volumen aprovechable, etc. Dentro de esta clasificación también se pueden clasificar según el número de variables que toman en cuenta para estimar el volumen; así se tienen:

- a. Tablas de una sola entrada o tarifa. Esta tabla permite leer el volumen con base en el dap.
- b. Tabla de volumen estándar o de doble entrada, en las que para leer el volumen se lee primero el diámetro y la altura después.
- c. Otras tablas. *Cailles (6)* y *Loján (34)*, citando a Meyer (1953), indican que existen otros tipos de tablas, vale decir una de triple entrada, aunque en la práctica no se denomina así. Este tipo de tabla considera tres tipos de variables independientes: el DAP, altura, un factor diamétrico de forma u otra para estimar el volumen. *Loján (34)*, indica que en este tipo de tabla para el volumen se lee primero la clase de forma, luego el diámetro y finalmente la altura.

Para la elaboración de las tablas, *Freese (13)*, *Loján (34)*, citando a Husch (1963) y la *FAO (12)* recomiendan el empleo de técnicas de regresión para el proceso y análisis de datos como una fase de construcción de una tabla de volumen. Esa técnica elimina la subjetividad de otros métodos.

*Alder (1)*, *Loján (34)*, *Peters (44)*, *Rodríguez (47)*: indican que las etapas fundamentales para la construcción de una tabla de volumen son:

1. Elección de la muestra.
2. Mediciones de campo.
3. Cubicación de los árboles muestra.
4. Análisis de regresión:
  - a. Selección de variables independientes.
  - b. Selección del modelo mas apropiado.
  - c. Comparación estadística entre las funciones de distintas especies, tipos forestales y eventual agrupación de ellas.

5. Prueba de tablas.
6. Determinación de las funciones definitivas y despliegue de tablas.

#### B. Elección de la muestra:

La elección de los árboles muestra debe ser objetiva y representativa del rodal a cubicar .

Las poblaciones objetos de inventarios, como los árboles para la construcción de tablas de volumen, parcelas para inventarios forestales, son regularmente grandes para ser completamente cuantificadas o enumeradas, por lo que para simplificar estas tareas se recurre al muestreo estadístico (*FAO <11>*).

El diseño de un estudio de cuantificación forestal es generalmente una combinación de diseños de muestreo y la superficie forestal puede describirse como el universo estadístico y la muestra elegida como unidad de muestreo, en cuyas unidades se puede seleccionar aleatoriamente los árboles según la finalidad de los estudios, pudiendo ser para inventarios o para la elaboración de tablas de volumen o para otras finalidades (*FAO/FYDEP <11>*, *Latorre <33>*, *Peters <42>*).

El muestreo aleatorio es un método fundamental de selección objetiva; este método elimina el error sistemático y permite calcular con precisión la estimación (*Burkhardt <5>*, *FAO/FYDEP <11>*, *FAO <12>*, *Latorre <33>*).

Los otros métodos de muestreo utilizados para la elaboración de tablas de volumen son: el método de Neyman y el muestreo puntual horizontal. El método de Neyman toma las muestras por clases diamétricas proporcionales al volumen de cada clase. El otro método (puntual horizontal) selecciona las muestras proporcionales al área basal; ambos procedimientos parecen ser de forma intuitiva seguros pero han resultado dificultosos para lograr datos en forma objetiva (*FAO <12>*, *Vanniere <56>*).

Al preparar un plan de muestreo se debe tener presente las siguientes condiciones (*FAO/FYDE* <11>, *Spur* <51> ):

- a. El sistema de estratificación.
- b. Empleo de muestras con probabilidad proporcional al tamaño del estrato.
- c. Distribución de las unidades de muestreo en los estratos.
- d. Estimación del número de unidades de muestreo requeridas para obtener la estimación deseada dentro de los límites de exactitud aceptados.
- e. Forma y extensión de las unidades de muestreo.

Cuando los procedimientos de selección de las muestras en la población son adecuadas, las técnicas de muestreo aleatorias son útiles para:

- a. Conseguir una estimación de los verdaderos valores de la media y del total de la población de un parámetro dado, a partir de los valores de éste parámetro en los elementos del muestreo.
- b. Conseguir una estimación de la media o del total, obtenidos por medio de la muestra.

*La FAO (11)*, indica que la estratificación basada en las clases forestales permitiría controlar no solo la intensidad sino también el tipo de muestreo; por otro lado *Spur (49)*, explica que para reducir la variabilidad de un parámetro en la población total y consecuentemente el error de muestreo de la estimación, generalmente se consigue al dividir la población en sub-poblaciones o estratos mas homogéneos o lo que equivale a segregar la superficie boscosa en áreas homogéneas y efectuar en muestreo en cada estrato.

*La FAO/FYDEP (11)* y *Spur (49)* recomiendan que la estratificación se debe efectuar previa a la selección de la muestra; esta es la verdadera estratificación o estratificación a priori y esto es posible solo si se disponen de fotografías aéreas o mapas forestales detallados

Para un muestreo con el auxilio de sensores remotos, se debe

establecer un número necesario de puntos muestra sobre las fotografías aéreas para el área forestal de interés. En la práctica, bastará con una distribución aleatoria o sistemática de puntos por medio de una retícula de puntos y en una etapa posterior, ubicar estos puntos en el campo y la sucesiva recopilación de la información.

Si el muestreo se efectúa valiéndose de la aerofotografía en vez de mapas, habrá que adoptar técnicas de concentración y desplazamiento de puntos con la finalidad de reducir al mínimo los errores, debido a que la fotografía aérea no es un mapa sino una imagen descriptiva que altera las imágenes y las escalas en mayor o menor grado (FAO/FYDEP <11> ).

#### C. Número de muestras:

En cuanto a la distribución de especies, una especie muy frecuente puede ubicarse por separado si representa un 30% de la cobertura forestal en una región, mientras que una especie escasa puede agruparse con otras de forma semejante para la construcción de una tabla de volumen (Ugalde <54>, Vanniere <56>).

Vanniere (56) y Loján (34), plantean que para la construcción de una tabla de volumen se necesitan datos de campo y el volumen de 3 a 5 árboles por clase diamétrica.

Freese (13) y la FAO (12), indican que se necesita una muestra mínima de 30 árboles de una especie para ser estadísticamente aceptables para inferir respecto a una población estimadas de razón. Asimismo Vanniere (56), indica que cuanto mayor es el número de muestras, mas precisa es la estimación, pero ello también depende de muchos factores, tales como los rangos de los diámetros y de la altura de los árboles, la extensión superficial, el tipo de bosques, la variedad de factores estacionales y otros.

Rodríguez y Moreno (47), sugieren que el rechazo de árboles para una muestra

con características poco deseables y no representativas del bosque como deformaciones, fustes inclinados, bifurcados, etc. debe efectuarse sobre una base segura. Como principio general es que ningún árbol tipo debe ser rechazado, si la correspondiente ecuación de cubicación es aplicable a los árboles con las mismas características dentro del bosque.

En cuanto al tamaño de parcelas de muestreo, *Gilchrist (15)* y *la USAC (53)*, indican que el tamaño de parcelas para el muestreo de árboles de coníferas puede ser menor que el que se utiliza en bosques de latifoliadas, debido a la mayor densidad por superficie, menor dispersión en diámetros y volumen. Parcelas de 500 m<sup>2</sup>. (0.05 Has.) para bosques de coníferas y 1,000 m<sup>2</sup>. (0.10 Has.) para latifoliadas, son áreas suficientemente adecuadas. *Vanniere (56)*, en estudios que efectuó en bosques de coníferas de Totonicapán, estableció que para inventarios y para obtener muestras para elaborar tablas de volumen, sugiere un tamaño de sitios de muestreo de 200 m<sup>2</sup>. (0.02 Has.), extensión en la que se puede obtener una muestra de 10 a 20 árboles en bosques naturales de estrato denso.

#### D. Cubicación de árboles:

Según *Veillón (57)*, *Martínez (37)*, *Salazar (49)* y *Burkhart (5)* el volumen de madera de un árbol los constituyen los volúmenes del fuste y las ramas hasta un índice de utilización de 2.5 cm. y porciones de los árboles con diámetros menores de 2.5 cm. se consideran como follaje.

*Burkhart (5)* y *Spur (51)*, indican que para calcular el volumen de los árboles se requiere conocer, dependiendo de las secciones de interés, los siguientes volúmenes:

- a. Volumen total: madera + corteza + ramas
- b. Volumen del fuste o tronco: Vol. total + corteza - ramas.
- c. Volumen de madera del fuste: Vol. fuste - Vol. corteza.
- d. Volumen de ramas: Vol. total - Vol. madera.
- e. Volumen comercial: Vol. de madera, de corteza o de ramas que se venden.

f. Volumen de corteza: Vol. de fuste - Vol. de madera.

*Burckhart (5)*, considera que si bien las ramas también tienen madera y corteza, su volumen se considera aparte por el uso que se les da, muchas veces son un desperdicio.

Según *Loján (35)*, en la práctica forestal se presentan generalmente dos necesidades:

1. Conocer el volumen exacto de un árbol.
2. Conocer el volumen aproximado de un árbol.

En el primer caso se recurre a la medición de todas las partes del árbol para su cubicación; a esto se le llama medición del volumen. En el segundo caso se recurre a la medición de una o mas variables y con base en ellas, se estima el volumen.

Para conocer el volumen de un árbol o sus partes con bastante exactitud se puede seguir distintos métodos:

1. El desplazamiento de agua (principio de Arquímedes).
2. El peso (relación entre volumen y peso).
3. La cubicación (medida de dimensiones geométricas).

Según *Loján (35)*, los dos primeros métodos se usan con muchas limitaciones, aunque son mas precisos que el de cubicación, pero la cubicación es el método que mas usa el técnico forestal.

**a. Cubicación de fustes o troncos:**

*Alder (1)*, *Spur (49)*, indican que el camino mas simple de cubicar árboles volteados (talados) es dividir el fuste en secciones semejantes a trozas para luego cubicar cada sección con las fórmulas conocidas, vale decir:

- a. Smalian
- b. Huber
- c. Newton
- d. Fórmula del cono y otras.

### b. Cubicación de ramas:

Según *Loján (35)*, una forma de cubicar las ramas es tendiendo al método gráfico, pero según el uso que se les da, se puede recurrir a un método mas preciso o menos preciso.

*Loján y la USAC. (34, 53)*, indican que un método muy común consiste en el apilamiento, generalmente usado para la venta de leña. La unidad mas común en este método es el estereo (1 m<sup>3</sup>). El volumen varia de acuerdo al diámetro de las ramas, a la cantidad de espacios vacíos en el apilado, etc.

*Loján (35)*, indica que se puede utilizar el peso, pero este depende en gran parte de la humedad de la leña.

Sin embargo, *Cailliez y Latorre (6, 33)*, indican que para cubicaciones de madera apilada (utilizando el sistema métrico decimal) se miden los diámetros extremos de las secciones tratando de mantener un largo fijo o constante de las secciones; y para el cálculo de volúmenes se puede utilizar la ecuación:

$$Vr = (\pi/4 * \sum L * (\sum D^2_1 + \sum D^2_2)) + (\pi/12 * (D^2_1 + D^2_2 + D_1 * D_2) * L)$$

Donde:

Vr= Vol. de ramas

L= largo de secciones

D= diámetro de secciones.

### E. Ecuaciones de volumen y el análisis de regresión:

Los métodos usados para la confección de las ecuaciones de volumen son métodos estadísticos utilizando técnicas de regresión para obtener ecuaciones. Según *Freese (14)*, los métodos de regresión eliminan la subjetividad de otros métodos y permiten expresar el error de la relación.

*Alder y Burkhart (1, 5)*, indican que previo a la elaboración de una ecuación que servirá para construir la tabla de volumen, se sugiere primero elaborar una matriz de correlación de variables para construir los modelos que se consideran apropiados y cercanos a un modelo perfecto para evitar la elaboración de trabajos inútiles y pérdida de tiempo.

Según *Loján (34, 35)*, hay dos tipos de ecuaciones para la construcción de una tabla de volumen: lineales y no lineales. Las ecuaciones lineales se agrupan en dos categorías así:

- a. Ecuaciones de regresión lineal simple.
- b. Ecuaciones de regresión lineal múltiple.

Con las ecuaciones de regresión lineal simple se elaboran tablas de volumen local y con las de regresión múltiple tablas de volumen estándar y tablas de volumen con mas de dos variables independientes o tablas de volúmenes mas elaboradas.

Las tablas de volúmenes mas elaboradas (mas de 1 variable independiente) se han desarrollado con propósitos de inventarios forestales nacionales o para buscar una mayor precisión en la estimación del volumen de los árboles. Estas variables independientes pueden ser el DAP, la altura total, factor de forma, etc.

#### a. Análisis de regresión múltiple:

Cuando una variable predictora es función de mas de una variable independiente, requiere para su solución ecuaciones de regresión múltiple, cuya forma general es:

$$y + b_0 + B_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i + E$$

Donde:

$b_i$ : coeficientes a estimar por la regresión ( $i=0, 1..p$ )

$X_i$ : son las variables predictoras ( $i= 1, 2, 3..,p$ ).

$E$ : es el error aleatorio que refleja la diferencia entre una

observación individual y su verdadero valor esperado (*Alder <1>*, *Méndez <39>*).

*Méndez (39)*, sugiere que las variables predictoras sean del siguiente tipo:

- a. Cada  $X_i$  debe ser una variable independiente o variable básica diferente.
- b. Algunas de las variables pueden ser combinaciones y/o transformaciones de otras variables, "lo cual según *Alvarez*<sup>4</sup>, no es deseable".
- c. Algunas variables pueden ser condicionales, teniendo solo valores de cero y uno.

*Alder (1)*, indica que en muchos aspectos del campo forestal solamente están implicadas un número reducido de variables básicas independientes, a menudo 2 o 3; pero a veces con otras 2 o 3 variables construidas como transformaciones, lo cual como indica *Alvarez*<sup>4</sup>, tampoco es deseable".

Según *Behar (4)*, las pruebas básicas que se realizan en una regresión múltiple son:

- a. Prueba de significancia de los parámetros de estimación, para probar si todas las variables independientes contribuyen o no en la predicción de la variable dependiente.
- b. Coeficiente de determinación múltiple, como una medida del ajuste de la regresión a los datos.
- c. Multiplicadores de Gauss, para el cálculo de límites de confianza sobre el valor medio de Y de la regresión.

Así como en la regresión lineal, se calculan los parámetros y estadísticos necesarios. Estos se estiman usualmente por medio de programas de computación, porque los cálculos manuales son tediosos y propensos a cometer errores. La secuencia de los cálculos que se

---

<sup>4</sup> *Alvarez Cajas V. 1,993. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, "FAUSAC". Variables de una regresión lineal múltiple. Guatemala. 6 (Comunicación personal).*

efectúan son los siguientes (*Alder <1>*):

- a. Computación de la matriz de correlación entre las variables.
- b. Definir el modelo a ser ajustado y tabular los valores de las variables.
- c. Formar los totales y los productos cruzados de las variables.
- d. Corrección de las sumas de productos.
- e. Obtención de los valores de los coeficientes por inversión de la matriz de productos cruzados, usando el método de eliminación de Jordan.
- f. Calcular la suma de cuadrados totales de la regresión y residual, el coeficiente de determinación múltiple, el valor de F y la desviación estándar residual.
- g. Cálculo del error estándar y de los valores de t para los coeficientes de regresión.

#### F. Selección de variables:

Según Méndez (39) y Freese (13), el propósito de la selección de variables, es seleccionar las variables independientes mas consistentes dentro de un subconjunto de variables independientes ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ , i.e. el mas importante) en el correspondiente mejor modelo de ecuación de regresión ajustado para describir la relación entre estas y la variable dependiente (Y). Esto es equivalente a probar si todas las variables independientes o parte de ellas ( $X_i$ ) contribuyen en la predicción de Y.

Según Méndez (39), los métodos para la selección de variables independientes que se describen en esta sección, son los métodos mas frecuentemente utilizados en la práctica, pero no son todos los métodos existentes en la literatura ni necesariamente los mejores para todas las situaciones que se pueden presentar. Estos son:

- a. Procedimiento de todas las regresiones posibles.
- b. "Forward" o método de eliminación hacia adelante
- c. "Backward" o método de selección hacia atrás.
- d. "Stepwise" o selección por pasos.

Además de estos métodos El *Instituto SAS* (50), refiere otros métodos como: MAXR, MINR, entre otros.

Méndez (39), indica que para efectuar la selección de variables, es importante considerar lo siguiente:

- a. En el conjunto de variables independientes por explorar, no deben de existir muchas variables independientes por ejemplo:  $X_4 = X_1 * X_2$ ,  $X_5 = X_5^2$ ,  $X_6 = \text{Cos } X_3$ ). Cuando esto ocurre se producen resultados inestables. Lo cual según Alvarez<sup>5</sup> no es recomendable.
- b. Es posible arribar a diferentes modelos usando diferentes métodos.

---

<sup>5</sup> ALVAREZ CAJAS, V. 1991. Variables de una ecuación. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, "FAUSAC". (Comunicación personal).

- c. Muchas veces un mismo procedimiento produce varios modelos que son razonablemente buenos.

a. Método de selección hacia atrás o "Backward":

Procedimiento:

Paso 1: Ajústese un modelo con todas las variables independientes. En el ejemplo del cuadro No. 3, el modelo ajustado es:

$$\hat{Y} = -1.9704 + 0.4919X_1 + 0.1716X_2 + -0.003X_3$$

La correspondiente tabla del ANDEVA es la siguientes:

Cuadro 3. ANDEVA de todas las variables para la selección de variables independientes, Método backward (Ejemplo).

F.V.	g.l	SC	CM	Fc	$\alpha$	R <sup>2</sup>
Regresión ( $X_1, X_2, X_3$ )	3	11.365	3.788	13.479	0.008	0.786
Error	11	3.0917	0.2811			
Total	14	14.4573				

FUENTE: Méndez (39)

Paso 2: Cálculo de las F parciales para cada variable como si esta fuera la última en entrar en el modelo.

Cuadro 4. F parciales de todas las variables; Método Backward (Ejemplo).

Variable	F parcial	F <sup>l</sup> 11, 0.025
X <sub>1</sub>	27.9307	1.47
X <sub>2</sub>	2.3852	
X <sub>3</sub>	1.4458	

FUENTE: Méndez (39)

Paso 3: Se elige la F parcial mas pequeña y se denota por F<sub>L</sub>. En el ejemplo F<sub>L</sub> = 1.4458.

Paso 4: Comparaciones del valor de F<sub>L</sub> con un valor crítico seleccionado con anterioridad el cual se ha denotado por F<sub>0</sub>.

- a. Si  $F_L < F_0$  se elimina del modelo la variable bajo consideración y se recalcula la regresión para las variables restantes y se repiten los pasos 2, 3, y 4.
- b. Si  $F_L > F_0$  se adopta la ecuación de regresión calculada.

En este ejemplo  $F_L = 1.4458 < F_0 = 1.47$ , por lo tanto, se elimina la variable  $X_3$ .

Recalculando la ecuación de regresión usando  $X_1$  y  $X_2$  se obtiene:

$$\hat{Y} = -0.8448 + 0.5253X_1 + 0.0399X_2$$

La tabla del ANDEVA es la siguiente:

Cuadro 5. ANDEVA para las (n-1) variables para la selección de variables. Método Backward (Ejemplo).

F. V.	g.l	S C	CM	Fc	$\alpha$	$R^2$
Regresión ( $X_1, X_2$ )	2	10.959	5.479	18.797	0.0004	0.758
Error	12	3.498	0.291			
Total	14	14.457				

FUENTE: Méndez (39)

Las F parciales son las siguientes:

Cuadro 6. F parciales para las (n-1) variables para la selección de variables. Método Backward (ejemplo).

Variable	F Parcial	$F^1$ 12, 0.25
$X_1$	33.6854	1.46
$X_2$	4.3299	

FUENTE: Méndez (39)

Como  $F_L = 4.3299 > F_0 = 1.46$  se adopta el modelo de regresión ajustado el cual incluye las variables  $X_1$  y  $X_2$ .

**b. Método de selección hacia adelante o "Forward":**

En el procedimiento de selección hacia adelante se procede como sigue:

Paso 1: Selección de la variable independiente con mayor correlación con Y y se ajusta el modelo de regresión lineal simple correspondiente. En el ejemplo se tiene las siguientes correlaciones:  $r_{YX1} = 0.8189$ ;  $r_{YX2} = 0.2808$ ;  $r_{YX3} = 0.2045$

Por lo tanto, la variable a entrar es  $X_1$ . El modelo de RLS ajustado es

$$\hat{Y} = -0.0878 + 0.5219X_1$$

y la parte del ANDEVA es:

Cuadro 7. ANDEVA de todas las variables, método Forward. (ejemplo)

F.V.	g.l.	CM	Fc	$\alpha$	R <sup>2</sup>
Regresión ( $X_1$ )	1	0.6971	26.4823	0.0004	0.6706
Error	13	0.3662			
Total	14				

FUENTE: Méndez (39)

Si el valor de  $F_c$  no es significativo a un nivel de significancia elegido con anterioridad, el proceso termina y se concluye que ninguna de las variables independientes es un predictor importante. En este caso la  $F_c$  es significativa con un:

$$\alpha = 0.025$$

Paso 2: Calcular con las F parciales para el resto de las variables en modelos que contengan esa variable y la seleccionada previamente. En el ejemplo se tiene:

$$F(X_2/X_1) = 4.3299$$

$$F(X_3/X_1) = 3.1839$$

Paso 3: Seleccionar la mayor F parcial y denotarla por  $F_M$ .

Para el ejemplo se tiene:

$$F_M = F(X_2/F_1) = 4.3299.$$

Paso 4: Pruebe la significancia para la F parcial elegida en el paso 3.

- a. Si es significativa añadir la nueva variable a el modelo.
- b. Si no es significativa, se usa el modelo con la variable que se eligió en el punto 1.

En el ejemplo,

$F_M = 4.3299 > F_{12, 0.025}^1 = 1.46$  De tal forma que se añade  $X_2$  a el modelo y se ajusta un modelo de regresión con las variables  $X_1$  y  $X_2$ , en este caso,

$$\hat{Y} = -0.8448 + 0.5253X_1 + 0.0399X_2$$

Paso 5: En cada paso subsecuente, se determina la F parcial para aquellas variables que no están en el modelo y adicionar a el modelo la variable con el valor de F parcial mas grande que sea significativa. Si en cualquier paso, la F parcial mas grande no es significativa, no se incluyen mas variables y el proceso termina.

En el ejemplo se tiene:

$$F(X_3/X_1, X_2) = 1.4461 < F_{11, 0.025}^1 = 1.47$$

Como el valor de la F parcial no es significativo, el mejor modelo es el ajustado en paso 4.

**c. Método de selección por pasos o "Stepwise":**

Este es el método de selección por pasos y es una versión mejorada del procedimiento de selección hacia adelante, que permite la reexaminación en cada paso de las variables incorporadas a el modelo en pasos previos. En cada paso se calcula y se prueba la F parcial para cada variable ya incluida en el modelo tratándolo como si fuera la variable mas recientemente incorporada independientemente de cuando entró a el modelo. La variable con la F parcial mas pequeña no significativa (si existe) se elimina, se ajusta a un modelo con las

variables restantes, se obtienen las F parciales y se examinan. El proceso continúa hasta que no entren ni se eliminen mas variables.

En el ejemplo se tiene:

- a. Entra  $X_1$
- b. Entra  $X_2$
- c. Se calcula  $F(X_1/X_2) = 33.685$  la cual es significativa y por lo tanto, no se elimina a  $X_1$ .
- d. Se examina si  $X_3$  debe entrar, la respuesta es no. El proceso termina.

#### G. Selección del mejor modelo de regresión:

*Behar (4)* y *Reyes (46)*, indica que un solo parámetro en una regresión proporciona ideas sobre algún rasgo de un fenómeno, por lo que difícilmente podría indicar si un modelo es adecuado o no. Para medir la bondad y elegir el mejor modelo propuesto se debe tomar en consideración los siguientes indicadores:

##### a. Error estándar (S):

Este indicador según *Méndez (39)*, se calcula previo a la búsqueda de los coeficientes de regresión. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\left( SCC_y - \left( \frac{SPC_{xy}^2}{(SCC_x) * (n-1)} \right) \right)}$$

El error estándar se puede expresar en porcentaje (%) con relación al promedio del volumen (v), mediante la ecuación:

$$S\% = \left( \frac{S}{\bar{V}} \right) * 100$$

Valores de S iguales o menores del 12%, indican que una ecuación puede sugerirse como aceptable para estimaciones, siendo mas precisas cuanto mas pequeño es el error.

**b. Índice de Furnival:**

Según Furnival (14), el índice de Furnival no es mas que la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME). De los modelos propuestos, puede considerarse adecuado aquel que tiene un índice de furnival pequeño.

$$\sqrt{CME} = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{SCE}{gIE}} = \sqrt{\frac{SCE}{(n-(p+1))}}$$

donde: SCE: Suma de cuadrado del error

gIE: Grados de libertad del error

S<sup>2</sup>: varianza muestral.

El CME por si solo difícilmente podría indicar si un modelo es adecuado o no; pero esta dificultad puede corregirse con el coeficiente de variación del modelo.

**c. Coeficiente de variación del modelo (CV.):**

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\bar{Y}} = \frac{S}{\bar{Y}}$$

Donde; Y: es la media de la variable dependiente y

S: desviación estándar muestral.

La interpretación del CV no es automática, puesto que no existe en general una cota para su valor, a partir de la cual pueda juzgarse como grande.

El juicio sobre lo relativamente grande o pequeño que resulta debe estar muy asociado con el fenómeno que se estudia, lo cual hace que la decisión sobre su magnitud relativa depende del conocimiento que el investigador tenga del área de estudio en que se plantea el modelo.

**d. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ):**

Esta es la estadística mas utilizada en las regresiones para la selección de ecuaciones.

Su valor de acotación está entre 0 y 1. Para una regresión lineal simple se define como:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SCE}{SCT} \right);$$

Donde;

SCE: Suma de cuadrados del error

SCT: Suma de cuadrados total.

Y para una regresión lineal múltiple se define como (Méndez <33>):

$$R^2_{Y/X_1, X_2, \dots, X_k} = \frac{SC(X_1, X_2, \dots, X_k)}{SCT}$$

Valores de  $R^2$  cercanos a 1 indican que los puntos observados están muy cercanos al modelo propuesto; en consecuencia un modelo con esta tendencia ayuda a seleccionar confiablemente el modelo a utilizar. Pero, este indicador se ha usado con frecuencia y sin reserva, lo cual ha conducido en ocasiones a muy malas interpretaciones con las consecuencias que ello ha conllevado.

Es posible que un modelo con  $R^2$  alto tenga una varianza grande en la predicción, lo cual lo haga muy pobre. Pero este problema se puede corregir con el coeficiente de determinación corregido.

**e. Coeficiente de determinación corregido o ajustado ( $R^{-2}$ ):**

En este indicador se involucra la relación del número de parámetros al número de datos así:

$$R^{-2} = 1 - \frac{(SCE / (n-p-1))}{SCT / (n-1)} = 1 - \frac{SCE}{S^2} * Y$$

$R^{-2}$  también está acotado por valores entre 0 y 1. Cuando la relación

entre el número de datos y variables es alto, el coeficiente de determinación corregido se utiliza como indicador confiable.

**f. Nivel de significancia observado (  $\alpha$  ):**

Para este indicador se usa la estadística:

$$FC = \frac{CMR}{CME}$$

La estadística  $F_c$  tiene distribución F de Snedecor con  $P, n-(p-1)$  grados de libertad. Así que en base a los datos observados, el valor de la estadística es  $F_c^*$ , entonces:

$$\alpha = P(F_c > F_t)$$

Donde:  $F_c$  = F calculada y

$F_t$  = F tabulada.

Un valor de ( $\alpha$ ) con tendencia a 0 (cero) indica una estrecha relación entre variables independientes (X) y dependientes (Y), por lo que valores cercanos a 0 (cero) pueden utilizarse como un indicador de bondad del modelo propuesto.

**H. Prueba de hipótesis para los coeficientes de regresión:**

Draper y Smith, citados por *Reyes (46)*, indican que la validez de todo modelo de regresión, se obtiene a través de una prueba de F, test con el cual se puede probar la validez de coeficientes de regresión para seleccionar modelos de regresión.

*Freese y Peters (13, 44)*, indican que con este método se puede por ejemplo, buscar una ecuación común para agrupar especies de forma semejante o, agrupar sitios cuyas ecuaciones pertenezcan a un mismo modelo, utilizando particularmente la prueba de paralelismo o coincidencia,

pruebas en las que se evalúan los valores de la coordenada en el origen y el valor de la pendiente o coeficientes de regresión (CATIE <9>, FAO <12>, Méndez <39>).

Las hipótesis usuales que se plantean para estas pruebas son las siguientes:

$$H_0: B_i = 0$$

$$H_a: B_i \neq 0$$

Donde  $i = 0, 1, 2, 3, \dots, p$

Debido a que se hacen estimaciones, en este caso se utiliza la prueba de "t" de student; donde:

$$t = \frac{b_i}{\sqrt{C_{ii} * S^2}}$$

Donde  $C_{ii}$ : es un multiplicador de Gaus para el coeficiente  $b_i$ .

$$S^2 = (1/n-k-1) * \frac{(\sum (Y_i - \bar{Y})^2 - (\sum (X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y}))}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

expresión que no es más que el cuadrado medio del error.

Para evaluar la hipótesis, se compara el valor de "t" calculado contra el valor de "t" tabulado.

#### I. Multicolinealidad:

Gujarati (29), indica que uno de los supuestos del modelo clásico es la no existencia de multicolinealidad entre las variables explicatorias (X's). En términos generales, la multicolinealidad se refiere a la

existencia de una relación lineal exacta o aproximadamente entre las variables X.

*Gujarati (29)*, citando a Frisch, indica que aunque el término colinealidad hace referencia a la existencia de una sola relación lineal, en la práctica el término multicolinealidad se refiere a ambos casos (colinealidad también). Para la regresión de k variables que involucra a las variables explicatorias  $X_1, X_2, \dots, X_k$  (donde  $X_1 = 1$  para todas las observaciones que permiten el intercepto) se dice que existe una relación lineal exacta si se satisface la siguiente condición:

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k = 0$$

Donde:

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$$

son constantes, sin que todas ellas sean simultáneamente cero, sin embargo el término multicolinealidad se utiliza en un sentido mas amplio con el fin de incluir el caso de multicolinealidad perfecta como se muestra en la ecuación anterior, así como el caso donde las variables independientes (X's) están intercorrelacionadas pero no perfectamente, sino en la forma:

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k + u_i = 0$$

Donde  $u_i$  es un término estocástico de error.

La multicolinealidad que se define aquí hace referencia solo a la relación lineal entre las variables X, dejando por fuera las relaciones no lineales.

*Gujarati (29)*, enfatiza que desde que las X's se supongan fijas o no estocásticas, la multicolinealidad es esencialmente un fenómeno muestral de regresión, aunque las X's no estén relacionadas en la población, pueden estarlo en la muestra. *Behar (4)*, explica que para el

número de variables para una ecuación de regresión se produce un caso típico de objetivos encontrados o competitivos, puesto que por un lado el incremento en el número de variables son convenientes para aumentar la explicación de la variación de la variable respuesta; paradójicamente, cuando se incrementa el número de variables predictoras en un modelo de regresión se aumenta el riesgo de padecer el problema de multicolinealidad, que incrementa la varianza de los estimadores de los parámetros, produciendo predicciones mas pobres.

Otras consecuencias de la multicolinealidad son: si existe perfecta multicolinealidad entre las X's, sus coeficientes de regresión son indeterminados y sus errores estándar infinitos. Si la colinealidad es alta pero no perfecta, la estimación de los coeficientes de regresión es posible pero sus errores estándar tienden a ser grandes. Por consiguiente, los valores poblacionales de los coeficientes no pueden estimarse de manera precisa.

Aunque no existen métodos seguros de detectar la colinealidad, hay muchos indicadores de ella, como los siguientes:

1. El signo mas disiente de la existencia de multicolinealidad es cuando  $R^2$  es muy alto (entre 0.7 a 1) pero ninguno de los coeficientes de regresión es estadísticamente significativo con base en la tradicional prueba t. *Gujarati (29)*. considera que este es naturalmente un caso extremo.
2. En modelos de solo dos variables explicatorias, se puede obtener una buena idea de la multicolinealidad examinando la correlación simple o de orden cero entre las dos variables, Si esta correlación es alta, la multicolinealidad es por lo general la culpable.
3. No obstante, los coeficientes de correlación de orden cero pueden ser engañosos en modelos de mas de dos variables explicatorias, pues es posible tener coeficientes de correlación de orden cero bajos y encontrar alta multicolinealidad. En situaciones semejantes es necesario examinar los coeficientes de correlación parcial.
4. Si  $R^2$  es alto, pero las correlaciones parciales bajas, hay

posibilidad de que exista multicolinealidad. En este caso una o dos variables pueden ser superfluas. Pero si  $R^2$  es alto y las correlaciones parciales lo son también, la multicolinealidad no puede ser detectada tan directamente.

5. Por consiguiente, se puede estimar cada  $X_i$  en función de las restantes  $X$  del modelo y encontrar los coeficientes de determinación correspondientes  $R_i^2$ . Un  $R_i^2$  alto sugiere que  $X_i$  está altamente correlacionada con el resto de las  $X$ 's, por lo tanto, se puede eliminar del modelo a  $X_i$  con tal de que esto no cause sesgos serios de especificación.

*Gujarati (29)*, indica que, así como en el caso de la detección de la multicolinealidad, tampoco existen métodos seguros para solucionar el problema propiamente dicho, sino solo unas pocas reglas muy generales, algunas de estas reglas son:

1. Usando información a priori,
2. Combinación de información de series de tiempo y de corte transversal,
3. Omitiendo una variable altamente colineal,
4. Transformando la información y,
5. Obteniendo información nueva o adicional

Y para saber cual de estas reglas funciona en la práctica, *Gujarati (29)*, indica que se tendrá que considerar la naturaleza de los datos y la seriedad que se de al problema de la colinealidad.

#### J. Prueba de tablas:

*Spur y la FAO (55, 12)*, indican que las tablas de volumen deben de comprobarse previo al uso y para el propósito de su elaboración, determinando si los volúmenes que estas refieren coinciden con los volúmenes verdaderos obtenidos de los árboles cubicados directamente en el campo. La aceptación de una tabla volumétrica preparada para una determinada localidad o especie, no es prudente utilizarla indiscriminadamente para regiones y especies diferentes, porque al proceder así se incurren en errores en el cálculo del volumen de los

árboles que invalidarían cualquier trabajo, por mucho cuidado que se haya tenido en su ejecución.

*Peters (44)*, indica que el mérito de las tablas se juzga por el grado de correspondencia entre los volúmenes estimados contra los volúmenes reales cubicados directamente en el campo. Algo inevitable, es que la estimación difiera de los volúmenes reales. Cuando esta diferencia es constante o represente una determinada función del valor, se dice que la tabla está sesgada; pero si la tabla proporciona valores fluctuantes con variabilidad alrededor de los valores reales, se dirá que carece de precisión. Lógicamente, la inexactitud depende de ambos, de los sesgos y la falta de precisión (*Latorre <33>*).

Según *Peters (44)*, el primer problema frente a la prueba de una tabla, es decir, el grado de diferencia que se presenta independientemente de la fuente de error, puede ser tolerado. El criterio que se emplea es que la diferencia entre los valores reales calculados en el campo y los tabulados, se pueden despreciar en todo el rango dimensional de los árboles individuales y que no muestre determinadas tendencias en clases particulares. Si las tablas llegan a sobrepasar los límites de tolerancia que se imponen, la fuente de error se elimina, de lo contrario, la tabla se descarta.

Según *Peters (44)*, para determinar esta precisión se utiliza el test de Freese.

**a. Test de Freese:**

La prueba de una tabla requiere según *Freese (13)*, de una precisión exigida, de una medición de la precisión lograda y finalmente de un método objetivo de decisión que permita establecer si la precisión lograda es igual a la requerida. El método de prueba que se utiliza, fue propuesto por Freese y básicamente es el test de chi cuadrado en que la condición de precisión está dada en forma de un error típico

máximo admisible. *Peters (44)*, indica que este error típico máximo admisible se determina de acuerdo a las exigencias del usuario; el usuario especifica para que error y grado de seguridad resulta aceptable la tabla de volumen.

Según *Vanniere (56)*, el error aceptado según el tipo de bosque se especifica así:

- a. 10% para bosques de coníferas y
- b. 20% para especies latifoliadas.

Esto se justifica por mayores dificultades que supone un estudio en bosques de latifoliadas, debido a la mayor dispersión en calidad, diámetro, volumen y especie.

Al imponer el 10% de error típico máximo aceptable para una tabla de volumen; este error típico corresponde según:

$$E = tS_{\bar{x}}$$

Para t con 95% = 1.96

a un error máximo admisible de un 20% para un 95% de probabilidad.

Simbólicamente esto significa:

$$E_i = \frac{p * V_{R_i}}{100}$$

donde p = valor porcentual del error

$V_{R_i}$  = valor real del volumen y la hipótesis en forma de error típico máximo admisible quedaría:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{E_i^2}{t^2} = \frac{p^2 * V_{R_i}^2}{100t^2}$$

y la ecuación de chi cuadrado por lo tanto:

$$\chi_{nGL}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(ve_i - vr_i)^2}{S_{x_i}^2}$$

donde  $ve_i$  = volumen estimado por la tabla  
para  $t = 1.96$  para 95% de probabilidad.

$$\chi_{nGL}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{196^2 * (ve_i - vr_i)^2}{p^2 vr_i^2}$$

$$\chi_{nGL}^2 = \frac{196^2}{p^2} \sum_{i=1}^n \frac{(ve_i - vr_i)^2}{vr_i^2}$$

donde:  $\chi^2_{(n-1) gl}$ : Test de Freese (chi cuadrado)

$p$ : valor porcentual del error admisible

$ve_i$ : volumen estimado con la tabla de volumen

$vr_i$ : volumen real (volumen calculado en el campo).

Con una prueba no significativa o sea cuando el valor de chi cuadrado calculado es menor que chi cuadrado tabulado, indica que la ecuación de volumen no es objeto de corrección, continuando con la siguiente fase de elaboración de una tabla o sea el despliegue de la misma; caso contrario, se procede con la corrección de tablas.

#### K. Corrección de tablas:

El método propuesto por *Freese (13)*, recomienda la corrección de las tablas por medio de un simple procedimiento, eliminando el error a través de una regresión lineal simple de volúmenes reales y estimados. Para la elaboración de las tablas para las especies coníferas de Guatemala, *Peters (44)*, comprobó que fue posible la eliminación de este error en forma lógicamente aproximada a través de una regresión lineal, de tal modo que se hiciera posible la disminución del error típico en todo el rango dimensional de los árboles, bajo el 10% de error establecido como máximo valor, condición de gran exigencia si se

considera que se trata de una tabla de aplicación general. Conocida la ecuación que relaciona los valores reales con los estimados,

$$Vr_i = f(Ve_i)$$

Con la ecuación original de la tabla que necesita corrección, se procede a corregir las tablas como se indica en el siguiente procedimiento:

$Ve_i = f(\text{Variables independientes a usar})$

Se podrá expresar Vr en función de las variables independientes tomados de los árboles medidos en el campo, reemplazando el valor de Ve en la ecuación  $Ve_i = Vr_i$ . Desarrollando la expresión, la nueva ecuación de volumen queda corregida.

Una ecuación de regresión entre los valores reales ( $Vr_i$ ) y los valores estimados ( $Ve_i$ ) para eliminar el error en las tablas, podría ser como la siguiente:

$$Vr_i = 0.089227 + 0.0947407 * Ve_i$$

Efectuando en cada una de ellas, el reemplazo de la ecuación original correspondiente se puede llegar a las expresiones de volumen corregido. Estas ecuaciones son evaluadas nuevamente con el test de Freese.

Para un valor de chi-cuadrado calculado, inferior al tabulado, significa que las funciones pueden cumplir con la condición impuesta, debiendo caer dentro de un error máximo admisible del 10% para un 99% de probabilidad (*Peters <44>*).

#### 4.2. MARCO REFERENCIAL:

##### 4.2.1. Características del departamento de Chimaltenango:

El departamento de Chimaltenango tiene una extensión de 1,979 km.<sup>2</sup>, con una división política de 16 municipios (*Guatemala. Diccionario Geográfico <19>*).

Su ubicación geográfica se enmarca entre los paralelos 14° 45' 37" y 14° 30' 00" latitud norte y entre los meridianos 91° 05' 20" y 90° 47' 30" longitud oeste (*Guatemala. Instituto Geográfico Nacional <26> e Instituto Geográfico Militar <18>*).

Los departamentos limítrofes son: Al norte con El Quiché y Baja Verapaz; al sur con Escuintla y Suchitepequez, al este con Sacatepequez y Guatemala y al oeste con Sololá y El Quiché (*Guatemala. Diccionario Geográfico <19>*).

Es uno de los departamentos que conforman el altiplano occidental por estar asentado sobre el sector central de la sierra madre (*GUA. SEGEPLAN/INAFOR <21>*; *GUA. Diccionario Geográfico <19>*) y *Mittak (40)*, indican que la topografía del departamento es muy variada. Sus alturas fluctúan entre 600- 3,975 m.s.n.m. por lo que su clima y sus suelos son también variados.

Sus suelos se han desarrollado sobre ceniza volcánica en elevaciones altas con tipos de suelos franco-arcillosos, franco-arenosos y francos.

*Mittak (40)*, indica que en 1977 del area total del departamento de Chimaltenango(1,979 km.<sup>2</sup>), el 34.8% de area estaba cubierto por bosques naturales diversos, de los cuales 190 km.<sup>2</sup> correspondían a bosques de coníferas.

De acuerdo a la información que proporciona el mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento de *De La Cruz (10)*, Chimaltenango presenta cuatro zonas de vida: Bosque muy húmedo subtropical (cálido), Bosque húmedo subtropical (frío), Bosque húmedo montano bajo y Bosque muy húmedo

montano bajo.

#### 4.2.2. Bosques de coníferas:

Los bosques del país se agrupan en cuatro tipos (*Castañeda et. al.* < 7 >):

- a. bosques de latifoliadas.
- b. bosques mixtos
- c. bosques de coníferas y
- d. manglares.

Los bosques de coníferas están concentrados principalmente en el altiplano occidental, región que abarca los departamentos de Chimaltenango, Sacatepequez, Sololá, Totonicapán, El Quiché, Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos, ocupando una extensión de 3,342 km<sup>2</sup>. Se encuentran estos bosques también en la región seca central (Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa), incluso en pequeñas áreas del Petén e Izabal (*Guatemala. SEGEPLAN/INAFOR* < 28 >).

Se encuentra en las regiones montañosas, donde el relieve es generalmente escarpado y el clima es templado y frío y son menos diversos que los bosques de latifoliadas y apesar de que ocupan menos area que éstos, son los mayores proveedores de madera para consumo interno.

Algunas de las especies de estos bosques son: *Cupressus lusitánica*, *Abies sp.*, *Pinus sp.* etc. (*Castañeda et. al.* < 7 >).

#### 4.2.3. Los pinos de Guatemala:

La literatura específica actual indica que en Guatemala existen siete especies y dos variedades de pinos: *Pinus pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *P. Chiapensis*, *P. caribaea*, *P. montezumae*, *P. tenuifolia*, *P. oocarpa*, además, dos variedades o sea el *Pinus montezumae* var. *rudis* y *P. oocarpa* var. *tecunumani* (*Mitak* <40>).

La flora de Guatemala (*Standley et al.* <53>), describe seis especies y una variedad. Mittak (40), citando a Holdridge, en la publicación "Las coníferas de Guatemala", describe seis pinos nativos y J. I. Aguilar, establece para Guatemala diez pinos, describiendo dos nuevas especies.

#### 4.2.4. Pinus pseudostrobus:

Según Peters (44), esta especie está estrechamente relacionada con la especie de montezumae, con la cual produce cruzamiento y los productos de aquella hibridación produce variedades difíciles de identificar y agrupar. En algunos casos, no es posible a simple vista resolver su identidad. Los largos y delgados retoños entrenodales, la corteza lisa en los árboles jóvenes, la ramificación y la parte superior de los fustes, la separa de la especie de montezumae. En la figura 1 se presenta un ejemplar de esta especie.

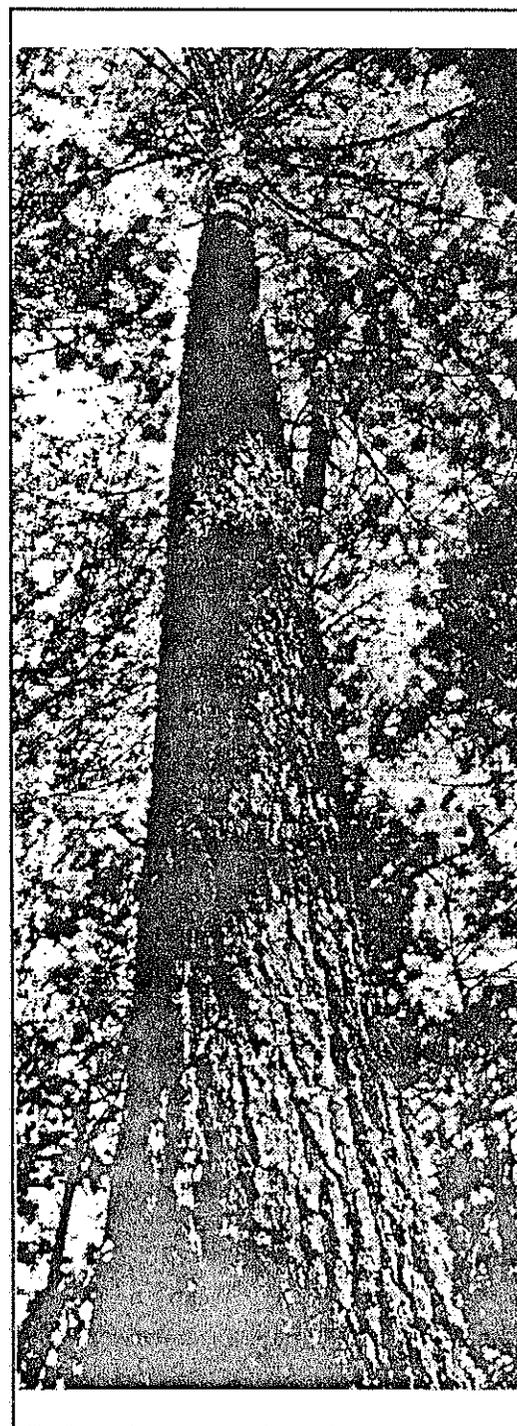
Esta especie tiene en Guatemala, tres variedades: acapulcensis, coatepequensis y Esteresii y una forma: protuberans y la especie oaxacana.

A. Descripción taxonómica de *P. pseudostrobus*:

Arbol hasta 45 metros de altura, con ramas extendidas y verticiladas, formando copas densas y redondeadas. En árboles jóvenes los crecimientos anuales (las partes entrenodales) son largas, de corteza lisa y de color café rojizo claro. Es característico para la especie que las ramas tiernas tengan un color blanco azulado. Las bases de las brácteas son esparcidas y frecuentemente adheridas dejando huellas sumergidas en las ramas. Esta característica sirve para diferenciarla de la especie de *P. montezumae*, porque esta última tiene retoños gruesos, con una apariencia mas o menos rojiza y las partes adherentes de las brácteas son densas, fuertes y persistentes.

Hojas en grupos de cinco por fascículo, de 17 a 29 cm. de largo, muy delgadas, colgantes, flexibles de color verde intenso, a veces con un tono glauco a amarillento en el final de la época seca.

Los cortes transversales de las hojas demuestran 2 a 4 canales resiníferos medios, rara vez con externo o interno. El hipodermo es casi uniforme, comprende de 2 a 3 hileras de células con ligeras



Fuente: Peters (44)

Figura 1. Especie ejemplar de un bosque de *Pinus pseudostrobus*

entradas en el clorénquima. El endospermo tiene sus paredes externas engrosadas. Dos haces fibrovasculares muy aproximados o contiguos, poco distinguibles. Las vainas son perennes, anilladas de 12 - 28 mm. de largo, de color castaño ceniciento algo brillante. Yemas oblongas cónicas, de color anaranjado. Conillos subterminales, oblongos, largamente pedunculados, solitarios o por dos grupos hasta tres, oscuros con escamas provistas de puntos, la cual posteriormente es caediza.

Conos ovoides o largamente ovoides de 7.5 a 12 cm. de largo, de color café claro, amarillento o moreno extendidos. levemente encorvados, no prontamente caedizos, sobre pedúnculos de 10 a 18 mm. a veces casi sésiles. Frecuentemente queda al pedúnculo con las escamas basales, formando una roseta sobre las ramas, al caer el cono. Maduración enero- febrero.

Las escamas son delgadas, quilla por lo común baja y poco marcada; cúspide pequeña deprimida, provista de una punta cónica, frágil y persistente (*Standley et. al.* <52>; *Peters* <44>)

## B. Distribución:

### a. Distribución a nivel nacional:

Según *Peters* (44), la especie no tiene tanta distribución en Guatemala como se menciona en algunas obras, porque en aquellas probablemente se incluye la especie *oaxana*, la que tiene en Guatemala una amplia distribución y las variedades *acapulcensis*, *coatepequensis* y la *esteresii*.

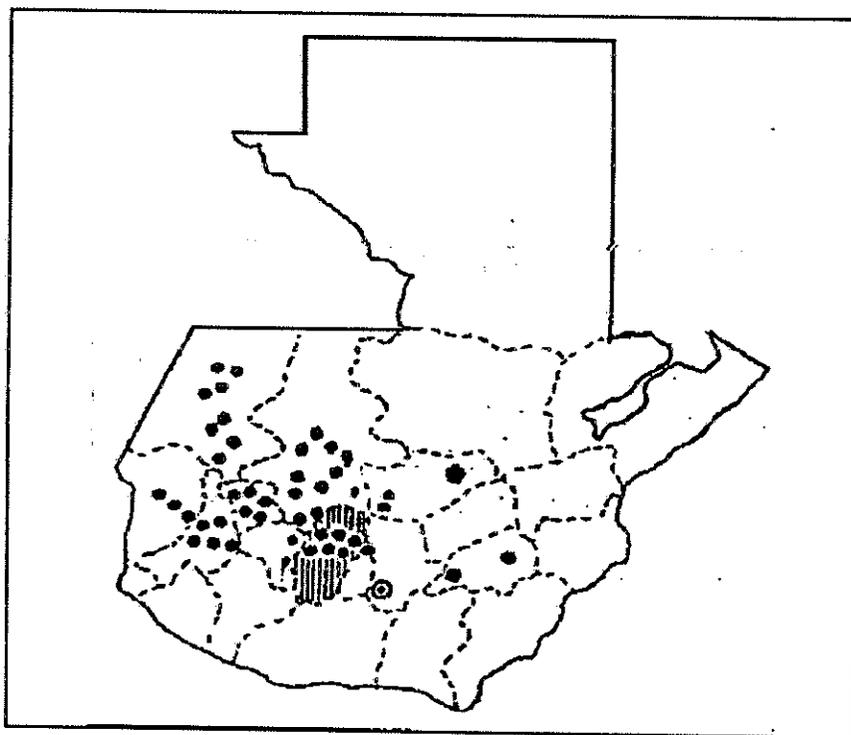
Según *De La Cruz* (10), *P. pseudostrobus* es indicadora de las zonas de vida: Bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo subtropical, con una mayor distribución en la primera.

En el altiplano occidental se distribuye entre altitudes de 1,000 a 3,600 m.s.n.m. (*De La Cruz* <10>). *Peters* (44), indica que la especie se encuentra distribuida en los siguientes departamentos: Totonicapán,

Huehuetenango, Quetzaltenango, San Marcos, El Quiché, Sololá, Chimaltenango, Sacatepequez, Guatemala, Baja Verapaz y Jalapa, como se observa en la figura 2.

**b. Distribución en el departamento de Chimaltenango:**

Según Peters (44), y se observado que esta especie se distribuye en las siguientes regiones y municipios: Comalapa, San José Poaquil, Santa Cruz Balanyá, Zaragoza, Colinas Santa Apolonia, colinas entre Comalapa y San Martín Jilotepeque, Patzún- Godines (Sololá), Patzún- Tecpán, Patzún- nueva carretera a Godines, Chimaltenango y San Martín Jilotepeque. En la figura 2 se presenta el area de distribución de esta especie en el departamento.



Escala mapa base 1:1,000,000/ Fuente: Peters (44)

Figura 2. Distribución de Pinus pseudostrobus a nivel nacional y en el departamento de Chimaltenango.

REFERENCIA:



Ubicación de los bosques



Area del  
departamentode  
Chimaltenango.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. Objetivo General:

Generar un modelo matemático para elaborar una tabla de volumen que permita la estimación de volúmenes de madera para leña del fuste sobre un índice de utilización de 10 cm. y en la copa hasta un índice de utilización de 2.5 cm. para bosques naturales densos de Pinus pseudostrobus Lindley de Chimaltenango.

### 5.2. Objetivos Específicos:

- 5.1. Cuantificar el volumen de madera del fuste terminal y de la copa.
- 5.2. Estimar el volumen de leña de P. pseudostrobus.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Localización de los sitios de muestreo:

Este estudio se efectuó en tres sitios de distribución natural de bosques homogéneos de Pinus pseudostrobus en el departamento de Chimaltenango.

Estos sitios se ubicaron en los municipios de Patzún, San Martín Jilotepeque y Tecpán Guatemala.

En cada municipio se seleccionaron y se ubicaron las tres áreas de muestreo, ubicando en cada uno tres parcelas de muestreo.

Previo a la selección de estos sitios se recopiló la información sobre la distribución natural de la especie, consultando a *De La Cruz y Peters (10, 44)* y con reconocimientos de campo para la identificación de los bosques. En esta etapa se tomaron muestras de la especie, las que se trasladaron al herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (AGUAT) para su determinación, para la prueba de homogeneidad.

En el cuadro 8 se describe la localización y características de cada sitio; en la figura 2 se presenta la distribución natural de la P. pseudostrobus. y en la figura 3 la localización de los sitios de muestreo.

Cuadro 8. Localización y características de las tres regiones de muestreo en el departamento de Chimaltenango.

UBICACIÓN POLÍTICA			UBICACIÓN GEOGRÁFICA		ALTITUD m. s. n. m	ZONA DE VIDA	CARACTERÍSTICA DEL AREA
SITIO	ALDEA	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD			
Mercedes	Vista Bella	Tecpán G.	14° 45'00" L N	91° 03' 25" L W	2,380	Bmh - MB	El bosque tiene una extensión de 13.11 ha. con dominancia de <i>P. pseudostrobus</i> .
Xepatán	Xepatán	Patzún	14° 43'18" L N	91° 04' 16" L W	2,425	Bmh - MB	Extensión 15 ha. en el que domina <i>Pinus pseudostrobus</i>
La Coyotera	Chipocolá	San Martín Jilotepeque	14° 47'56" L N	90° 45' 07" L W	2,390	Bh- MB	Extensión: 11.5 ha. bosque con <i>P. pseudostrobus</i> .

FUENTE: Datos de campo e información bibliográfica (De La Cruz <10>, Instituto Geográfico Nacional (26), Instituto Geográfico Militar (18), Diccionario Geográfico Nacional <19>)\*

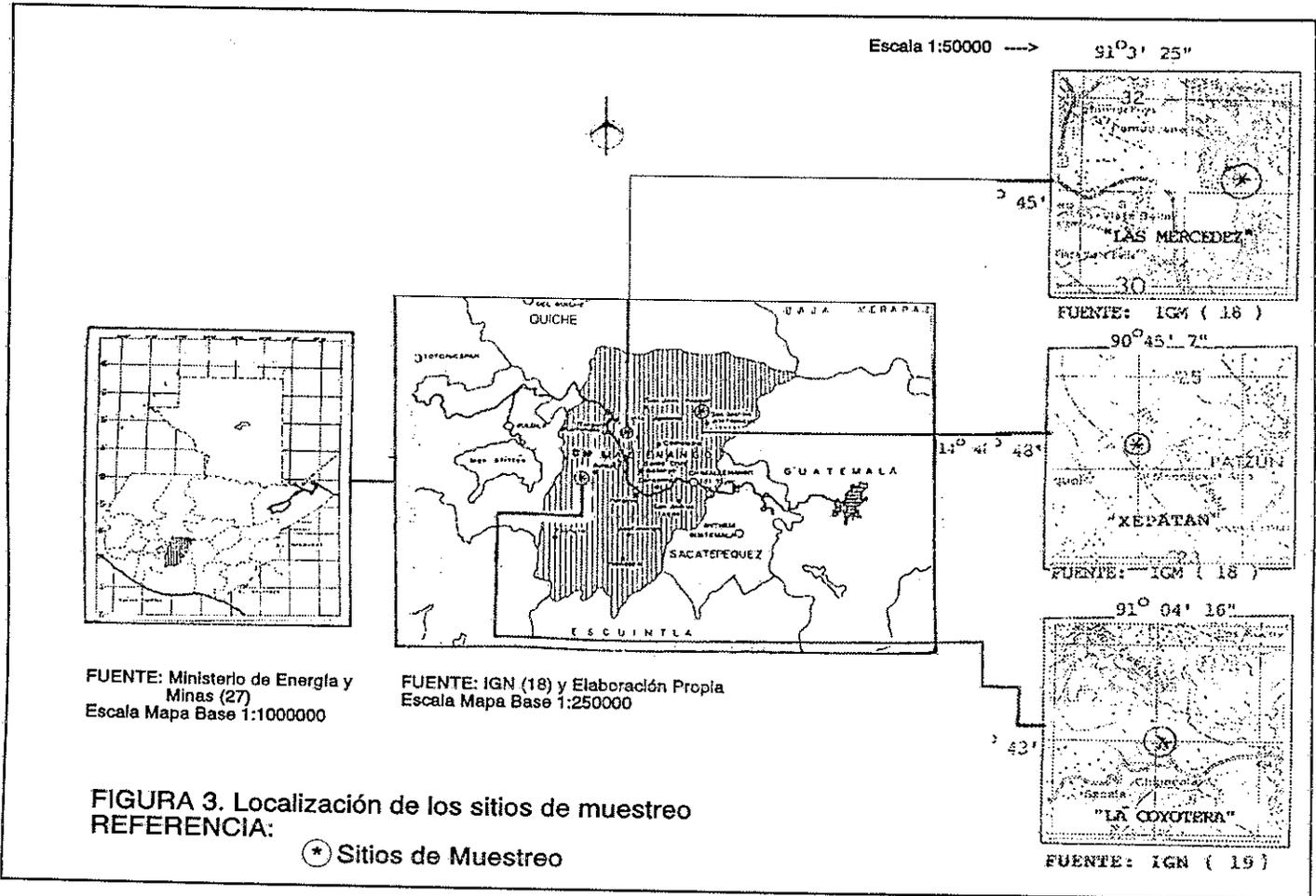
### 6.2. Fotointerpretación:

Se utilizaron las fotografías aéreas que cubrían el área de cada uno de los sitios de muestreo: Fotos Tecpán Guatemala, No. 46 y 47 rollo 81, escala 1:20 000 (IGN <24, 25>); Fotos Patzún, No. 15 y 16, Rollo 17, escala 1:30 000 (IGN <20, 21>); Fotos San Martín Jilotepeque, No. 149 y 150, rollo 101, escala 1:30 000 (IGN <22, 23>), interpretando y delimitando los estratos forestales con el uso de un estereo de espejos y un estereograma. Para la estratificación forestal en la fotografía aérea se utilizaron los criterios de *Peters (42)* y *Bazán (3)* así:

- a. Estrato denso: 80- 100% de densidad de cobertura de copa
- b. Estrato medio: 40- 70% de densidad de cobertura
- c. Estrato ralo: densidad de cobertura menor de 40%.

De estos tres estratos se delimitó, se trabajó y se analizó de forma exhaustiva el estrato denso.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



### 6.3. Selección de los puntos de muestreo en fotografía aérea:

En el bosque estrato denso de cada sitio de muestreo se seleccionaron y se ubicaron las tres parcelas de muestreo de forma circular, de 500 m<sup>2</sup> (0.05 Ha.) de tamaño.

Para elegir las se construyó y se superpuso sobre la fotografía aérea una matriz de puntos, donde los intersecciones de la matriz se constituyeron en puntos potenciales de muestreo. De ellos se seleccionaron tres en forma aleatoria, los que se identificaron perforando con un alfiler la fotografía aérea, y ubicados posteriormente en el campo.

Se utilizaron como materiales de apoyo las fotografías aéreas de cada sitio de muestreo escala 1:30,000 (IGN <20, 21, 22, 23>) y fotografías escala 1:20,000 (24, 25), hoja topográfica Tecpán Guatemala No. 2060 III, escala 1:50,000 de 1984 (18) y hoja topográfica Sololá No. 1960 II, escala 1:50,000 de 1982 (26), y un proyector Kail- M.

### 6.4. Selección de puntos de referencia:

La localización en gabinete de los puntos de muestreo respecto a los puntos de referencias, facilitaron su ubicación en el campo.

Los puntos de referencias escogidos fueron caminos y áreas agrícolas cercanos y de fácil acceso a los puntos de muestreo, precediendo así:

- a. Identificación de los puntos de referencias en las aerofotografías, en el reverso de las mismas se determinó el azimut respecto a los puntos de muestreo, utilizando transportador.
- b. Cálculo de la distancia entre los puntos de referencia y de muestreo, utilizando escalímetro.
- c. Los trazos se efectuaron a escala 1:30,000 y 1:20,000 (escala de las fotografías aéreas).

#### 6.5. Prueba de homogeneidad y chequeo de la fotointerpretación:

Según *Rojas (48)* con la prueba de homogeneidad se determina la precisión de informaciones inferidas con el uso fotografía aérea o dudas de identificación de especies forestales en el campo, por lo que mediante esta prueba se pudo determinar que *Pinus pseudostrobus*, es la especie del bosque trabajado, utilizando de referencia las muestras de campo colectadas en los sitios de muestreo y determinadas en el AGUAT (herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Asimismo, se chequeó el estrato forestal para afinar los límites del bosque denso, así como la ubicación de los puntos de referencias determinados en gabinete.

#### 6.6. Ubicación de las parcelas de muestreo en el campo:

La ubicación de las parcelas de muestreo se facilitó partiendo de los puntos de referencia determinados en gabinete y establecidos en el campo previamente, iniciando la medición de la distancia con cinta métrica a partir del punto de referencia, siguiendo la orientación (azimut) con una brújula hasta ubicar el punto de muestreo. Cada punto de muestreo se constituyó en el centro de cada parcela, sitio en donde se procedió a efectuar el deslinde de la parcela.

#### 6.7. Deslinde de parcelas:

##### 6.7.1. Corrección de radio de parcelas:

Se establecieron parcelas circulares con un tamaño fijo de 500 m<sup>2</sup> (0.05 Ha.), el radio de la parcela tuvo un valor de 12.62 m.

Para un trazo adecuado de parcelas previo al deslinde se efectuó la corrección del radio, eliminando con este tratamiento el efecto de la pendiente de los terrenos inclinados para la proyección y medición de

áreas reales, ya que en las áreas de muestreo la topografía era abrupta con pendientes entre 12 a 90%.

El radio se compensó dividiendo su valor normal (12.62 m.) por el coseno del ángulo de inclinación del terreno; siendo el valor del ángulo el arco-tangente de la pendiente. La medición de la pendiente se efectuó en el centro de cada parcela, realizando lecturas con clinómetro, una a favor y otra en contra de la pendiente, anotando el promedio de lecturas.

#### 6.7.2. Deslinde:

La medición de la parcela se efectuó con la ayuda de dos personas, cada una trasladando un extremo de la cinta métrica con desplazamientos alternos del centro a la orilla, hasta completar el deslinde.

Formaron parte de la muestra todos los árboles periféricos interceptados por el radio de la parcela.

#### 6. 8. Identificación y apeo de los árboles muestra:

Todos los árboles muestra se identificaron con un corte en X con machete a la altura del dap., descartando los árboles que no correspondieron a la muestra.

Con este criterio se tomaron muestras de diferentes clases diamétricas en forma arbitraria, talando 10 árboles en cada parcela, para 30 árboles por sitio de muestreo en cada uno de los municipios que se indican en el inciso 6.1., totalizando 90 árboles muestras en los tres sitios de muestreo en el departamento de Chimaltenango.

### 6.9. Medición de árboles y registro de datos de campo:

Previo al inicio de las actividades de campo y del apeo de los árboles, en las boletas de campo (cuadro 18A) se registró la siguiente información:

- a. Nombre del sitio
- b. Número de parcela
- c. Nombre del anotador
- d. Número de árbol
- e. Medición del dap
- f. Estimación de la altura total y altura de copa (con Hipsómetro de Hagga)
- g. Conteo del número de ramas por árbol.

#### 6.9.1. Mediciones en el fuste:

Apeado el árbol se midió y se registró en las boletas de campo los siguientes datos, los cuales también se diagraman en la figura 4):

- a. Altura total
- b. Altura de copa
- c. Largo de las secciones en que se subdividió la porción terminal del fuste (sobre un índice de utilización de 10 cm)
- d. Diámetros con corteza y
- e. Espesor de corteza.

El largo promedio de las secciones del fuste entre un índice de utilización de 10 y 2.5 cm. fue de 0.51 m. Esta sección de las especies de Pinus son de uso para leña.

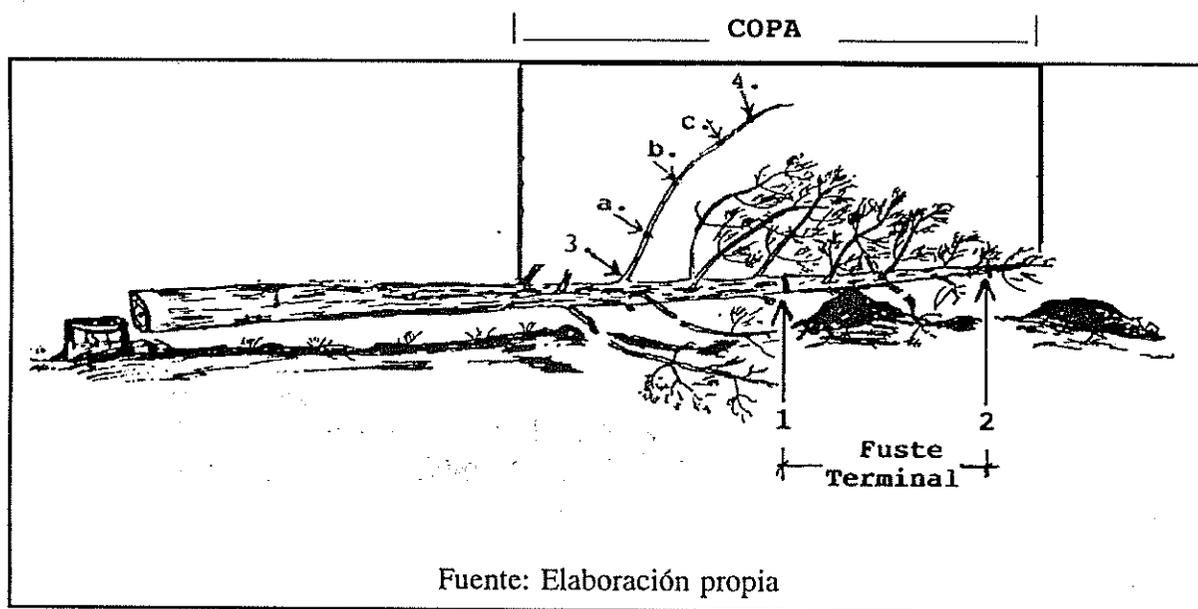
La primera medición de diámetros con corteza y espesor de corteza se efectuó a partir de los 10 cm. de índice de utilización, la última lectura se efectuó en la sección terminal del fuste a 2.5 cm. de diámetro. Sin embargo para evitar el efecto de los sectores deformes y anormales del fuste, los puntos de lectura de diámetros que cayeron en estos puntos, las lecturas se corrieron lo necesario, variando consecuentemente el largo de las secciones.

El largo de las secciones se registró en decímetros, los diámetros y espesor de corteza en milímetros.

#### 6.9.2. Mediciones en la copa:

Se desramaron los árboles que dificultaron las mediciones, rollándolas en la base del tallo para facilitar el registro de los datos. Las variables registradas (como se indica en la figura 4) fueron:

- a. Número de ramas
- b. Largo de secciones de cada rama
- c. Diámetro con corteza de ramas, y
- d. Espesor de corteza.



**Figura 4.** Diagrama que indica las variables registradas del fuste y copa terminal en árboles muestra.

**REFERENCIA:** 1: Diámetro sobre un índice de utilización de 10 cm. (fuste)  
 2 y 4: Diámetros hasta un índice de utilización de 2.5 cm. (fuste y rama)  
 3: Diámetro basal. a, b, c: Diámetros intermedios.  
 3-a, a-b, b-c, c-4: largo de secciones.

La sección en que se subdividió cada rama tuvo un largo promedio de

0.51 m. Las primeras lecturas de diámetros y espesor de corteza se tomaron en el diámetro basal y las últimas hasta un índice de utilización de 2.5 cm., los otros datos intermedios se tomaron a cada 0.51 m.

Para la lectura de diámetros que cayeron en puntos deformes se procedió a correrlos, de la misma manera como se trabajó para la toma de datos en el fuste. Se utilizaron las mismas unidades de medidas.

## **6. 10. Proceso de los datos de campo:**

### **6.10. 1. Cálculo del volumen de leña por árbol:**

El volumen de leña por árbol se obtuvo sumando los volúmenes parciales de leña del fuste y de la copa.

#### **A. Cálculo del volumen de leña del fuste:**

El volumen de leña del fuste se obtuvo sumando el volumen de cada una de las secciones.

Este volumen es del fuste terminal entre un índice de utilización de 10 y 2.5 cm. y para calcularlo se utilizó la ecuación de Smalian. Para esta ecuación el largo promedio de las secciones fue de 0.51 m. Los cálculos correspondientes se efectuaron en hojas electrónicas de Quattro Profesional (Q.PRO). Los cálculos efectuados se presentan en el cuadro 19A.

#### **B. Cálculo del volumen de leña de la copa:**

El volumen de leña en la copa fue el volumen de las ramas hasta un índice de utilización de 2.5 cm. y se obtuvo sumando el volumen de las ramas que la conforman.

Para el cálculo de volúmenes se empleó el mismo procedimiento y medio utilizado para el fuste.

## 6. 11. Análisis de la información:

La información se analizó en el Centro de Cálculo y Estadística (CEC) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, "FAUSAC".

### 6.11. 1. Análisis de regresión:

Considerando que el diámetro a la altura de pecho, "DAP"; altura total, "Ht"; altura de copa, "hc" y número de ramas, "NR" como datos de campo, bajo las condiciones de un bosque denso de coníferas se constituirían en variables independientes para estimar el volumen de leña como variable dependiente por lo que para la ecuación de volumen se efectuó un análisis de regresión lineal múltiple del siguiente tipo:

$$Vol = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 Ht + \beta_3 hc + \beta_4 NR + \epsilon$$

#### A. Selección de variables:

Se emplearon 4 métodos para la selección de las variables independientes: DAP, Ht, hc y NR para determinar si todas estas variables participaban o no en la estimación del volumen de leña como variable dependiente; o sea, si estaban verdaderamente al modelo.

Los métodos empleados fueron los siguientes:

1. CUATRO CRITERIOS: "ADJRSQ", "AIC", "BIC", "MSE".
2. "BACKWARD" (Procedimiento de selección hacia atrás).
3. "STEPWISE" (Procedimiento de regresión por pasos).
4. "MAXR" (Máximo coeficiente de determinación).

Para la resolución del primer método se empleó el "PROC REG: ADJRSQ AIC BIC MSE", el "PROC REG: BACKWARD" para el segundo, el "PROC REG: STEPWISE" para el tercero y "PROC REG: MAXR" para el último, métodos resueltos mediante el uso del "Statistical Analysis System", SAS.

Las instrucciones a SAS para solicitar el método de selección de

variables se presentan en anexo (Cuadro 21A).

**a. Selección del mejor modelo de regresión:**

Para seleccionar el mejor modelo de regresión se tomó en consideración los siguientes parámetros:

1. Bajo valor del:
  - \* Índice de Furnival.
  - \* "AIC".
  - \* "BIC".
  - \* Nivel de significancia:  $\alpha$ .
2. Valores con tendencia a 1 del:
  - \* Coeficiente de determinación múltiple ("MAXR<sup>2</sup>"):  $R^2$
  - \* Coeficiente de determinación múltiple corregido ("ADJRSQ"):  $R^{-2}$

Para seleccionar el mejor modelo según métodos utilizados a través de SAS se indican en el cuadro 9.

Cuadro 9. Parámetros considerados para la selección de modelos en cada método de selección de variables.

MÉTODO	PARAMETRO
"ADJQRS AIC BIC CME"	Valor alto "ADJRSQ" y valores bajos de AIC BIC CME.
"BACKWARD"	El mismo procedimiento sugiere
"STEPWISE"	El mismo procedimiento sugiere
"MAXR"	El modelo con mayor $R^2$ .

FUENTE: Alvarez Cajas (2).

Los parámetros de la selección de variables se presentan en los cuadros 29A al 31A.

**B. Análisis de regresión del modelo seleccionado:****a. Prueba de multicolinealidad:**

Para analizar el mejor modelo seleccionado se efectuó la prueba de multicolinealidad.

Las instrucciones que se le dieron a SAS para esta prueba se indican en el cuadro 22A.

Para detectar colinealidad los valores de EIGENVALORES están cerca de cero y valores altos en PROP. VARIANZA de las variables evaluadas (DAP, hc, NR).

Con el mejor modelo seleccionado, se calcularon los volúmenes estimados, utilizando las siguientes variables: DAP, hc, NR, cuyos valores se presentan en el cuadro 10. El volumen de leña estimado y estas variables (DAP, hc, NR) son los datos del archivo VARIABLE.PRN, archivo a que hace referencia la segunda línea de las declaraciones a SAS para la prueba de multicolinealidad (cuadro 22A).

**b. Prueba de la coordenada al origen:**

Según *Barrientos M<sup>6</sup>*, la prueba de la ecuación en el origen es eliminar el coeficiente de regresión, para forzar la ecuación a estimar volúmenes desde el origen.

Probar la ecuación al origen, como indica *Estrada<sup>7</sup>*, es eliminar el coeficiente de regresión  $\beta_0$  de la ecuación normal, solicitando esta prueba a SAS con la instrucción NOINT en la correspondiente línea del panel del Program Editor.

---

6. *Barrientos M. 1,994. Prueba de la ordenada de una ecuación al origen. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, "FAUSAC". (Comunicación personal).*

7. *Estrada, M. 1,994. Econometría. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, "FAUSAC". (Comunicación personal).*

Las instrucciones que se le dieron a SAS para este procedimiento se indican en el cuadro 23A.

**c. Análisis de varianza (ANDEVA):**

Al mejor modelo de regresión se le efectuó el análisis de varianza. Las instrucciones a SAS para el cálculo del ANDEVA se presenta en el cuadro 24A.

**6. 11. 2. Prueba de tablas:**

La precisión de la tabla se determinó mediante el test de Freese, que fue básicamente la prueba de CHI CUADRADO, planteando la siguiente hipótesis:

$$H_0: V_r = V_e$$

$$H_1: V_r \neq V_e;$$

Donde  $V_r$ : volumen real y  $V_e$ : volumen estimado (con la ecuación).

Para resolver esta hipótesis se utilizó la ecuación de Freese:

$$\chi_{n, g1}^2 = \frac{196^2}{p^2} \sum_1^{90} \frac{(V_{e_i} - V_{r_i})^2}{V_{r_i}^2}$$

El valor del error máximo en esta ecuación es del 10% y se denota por "p".

El valor de chi cuadrado tabulado se obtuvo en la tabla de T-Student, donde el valor aproximado se obtuvo para un 95% de probabilidad y 89 grados de libertad (g.l. <n-1>).

Los cálculos se efectuaron en hoja electrónica utilizando Q. PRO, cuyo procedimiento se indica en el cuadro 25A.

Según *Freese (12)*, cuando la prueba de tabla es significativa; Chi cuadrado calculado es mayor que chi cuadrado tabulado implica que la tabla tiene error o sesgo y en esas circunstancias es necesario efectuar la corrección de tablas; pero cuando la prueba resulta no significativa, se procede con el despliegue de tablas.

#### 6. 11. 3. Corrección de tablas:

Esta prueba no se efectuó por no requerirlo el trabajo.

El método que se utiliza es el propuesto por *Freese (12)*. Este método lo utilizó *Peters (44)* en la construcción de las tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala.

Con la corrección de tabla se busca eliminar el error o sesgo de la ecuación de volumen a través de una regresión lineal simple entre volúmenes reales y volúmenes estimados así:

$$Vr_i = f(Ve_i)$$

#### 6. 11.4. Despliegue de tablas:

Verificada la precisión de la ecuación de volumen con que se generó la tabla, se procedió con el despliegue de las mismas.

El procedimiento del desplegado se indica en el cuadro 27A.

Al pie de cada tabla se imprimió la ecuación que le dio origen.

## 7. RESULTADOS

### 7.1

#### . Datos de campo:

Los 90 árboles muestreados están comprendidos en un rango diamétrico de 14- 55 cm., altura total de 11- 37 m., altura de copa de 4- 17 m. y número de ramas de 18- 50 por árbol.

Los datos base o datos de campo se presentan en el cuadro 10 y estos son la altura total, "Ht", Diámetro a la Altura de Pecho, "DAP", altura de copa, "hc" y Número de Ramas, "NR".

Bajo las condiciones de un bosque denso de Pinus pseudostrobus en el departamento de Chimaltenango, el DAP promedio de los árboles fue de 35 cm., como se observa en el cuadro 12 la frecuencia de árboles alrededor de esta clase diamétrica es de 28 árboles de la especie, representando el 42% de los 90 árboles muestra.

La altura de la copa en el bosque es relativamente alta, donde según las muestras, la copa mas alta fue de 17 m. y respecto a la altura total la mínima de este tipo de bosques es de 11 m., parámetros que reflejaron el efecto de la densidad en el desarrollo de estas variables. *Vidal (58)*, aunque no hace referencia de parámetros, indica que los árboles que integran una masa forestal de bosques densos presentan una copa con cono mas alargado, fuste largo, desnudo y de escasa conicidad que en bosques abiertos; constatando que estas fueron las características de los árboles del bosque objeto de estudio.

## 7.2. Variables generadas:

La variable generada fue el volumen de leña cuya información se presenta en el cuadro 10.

El uso de la madera de la copa y de del fuste no comercial con corteza (índice de utilización menor de 10 cm.) es para leña, donde los volúmenes aquí expresados no se apartan de esa condición, por lo que los resultados referidos son volúmenes de leña con corteza.

La muestra presentó un volumen promedio de leña de 0.2388 m<sup>3</sup>. resultados que indican la proporción en que se encuentra disponible este subproducto en los bosques naturales de coníferas de estrato denso en el departamento de Chimaltenango.

Este volumen de leña no fue mas que el volumen de madera del fuste terminal y de la copa. Si se toma como base lo que *Veillón (57)*, indica respecto al volumen de la porción de la copa, que es menor en bosques densos que en bosques ralos, por lo que es de esperar que este volumen promedio de leña reportado en este estudio (0.2388 m<sup>3</sup>/árbol) tendría que ser menor al volumen de un bosque ralo, dada la mayor amplitud de desarrollo de la copa de los árboles en este tipo de bosques.

Cuadro 10. Volumen de leña y la variables independientes de los árboles muestra.

No.	Vol.	DAP	Ht	hc	NR	No.	Vol.	DAP	Ht	hc	NR	No.	Vol.	DAP	Ht	hc	NR
1	0.3902	49	31	17	53	31	0.2567	31	18	7	36	61	0.0378	19	14	5	21
2	0.0681	27	31	11	37	32	0.2529	30	16	9	35	62	0.0073	13	10	4	17
3	0.4177	55	36	18	50	33	0.2480	35	20	8	39	63	0.1298	22	17	7	33
4	0.3345	48	24	10	23	34	0.2290	25	14	6	29	64	0.0965	24	30	9	34
5	0.2976	45	23	7	20	35	0.3381	44	26	8	40	65	0.1754	28	16	7	32
6	0.2233	40	20	6	29	36	0.2509	35	18	11	28	66	0.0408	18	25	8	25
7	0.3499	43	23	11	28	37	0.0854	22	27	9	32	67	0.0367	15	11	5	17
8	0.2120	35	19	9	22	38	0.1355	24	15	7	34	68	0.0892	20	16	6	27
9	0.3220	38	21	7	28	39	0.0710	20	28	10	27	69	0.3450	38	24	8	41
10	0.2332	33	21	5	38	40	0.2940	40	26	12	36	70	0.2573	35	26	9	36
11	0.2473	40	19	9	29	41	0.0737	20	27	9	31	71	0.2927	35	22	7	39
12	0.1054	30	15	7	27	42	0.0384	16	33	8	26	72	0.3226	40	29	12	43
13	0.2342	40	20	9	32	43	0.0104	18	27	11	27	73	0.2166	32	25	10	39
14	0.3740	42	21	11	37	44	0.0217	14	18	9	21	74	0.2521	33	21	9	38
15	0.2921	35	22	12	36	45	0.0809	24	25	10	29	75	0.2776	36	25	13	42
16	0.1857	36	25	13	39	46	0.1873	30	24	9	31	76	0.1699	28	32	12	39
17	0.2365	30	20	10	25	47	0.2675	37	25	11	29	77	0.2612	33	22	8	38
18	0.3666	45	28	16	39	48	0.1789	29	21	10	33	78	0.4291	45	30	11	43
19	0.2575	32	18	13	37	49	0.1845	28	33	12	35	79	0.6679	58	37	18	50
20	0.3603	38	24	6	39	50	0.4697	48	28	14	43	80	0.2959	42	31	16	38
21	0.3901	40	26	7	38	51	0.3124	38	24	9	35	81	0.3000	40	20	11	35
22	0.2777	31	21	7	33	52	0.4968	49	32	16	51	82	0.3892	44	29	12	41
23	0.3606	44	29	11	39	53	0.0033	15	10	4	18	83	0.2213	32	18	9	39
24	0.1730	30	21	8	27	54	0.0622	20	16	7	26	84	0.1338	27	15	8	29
25	0.2583	27	15	5	29	55	0.1582	25	20	8	35	85	0.2358	31	18	7	36
26	0.3852	41	23	9	39	56	0.1920	30	24	10	33	86	0.2729	34	22	8	38
27	0.2964	34	22	4	37	57	0.2415	35	26	11	39	87	0.2546	36	25	11	39
28	0.3463	35	24	7	32	58	0.3512	40	29	13	45	88	0.2812	33	21	6	38
29	0.3975	41	25	9	42	59	0.3800	45	31	16	43	89	0.1557	30	21	10	31
30	0.2906	35	19	8	36	60	0.0348	17	11	5	22	90	0.2566	35	33	12	39

Fuente: Datos de campo y de gabinete (1991/1993)

### 7.3. Análisis de regresión de la ecuación de volumen de leña:

#### 7.3.1. Variables independientes de la ecuación:

Como primera fase del análisis de regresión para encontrar la mejor ecuación de volumen se efectuó la selección de variables.

En esta prueba se analizaron como variables independientes el Diámetro a la Altura de Pecho, "DAP"; la Altura Total del árbol, "Ht"; la Altura de Copa, "hc" y el Número de Ramas "NR", de los cuales según los métodos de selección de variables utilizados se determinó que la Altura Total, "Ht" no contribuyó en la predicción del volumen de leña, por lo que no se necesitó utilizarla como variable predictor y en esta situación, el mejor modelo de regresión incluyó como variables independientes el Diámetro a la altura de pecho "DAP", la altura de copa "hc" y el número de ramas "NR". En los cuadros 16 y 17 se presentan estas variables independientes con sus respectivos coeficientes de regresión.

La altura total "Ht" no entró a formar parte del modelo porque:

- a. Según el método "BACKWARD" se eliminó del modelo porque la variable presentó una baja significancia que fue igual a 20.5% aun cuando el  $R^2$  fue alto (0.89), como se observa en siguiente cuadro, información que se despliega ampliamente en el cuadro 29A.

Cuadro 11. Resumen de la selección de variables mediante el método "Backward".

Paso	Variable Removida	Número En	Parcial $R^2$	Modelo $R^2$	F	Prob>F
1	Ht	3	0.0020	0.8927	1.6315	0.2050

Todas las variables en el modelo fueron significativas en el nivel 0.1000.

FUENTE: Datos procesados en gabinete

- b. Según "STEPWISE", esta variable (Ht) no ingresó al modelo por inconsistente, como se indica en el cuadro 12, información que se fundamenta de manera mas amplia en el cuadro 30A.

Cuadro 12. Resumen de la selección de variables, método "Stepwise".

Paso	Variable Entrada/Removida	Número En	Parcial R <sup>2</sup>	Modelo R <sup>2</sup>	F	Prob>F
1	DAP	1	0.8403	0.8403	463.0160	0.0001
2	NR	2	0.0268	0.8671	17.5584	0.0001
3	hc	3	0.0256	0.8927	20.5213	0.0001

Ninguna otra variable encontró los 0.1500 de nivel de significancia para entrar en el modelo.

FUENTE: Datos de gabinete

- c. El MÁXIMO R<sup>2</sup>, indica que la Ht no tomó parte del modelo (información en cuadro 31A.), porque produjo una significancia similar a la del Backward.
- d. En el método DE LOS CUATRO CRITERIOS, el modelo 2:  
 $Vol = f(DAP^2, hc, NR)$   
 en relación a los 14 modelos probados (información en cuadro 13), presentó un R<sup>-2</sup> (R<sup>2</sup> ajustado) que difiere en 0.0008 (8 diez milésimas) menos que el R<sup>2</sup> del modelo con variables independientes: DAP<sup>2</sup>, Ht, hc, NR, demostrándose que la Ht no se necesitó como predictor.

Cuadro 13. Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método cuatro pasos: "ADJRSQ AIC BIC MSE".

R <sup>2</sup> Ajustado	R <sup>2</sup>	En	AIC	BIC	MSE	Variables del Modelo
0.88978139	0.89473503	4	-567.05060	-564.46928	0.00173888	DAP <sup>2</sup> Ht hc NR
0.88897204	0.89271456	3	-567.33949	-565.03145	0.00175165	DAP <sup>2</sup> hc NR
0.87791105	0.88202640	3	-558.79238	-557.24038	0.00192615	DAP <sup>2</sup> Ht NR
0.86405932	0.86711417	2	-550.07973	-549.09928	0.00214469	DAP <sup>2</sup> NR
0.84507089	0.84855244	2	-538.31231	-538.03609	0.00244426	DAP <sup>2</sup> hc
0.84369241	0.84896120	3	-536.55555	-536.78942	0.00246601	DAP <sup>2</sup> Ht hc
0.83848018	0.84029501	1	-535.53431	-534.92528	0.00254824	DAP <sup>2</sup>
0.83809911	0.84173733	2	-534.35081	-534.30022	0.00255425	DAP <sup>2</sup> Ht
0.52111720	0.53187861	2	-436.74837	-440.48081	0.00755516	hc NR
0.51977337	0.52516917	1	-437.46758	-439.69994	0.00757636	NR
0.51701596	0.53329632	3	-435.02135	-440.26961	0.00761986	Ht hc NR
0.51446976	0.52538055	2	-435.50766	-439.26961	0.00766003	Ht NR
0.27101561	0.28739728	2	-398.93069	-403.41553	0.01150092	Ht hc
0.26082762	0.26913293	1	-398.65301	-401.47953	0.01166165	hc
0.21494505	0.22376589	1	-393.23298	-396.12552	0.01238552	Ht

FUENTE: Datos de gabinete

### 7.3.2. Multicolinealidad:

No hubo efecto de multicolinealidad entre las variables independientes (X's) para la predicción del volumen de leña, lo que implicó que no hubo relación lineal entre dichas variables (objetivos encontrados o competitivos), porque los eigenvalores estuvieron balanceados respecto a las varianzas del DAP, hc y NR como se indica en el cuadro 14.

*Behar (4)*, explica que con el mayor número de variables independientes posibles son convenientes para aumentar la explicación de la variable respuesta; paradójicamente con el incremento en el número de variables predictoras en un modelo de regresión se aumenta el riesgo de padecer del problema de multicolinealidad, que incrementa la varianza de los estimadores de los parámetros, produciendo predicciones mas pobres.

Después de analizadas las variables de esta ecuación, se estableció que no se produjo el efecto de multicolinealidad a que *Behar (4)* hace referencia.

Cuadro 14. Resultados de la prueba de multicolinealidad para las variables independientes de la ecuación de volumen de leña.

Parámetros Estimados					
Variable	FV	Parámetro Estimado	Error Estándar	T para H0: Parámetro=0	Prob >  T
INTERCEPTO	1	-0.047978	0.02196900	-2.184	0.0317
DAP	1	0.000170	0.00000999	17.007	0.0001
hc	1	-0.008966	0.00197919	-4.530	0.0001
NR	1	0.004988	0.00083833	5.950	0.0001
DIAGNOSTICO DE COLINEALIDAD (INTERCEPTO AJUSTADO)					
Número	Eigenvalores	Número de la Condición	Var Prop DAP	Var Prop hc	Var Prop NR
1	2.28374	1.00000	0.0715	0.0738	0.0726
2	0.37416	2.47055	0.0544	0.8555	0.4432
3	0.34210	2.58374	0.8741	0.0707	0.4843

FUENTE: Datos procesados en gabinete.

Según Alavarez Cajas (2), el "SAS INSTITUTE" indica que hay multicolinealidad cuando eigenvalores están cerca de cero con valores altos en las varianzas de  $DAP^2$ ,  $hc$  y  $NR$ .

### 7.3.3. Prueba de la coordenada al origen:

La ecuación normal como resultado del análisis de regresión, tuvo un coeficiente de regresión con valor negativo:  $\beta_0 = -0.047978$ , como se indica en los cuadros 15, 27A, 28A, 29A. Al operar esta ecuación con variables de valor cero se obtiene un volumen negativo, lo cual se interpreta como cero.

Y para producir un volumen igual a cero y no su interpretación como tal, se forzó la ecuación normal al origen (coordenada  $X$  &  $Y = 0$ ) la cual se obtuvo eliminando el coeficiente de regresión  $\beta_0$  o coordenada al origen, donde la ecuación generada se despliega en el inciso 7.3.4.

Como se indica en el cuadro 16, los parámetros de esta ecuación fueron casi similares a los de la ecuación normal, con la diferencia de que esta ecuación sin el  $\beta_0$  presentó un  $R^2$  mas alto en 0.08 (8 centésimas) que la ecuación normal, parámetro que le dió mayor consistencia.

Habrà volumen cero cuando no se ingresa la variable  $DAP$  a la ecuación;  $DAP = 0$ , significará que no hay árbol y por consiguiente no habría volumen de leña; ahora bien, cuando se ingresa a la ecuación el  $DAP$  pero sin el número de ramas; en este caso sería un árbol desrramado y reportaría un volumen de leña bastante pequeña con tendencia a cero.

### 7.3.4. ANDEVA:

Con el Análisis de Varianza (ANDEVA), se probó que hubo regresión, porque  $\beta_0 \neq 0$  y tuvo una alta significancia:  $\alpha = 0.01\%$  como se indica en los cuadros 15 y 16.

Para la ecuación normal o ecuación con  $\beta_0$  como la siguiente:

$$Vol = -\beta_0 + \beta_1 DAP^2 - \beta_2 hc + \beta_3 NR$$

se obtuvieron los parámetros del siguiente cuadro:

Cuadro 15. ANDEVA y parámetros del mejor modelo de regresión de volumen seleccionado con el Coeficiente  $\beta_0$ .

Fuente	GL	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	F. Valuada	Prob > F
Modelo	3	1.25348	0.41783	238.533	0.0001
Error	86	0.15064	0.00175		
Total	89	1.40412			

R- Cuadrado	C.V	Índice Furnival	Vol. Promedio
0.8927	17.52	0.04185	0.2388

Parámetros Estimados					
Variable	GL	Parámetro Estimado	Error Standard	T para H0: Parámetro=0	Prob >  T
INTERCEPTO	1	-0.047978	0.02196900	-2.184	0.0317
DAP	1	0.000170	0.00000999	17.007	0.0001
hc	1	-0.008966	0.00197919	-4.530	0.0001
NR	1	0.004988	0.00083833	5.950	0.0001

FUENTE: Datos procesados en gabinete

Asimismo, para la ecuación sin el  $\beta_0$ :

$$Vol = \beta_1 DAP^2 - \beta_2 hc + \beta_3 NR$$

se obtuvieron los parámetros que se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. ANDEVA y parámetros del mejor modelo de regresión de volumen seleccionado sin el coeficiente  $\beta_0$ .

Fuente	GL	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	F valuada	Pr > F
Modelo	3	6.37808737	2.12602912	1163.33	0.0001
Error	87	0.15899596	0.00182754		
Total sin corregir	90	6.53708333			

R-Cuadrado	C.V.	Índice furnival	Vol. promedio
0.975678	17.90072	0.042750	0.23881567

Parámetros estimados				
Variable	Parámetro Estimado	T para H0: Parámetro=0	Pr >  T	Error estándar de la estimación
DAP	0.0001773914	18.51	0.0001	0.00000958
hc	-0.0097174260	-4.808	0.0001	0.00199081
NR	0.0035829133	6.53	0.0001	0.00054903

FUENTE: Datos procesados en gabinete.

Extrayendo del cuadro 16 los parámetros estimados, se ensambló el siguiente modelo matemático, modelo que fue básicamente la ecuación del volumen de leña:

$$Vol = 0.0001773914 DAP^2 - 0.009717426 hc + 0.0035829133 NR$$

Como se indica en el cuadro 16 esta ecuación tuvo adecuados valores porque:

- El coeficiente de variación (C.V): 17% fue adecuado porque el valor obtenido fue inferior al 20% (*Behar <3>, Reyes <30>*).
- El  $R^2 = 0.97$ ; implica que el modelo explicó el 97% de la variación, donde el volumen de leña se encontró asociado con las variables

independientes (DAP, hc, NR) en un 97%.

- c. Índice de Furnival: 0.042. Este indicador fue adecuado porque según *Furnival (10)*, mientras mas pequeño es este valor mas consistente es la ecuación.
- d. Alto nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0.01%, lo cual fue adecuado.

#### 7.4. Prueba de Tablas:

La *FAO (12)* y *Spur (51)* indican que una ecuación por el hecho de estar elaborado no puede usarse deliberadamente, por lo que previa publicación y utilización se le debe establecer su precisión y sobre todo que la precisión lograda sea igual a la requerida.

La hipótesis nula planteada para la evaluación fue:

$$V_r. (vol. calculado) = V_e. (vol. estimado)$$

Esta hipótesis fue aceptada (rechazando la hipótesis alternativa:  $V_r \neq V_e$ ), porque la prueba no fue significativa donde chi cuadrado calculado fue menor que chi cuadrado tabulado así:  $0.2357 < 4.81$  para un error máximo de 10% con un 95% de probabilidad, resultado que avaló el uso del modelo como ecuación con que se construyeron las tablas de volumen.

En este caso, según la precisión establecida indicó que la tabla de volumen de leña no tuvo errores ni está sesgada y, que el modelo seleccionado tuvo la precisión para los propósitos de su elaboración.

### 7.5. Despliegue de Tablas:

Verificada la exactitud de la ecuación como modelo para estimar el volumen de leña, se procedió a utilizarla para el despliegue de las tablas.

Uno de los ejemplares de las tablas generadas, en este caso la tabla de volumen para un DAP de 15 cm. se presenta en el cuadro 17. Las otras tablas (tablas para un DAP de 20 a 55 cm. se presentan en los cuadros 32A al 39A.

Al pie de cada una se imprimió la ecuación que le dio origen.

Cuadro 17. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. DAP 15 cm.

Pinus pseudostrobus Lindl.

DAP=15 cm.									
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)								
	18	22	26	30	34	38	42	46	50
Volumen (metros cúbicos)									
5	0.056	0.0702	0.0845	0.0988	0.1131	0.1275	0.1418	0.1561	0.1705
7	0.036	0.0507	0.0650	0.0794	0.0937	0.1080	0.1224	0.1367	0.151
9	0.017	0.0313	0.0456	0.0599	0.0743	0.0886	0.1029	0.1173	0.1316
11		0.0118	0.0262	0.0405	0.0548	0.0692	0.0835	0.0978	0.1122
13			0.0067	0.0211	0.0354	0.0497	0.0641	0.0784	0.0927
15				0.0016	0.0160	0.0303	0.0446	0.0590	0.0733
17						0.0109	0.0252	0.0395	0.0539
19							0.0058	0.0201	0.0344
21								0.0007	0.0150
23									

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

### 7.6. Alcances y usos de la tabla:

- a. Las tablas generadas son para bosques densos de *P. pseudostrobus* solamente; como indican la *FAO (12)* y *Ugalde (54)*, se pueden usar sin restricciones para las áreas en donde fueron elaboradas y que el uso deliberado de las mismas para otras áreas puede resultar riesgoso; sin embargo, según *Burkhart (5)*, estas pueden tener una cobertura de uso bajo condiciones ecológicas similares y para la misma especie en regiones que no excedan de un radio no mayor de 30 km. de las áreas de muestreo. De esa cuenta será factible el uso de las mismas para bosques adyacentes al departamento de Chimaltenango, en las siguientes regiones: Sur del Quiché y Baja Verapaz y Norte de Sacatepequez y sector Oriental de Sololá como se indica en la figura 5.

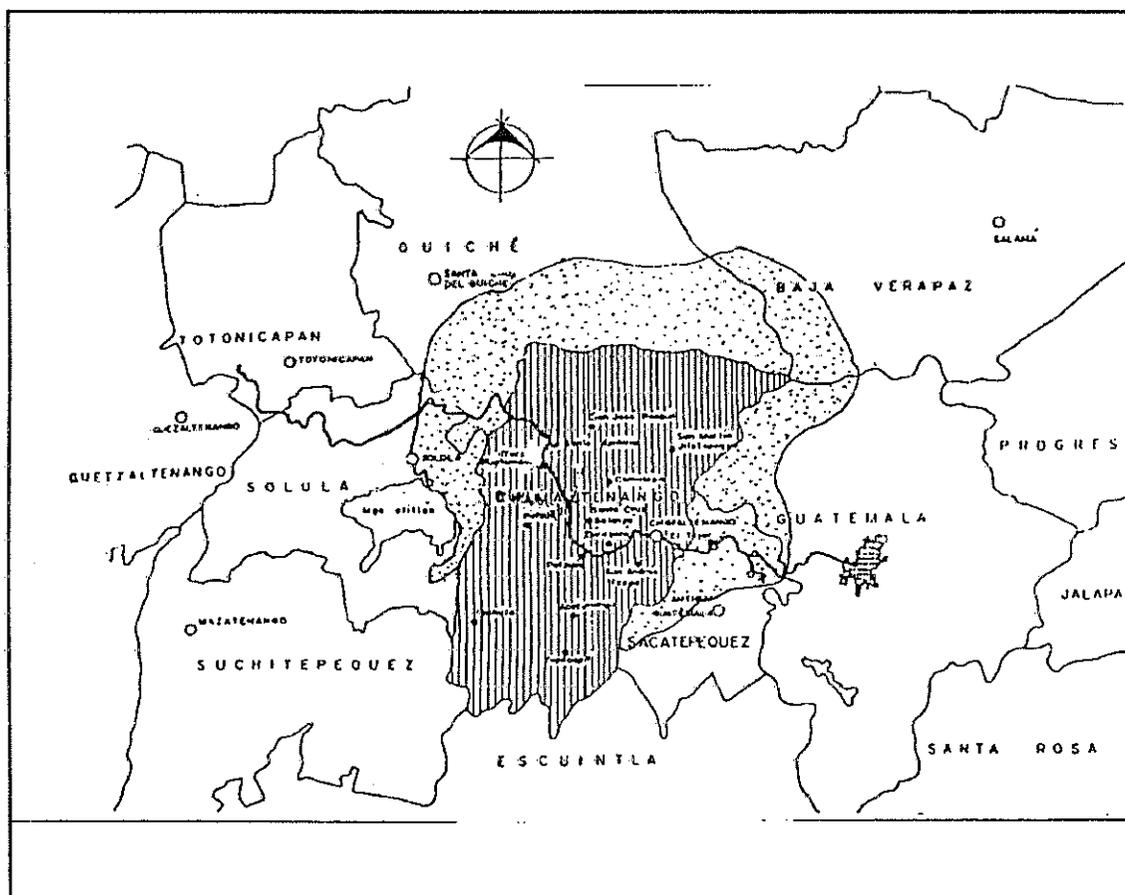


Figura 5. Áreas del altiplano permisibles para el uso de la tabla de volumen.

ESCALA MAPA BASE: 1:1,000,000

Referencia:  Áreas para uso permisible (de la tabla).  
 Área del departamento de Chimaltenango.

b. Las tablas son para estimar volúmenes de leña con corteza en metros cúbicos, con la que se cubica de manera exacta el volumen de copa. Asimismo, podría contribuir a calcular el volumen total de madera en *P. pseudostrobus* a través de dos fuentes así:

- i. Volumen de copa, con esta tabla y,
- ii. El volumen de fuste, con las tablas elaboradas por Peters (44) para esta especie; en este caso, el volumen total de madera será el volumen de fuste mas el volumen de copa.

Por otra parte, para el inventario de bosques de esta especie se pueden reportar los volúmenes de madera por subproducto así: volumen de madera para leña y madera de aserrío usando las tablas a que se hacen referencia.

#### 7.7. Forma de usar la tabla:

Tomando como ejemplo un árbol con un diámetro de 15 cm., una altura de copa de 5 m. y con 40 ramas y se desea saber el volumen de leña.

En la PARTE SUPERIOR DE LA TABLA se lee el diámetro; LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA indica la altura de copa y la SEGUNDA LINEA HORIZONTAL SUPERIOR el número de ramas y el SECTOR INTERNO, el volumen de leña. Para el ejemplo propuesto, tomando el diámetro de 15 cm., altura de copa de 5 m. y 42 ramas se obtiene un volumen de leña de 0.1418 m<sup>3</sup>. (Cuadro 17).

Para obtener el volumen de leña cuando los datos de campo no se encuentran en la tabla, se sugiere usar la ecuación para generar el volumen buscado, la interpolación no es permitida por tratarse de una función no lineal.

En cuanto a la cubicación del volumen de un rodal o una parcela puede hacerse de diferentes formas, en este caso se puede usar cualquiera

de las siguientes alternativas, por ejemplo ejemplo:

- a. Buscar los volúmenes individuales de leña de cada árbol y sumar estos.
- b. Calcular el diámetro promedio en base al area basal (diámetro de Laurie dg), altura promedio de copas e igual caso para el número de ramas y multiplicarlo por el número de árboles en el rodal.
- c. Hacer una distribución diamétrica con los árboles que se van a cubicar; calcular el diámetro promedio, altura de copa promedio y número de ramas promedio por clase diamétrica, obtener el correspondiente volumen en la tabla, multiplicarlo por el número de árboles en la clase diamétrica y sumar el volumen de las diferentes clases diamétricas.

La adopción de una de estas alternativas dependerá de la precisión que se desea tener en el cálculo de los volúmenes del rodal.

#### 7.8. Confrontación de este estudio con trabajos similares:

*Burkhart (5)*, citando a Landis y Morgan 1975 (USA) elaboraron una ecuación para estimar el volumen de ramas de Abies sp. (conífera), utilizando como variable independiente el DAP. Los autores citados indicaron que el DAP fue la variable que mayor consistencia mostró para estimar la biomasa superior, en particular el volumen de ramas de la especie en mención.

La coincidencia de estos estudios es el trabajo realizado en especies de coníferas. La diferencia de los mismos, es la posición geográfica y la época en que fueron realizados, por otra parte, los resultados del estudio planteado en esta tesis refiere el volumen de madera del fuste terminal además del volumen de ramas. Por otra parte, para la confección de la ecuación se tomó en consideración el uso de tres variables independientes. Morgan solo utilizó el DAP como variable

independiente; y el  $R^2$  fue notorio. La que generó Morgan tuvo un valor de 0.90, mientras que la generada aquí produjo un  $R^2$  igual a 0.97.

La razón por la que se usó además del DAP, la altura de copa y el número de ramas como variables independientes de la ecuación fue para estimar de una manera eficiente el volumen de madera de la copa y el fuste terminal en bosque densos. La densidad incide significativamente en el desarrollo de la copa de los árboles y por consiguiente en el volumen de los mismos.

De los estudios efectuados en el país, solo la tabla de volumen local de Pinus rudis elaborada por Martínez Corea (31) ha reportado como información adicional, el volumen promedio de copa de esta especie cuyo dato fue igual a:  $0.053 \text{ m}^3/\text{árbol}$ , la cual es menor al de P. pseudostrobus:  $0.2388 \text{ m}^3$ . Por lo que con estos estudios se evidencia diferencia en rendimiento, y se infiere diferencia genética y fenotípica entre estas especies. En el aspecto fenotípico estas especies a nivel de campo se identifican con facilidad, donde P. pseudostrobus se presenta mas desarrollada que P. rudis.

## 8. CONCLUSIONES

8.1. En un bosque denso de Pinus pseudostrobus de Chimaltenango, existe un volumen promedio de leña de 0.2388 m<sup>3</sup>/árbol, donde la leña está constituida por la madera del fuste sobre un índice de utilización de 10 cm. y por la madera de la copa hasta un índice de utilización de 2.5 cm.

8.2. El modelo matemático (ecuación) para estimar el volumen de leña en un bosque denso de Pinus pseudostrobus en particular en bosques de Chimaltenango, es el siguiente:

$$Vol=0.0001773914DAP^2-0.009717426hc+0.0035829133NR$$

8.3. Para una precisión del 10% y un nivel de significancia del 95%, la ecuación con que se construyó la tabla de volumen de leña presentó los siguiente valores: R<sup>2</sup>= 0.975, C.V.= 17%, Índice de Furnival= 0.041.

## 9. RECOMENDACIONES

- 9.1. Usar el modelo matemático generado para estimar el volumen de leña en bosques naturales densos de Pinus pseudostrobus del departamento de Chimaltenango y en las áreas adyacentes en un radio no mayor de 30 km. de las áreas de muestreo.
  
- 9.2. Para futuros trabajos y sobre todo para estudios de mayor área de cobertura, se recomienda usar el 10% de precisión y 95% de significancia, según *Peters (44)*, estos valores son adecuados para tablas de aplicación local y usarlas para áreas de mayor cobertura significaría mayor precisión.
  
- 9.3. Elaborar tablas similares como ésta a nivel nacional para las especies de coníferas y para especies de latifoliadas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. ALDER, D. 1980. Estimación del volúmen forestal y predicción del rendimiento; Predicción del rendimiento. Italia, FAO. Estudios FAO: Montes, No. 22/2. 79 p.
2. ALVAREZ CAJAS, V. 1994. Uso de los datos de la biblioteca de SAS para el análisis de modelos de regresión múltiple. In Curso Corto de Estadística Aplicada (1994, Guatemala). Instructivo. Editor Victor Alvarez. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 1-3.
3. BAZAN, F. 1976. Algunos cálculos en relación a planes de manejo forestal. In Seminario Sobre Cálculos Económicos en la Ordenación Forestal (1., 1976, Amatitlán, Guatemala). Memoria. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 1-3.
4. BEHAR, G. 1986. Sobre algunos aspectos del modelo de regresión. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo, Colegio de Posgraduados. 47 p.
5. BURKHART, H.; AVERY, T. 1983. Forest measurements. 3 Ed. North Carolina, U.S.A., Mc.GRAW-HILL. 331 p.
6. CAILLIEZ, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; Estimación del volumen forestal. Roma, Italia, FAO. Estudios FAO: Montes, No. 22/1. 92 p.
7. CASTAÑEDA, L. et. al. 1983. Diagnóstico de la situación de los recursos naturales renovables de Guatemala. Tikalia (Gua.) 2(1):75-106.
8. CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (C.R.). 1988. El mercado para la leña en Antigua. In Curso Sobre Metodología de Estudios de Mercado de Arboles de Usos Múltiples (3., 1988, Antigua Guatemala, Guatemala). Informe. Guatemala, CATIE. p. 2-15.
9. \_\_\_\_\_. (Gua.). 1982. Metodología de investigación y técnicas sobre producción de leña. Guatemala, CATIE-INAFOR. 169 p.
10. CRUZ, J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 23- 34.
11. FAO (Gua.). 1970. Fotointerpretación, mapeo e inventario forestal; informe final. Guatemala. V. 2, 152 p.
12. \_\_\_\_\_. (Italia). 1974. Manual de inventarios forestales con especial referencia a los bosques mixtos. Roma. 195 p.

13. FREESE, F. 1980. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Estados Unidos de América, Departamento de Agricultura. Manual de agricultura no. 1. 45 p.
14. FURNIVAL, G. M. 1961. An index for comparing equations used and constructing volume tables. Forest Science, (U.S.A.). 7(4):337-341 p.
15. GILCHRIST, G. 1978. Inventarios forestales. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Manual no. 1. 65 p.
16. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE BOSQUES Y VIDA SILVESTRE. 1990. Estadísticas de socioeconomía, 1975-1993. Guatemala. s.p.
17. \_\_\_\_\_. 1992. Informes del proyecto MADELEÑA, sobre investigaciones en árboles de uso múltiple. Guatemala. 22 p.
18. \_\_\_\_\_. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1984. Hoja Topográfica Tecpán Guatemala No. 2060 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
19. \_\_\_\_\_. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1976. Diccionario Geográfico de Guatemala. Compilación Crítica Francis Gall. Guatemala, Ed. Tipografía Nacional. Tomo 1. 833 p.
20. \_\_\_\_\_. 1972. Fotografía aérea de Patzún, Rollo 17, Foto-15. Guatemala. Esc. 1:30,000.
21. \_\_\_\_\_. 1972. Fotografía aérea de Patzún, Rollo 17, Foto-16. Guatemala. Esc. 1:30,000.
22. \_\_\_\_\_. 1972. Fotografía aérea de San Martín Jilotepeque, Rollo 101, Foto-149. Guatemala. Esc. 1:30,000.
23. \_\_\_\_\_. 1972. Fotografía aérea de San Martín Jilotepeque, Rollo 49, Foto-47. Guatemala. Esc. 1:30,000.
24. \_\_\_\_\_. 1982. Fotografía aérea de Tecpán Guatemala, Rollo 81, Foto-46. Guatemala. Esc. 1:20,000.
25. \_\_\_\_\_. 1982. Fotografía aérea de Tecpán Guatemala, Rollo 81, Foto-47. Guatemala. Esc. 1:20,000.
26. \_\_\_\_\_. 1982. Hoja topográfica Sololá No. Guatemala. 1960 II, Esc. 1:50,00. Color.
27. \_\_\_\_\_. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 1990. Informe estadístico del Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. 63 p.
28. \_\_\_\_\_. SECRETARIA GENERAL DE CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACIÓN ECONÓMICA; INSTITUTO NACIONAL FORESTAL; INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1981. Mapa de cobertura y uso actual de la tierra. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.

29. GUJARATI, D. 1981. Econometría básica. México, McGRAW-HILL. 463 p.
30. HERNÁNDEZ JUÁREZ, J. M. 1991 Plan de manejo forestal de la finca Choamanzana en Patzún, Chimaltenango. Guatemala, Formfit de Guatemala. 65 p.
31. HERRERA FRANCO, E. 1986. Plan de manejo forestal de la finca El Espinero, Tecpán Guatemala, Chimaltenango. Guatemala, Mateo Duches S.A. 46 p.
32. HUGHELL, D. 1990. Uso de Lotus para el manejo en datos forestales. In Taller Centroamericano de Manejo e Interpretación de Datos Silviculturales (3., 1990, Turrialba, Costa Rica). C.R., CATIE. p. 3-18.
33. LATORRE ALONSO, J. 1978. Manual de instrucciones para inventariar maderas destinadas a la producción de carbón en la región húmeda de Paraguay. Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Manual no. 6. 19 p.
34. LOJAN, L. 1966. Una fórmula para estimar volúmenes en un bosque tropical. San José, Costa Rica, IICA, Programa de Desarrollo Forestal, Instituto Interamericano. 6 p.
35. \_\_\_\_\_. 1965. Mediciones en árboles individuales. Turrialba, Costa Rica. IICA, Programa Forestal. pt. 1, 106 p.
36. LÓPEZ PÉREZ, J. 1989. Uso del SAS para análisis estadísticos de datos experimentales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 29 p.
37. MARTÍNEZ COREA, I. 1977. Elaboración de tablas de volumen local para Pinus rudis en el bosque municipal de San Juan Ixcoy en Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 74 p.
38. MARTÍNEZ H, H. 1982. Estudio sobre la leña en hogares, pequeña industria y distribuidores de Guatemala. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Informe técnico no. 27. 70 p.
39. MÉNDEZ I. et. al. 1975. Modelo matemático. México, PATENA A.C. 92 p.
40. MITTAK, L. 1977. Estudios para la reforestación. Guatemala, FAO. Documento de Trabajo no. 25. 64 p.
41. OMAR RUSSO, R. 1983. Mediciones de biomasa en sistemas agroforestales. In Curso Corto Sobre Metodología de Investigación Agroforestal en el Trópico Húmedo (2., 1983, Turrialba, Costa Rica). Turrialba, Costa Rica, ONU. p. 7-27
42. PETERS, R. 1975. Inventario forestal intensivo para un proyecto de desarrollo industrial de la finca nacional "San Jerónimo", Manual de instrucciones de terreno. Guatemala, FAO. Anexo Documento Interno no. 5. 24 p.

43. \_\_\_\_\_. 1976. Sistema de procesamiento electrónico de datos del inventario forestal en bosques de coníferas. Guatemala, FAO. Documento de Trabajo no. 16. 62 p.
44. \_\_\_\_\_. 1977. Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala. Guatemala, FAO. Documento de Trabajo no. 17. 162 p.
45. \_\_\_\_\_. 1977. Inventarios y estudios dendrométricos en bosques de coníferas. Guatemala, FAO. Informe Técnico no. 2. 69 p.
46. REYES CHÁVEZ, L. 1981. El análisis de regresión y sus métodos de cómputo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 149 p.
47. RODRIGUEZ, D; MORENO, I. 1985. Elaboración de tablas de volumen a través de análisis troncales para Pinus montezumae en el C.E.F. San Juan Tetla, Puebla, México. México, Sub-secretaría Forestal. Boletín técnico no. 90. 37 p.
48. ROJAS, O. 1988. Estudio del crecimiento y rendimiento de Pinus oocarpa y P. pseudostrobus en San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 95 p.
49. SALAZAR, R. 1989. Guía para la investigación Silvicultural de especies de uso múltiple. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 194 p.
50. SAS INSTITUTE (N.C.). 1988. SAS/stat user's guide, release 6.03 edition. North Caroline, U.S.A. 1028 p.
51. SPUR, S. 1952. Forest Inventory. New York, U.S.A., The Ronald Press company. 447 p.
52. STANDLEY, P. et. al. 1958- 1977. Flora of Guatemala. Chicago, U. S. A., Chicago Natural Museum. Fieldiana Botany. v. 24, pt. 1-13. sp.
53. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, CENTRO UNIVERSITARIO DE NOROCCIDENTE. 1979. Medición forestal. Huehuetenango, Guatemala. Documento Docente No. S-II-16. 5 p.
54. UGALDE, L.; OTOROLA, A. 1981. Tabla de volumen para Eucaliptus camaldulensis en Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 14 p.
55. VALLE DAWSON, C. 1987. Bosques para producción de leña. Guatemala, Escuela Nacional Central de Agricultura. Documento Docente. 12 p.
56. VANNIERE, B. 1975. Informe sobre el inventario forestal del bosque de Totonicapán. Guatemala, FAO. Documento de Trabajo no. 5. 57 p.

57. VEILLON, J. et. al. 1976. Estimación del volumen total de los árboles y de la masa forestal de algunos tipos de bosques naturales venezolanos. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 29 p.
58. VIDAL, J. 1962. El Pino y algunas especies de interés económico. México, UTEHA. 233 p.
59. WICKE, A. 1972. Estudio preliminar de aprovechamiento de las ramas en el bosque venezolano. Mérida, Venezuela, Ministerio de Agricultura. 42 p.

Vo. Bº. *Opuciam De La Roca*



**11. ANEXO**



**Cuadro 19A.** Método de cálculo electrónico (Quatro Pro) de volumen de las secciones de fuste y copa para leña.

	A	B	C	D	E
1	CUBICA34.WQ1				
2	Parcela No. 1				
3	Lugar de muestreo: Patzun, Chimaltenango.				
4	Arbol No. 34				
5	<hr/>				
6	Sec. No.	Largo	Diametro	Diametro	Vol. Sec.
7		dm.	1 (mm.)	2 (mm.)	m3.
8	<hr/>				
9	1	15	100	90	0.0106
10	2	15	90	60	0.0068
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
116	107	3	25	35	0.0002
117	108	3	25	35	0.0002
118	109	3	25	35	0.0002
119	<hr/>				
120	Volumen total (vol. leña/arbol)				0.22903

Fuente: Datos procesados en gabinete.

**Cuadro 20A.** Fórmulas empleadas en las celdas claves para la hoja QPRO en el cálculo de volumen de leña.

CELDA	FORMULA	DESCRIPCION
E9	$+(A9/10)*((B9/1000)*0.7854+(C9/1000)^2*0.7854)/2.$	Ecuación de Smalian, con la cual se calculó el volumen de la sección.
E10- E118	COPY Bloque fuente (E9.) Bloque celdas destino (E10..E118)	Volumen de las otras secciones.
E120	@ SUM (D9..D118)	Sumatoria de los volúmenes de las secciones. Es el volumen total de leña del arbol No. 34

FUENTE: Datos de gabinete

Cuadro 21A. Instrucciones a SAS para solicitar métodos de selección de variables.

OUTPUT
<pre> Command====&gt;- 0001 0002 ===== LOG ===== Command====&gt;- 0001 0002 ===== PROGRAM EDITOR ===== Command====&gt;- 0001 DATA SELECVAR; OPTIONS=60; 0002 INFILE 'A:VARIABLE5.PRN'; 0003 INPUT VOL D H h R; D2=D*D; 0004 PROC REG DATA= SELECVAR; 0005 MODEL= VOL D H h R/ 0006 SELECTION=ADJRSQ AIC BIC MSE; 0007 RUN; 0008 </pre>
<p>Estas instrucciones son para solicitar el método de los cuatro criterios. Para solicitar los otros métodos solo se debe variar la penúltima línea, en donde las instrucciones correspondientes seguidas de SELECCION= son: BACKWARD para el backward, STEPWISE para el Stepwise y MAXR para el Maxr.</p> <p>Los datos del archivo VARIABLE5.PRN de la segunda línea de las instrucciones de arriba son los del cuadro 12.</p>

Cuadro 22A. Instrucciones a SAS para ejecutar la prueba de multicolinealidad

```
OUTPUT
Command====>-
0001
0002
0003
LOG
Command====>-
0001
0002
0003
PROGRAM EDITOR
Command====>-
0001 DATA MULTICOL; OPTION= 60; NODATE;
0002 INFILE 'A:VARIABLE4.PRN';
0003 INPUT VOL D h R; D2= D*D;
0004 PROC REG DATA= MULTICOL;
0005 MODEL VOL= D h R/
0006 COLLINOIT;
0007 RUN;
```

Cuadro 23A. Instrucciones a SAS para la prueba de la ecuación en el origen.

```
== OUTPUT ==
Command===> -

0001
0002
0003
== LOG ==
Command===> -

0001
0002
0003
== PROGRAM EDITOR ==
Command===> -

0001 DATA SINB0; OPTIONS=60;
0002 INFILE 'A:VARIABLE4.PRN';
0003 INPUT VOL D H h R; D2=D*D;
0004 PROC REG DATA= SINB0;
0005 MODEL= VOL D H h R/
0006 SELECTION=GLM/NOINT;
0007 RUN;
```

Cuadro 24A. Instrucciones a SAS para el cálculo el ANDEVA

```
====OUT PUT====  
Command===> -  
0001  
0002  
0003  
  
====LOG====  
Command===> -  
0001  
0002  
0003  
  
====PROGRAM EDITOR====  
Command===> -  
0001 DATA ANDEVA; OPTIONS=60;  
0002 INFILE 'A:VARIABLE4.PRN';  
0003 INPUT VOL D h R; D2=D*D;  
0004 PROC REG DATA= ANDEVA;  
0005 MODEL= VOL D H h R/  
0006 SELECTION=GLM;  
0007 RUN;
```

Cuadro 25A. Prueba de tablas mediante el test de Freese  
efectuado en hoja electrónica.

	A	B	C	D
1	PRUEBA.WQ1			
2	Arbol	Vol. Real	Vol. estimado	
3	No.	(m3.)	(m3.)	
4	-----			
5	1	0.3394531	0.414825	
6	2	0.0481011	0.21513	
7	3	0.352465	0.4804	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
94	89	0.158797716	0.161093	
95	90	0.269059521	0.245532	
96	-----			
97	Sumatoria			
98	Vol. Real=	21.62666378		
99	Sumatoria			
100	Volumen estimado=	21.63063		
101				
102				
103	Chi- cuadrado calculdo=	0.0257		



Cuadro 28A. Fórmulas empleadas en las celdas claves en la hoja QPRO para el despliegue de tablas.

CELDA	FORMULA	DESCRIPCION
B9	$-0.07380524+0.0001948\$B\$9-$ $-0.00991075\$A9+0.00511888B\$9$	Volumen de leña en m3.
B3	-----	DAP en cm.
A9- A18	-----	Altura de copa. "h", m.
B7- L7	-----	Número de ramas, "R".
B9- L9	COPY Bloque fuente (B9.) a Bloque destino (C9..L9)	Volumen de la primera fila de la tabla.
B10- L18	COPY Bloque fuente (C9.) a Bloque destino (C10..L18)	Volumen del resto de la tabla.

Cuadro 29A. Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "Backward".

Paso 0		"Todas la variables entraron al modelo"		R <sup>2</sup> = 0.89473503		
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	4	1.25631562	0.31407890	180.62	0.0001	
Error	85	0.14780468	0.00173888			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	-0.03990248	0.02278354	0.00533367	3.07	0.0830	
DAP	0.00017005	0.00000995	0.50750343	291.86	0.0001	
Ht	-0.00149681	0.00117185	0.00283699	1.63	0.2050	
hc	-0.00741648	0.00231516	0.01784444	10.26	0.0019	
NR	0.00532370	0.00087566	0.06427196	36.96	0.0001	
Paso 1		Variable "Ht" Removida		R-cuadrado= 0.89271456		
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	3	1.25347863	0.41782621	238.53	0.0001	
Error	86	0.15064167	0.00175165			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	-0.04797795	0.02196900	0.00835429	4.77	0.0317	
DAP	0.00016989	0.00000999	0.50665707	289.25	0.0001	
hc	-0.00896582	0.00197919	0.03594602	20.52	0.0001	
NR	0.00498789	0.00083833	0.06200892	35.40	0.0001	

Todas las variables en el modelo fueron significativas en el nivel 0.1000.

RESUMEN.						
Paso	Variable Removida	Número En	Parcial R <sup>2</sup>	Modelo R <sup>2</sup>	F	Prob>F
1	Ht	3	0.0020	0.8927	1.6315	0.2050

FUENTE: Datos procesados en gabinete

Cuadro 30A. Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "Stepwise".

Paso 1		Variable "DAP" entrada al modelo			R <sup>2</sup> = 0.84029501	
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	1	1.17987528	1.17987528	463.02	0.0001	
Error	88	0.22424501	0.00254824			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	0.02520014	0.01126351	0.01275553	5.01	0.0278	
DAP	0.00018010	0.00000837	1.17987528	463.02	0.0001	
Numero de condiciones buena:		1,	1			
Paso 2		Variable "NR" Ingresada al modelo			R <sup>2</sup> = 0.86711417	
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	2	1.21753260	0.60876630	283.85	0.0001	
Error	87	0.18658769	0.00214469			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	-0.06528350	0.02393875	0.01595026	7.44	0.0077	
DAP	0.00015216	0.00001017	0.48013191	223.87	0.0001	
NR	0.00363005	0.00086630	0.03765732	17.56	0.0001	
Número de condiciones buenas:		1.754076,	7.016306			
Paso 3		Variable "hc" Ingresada el modelo			R <sup>2</sup> = 0.89271456	
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	3	1.25347863	0.41782621	238.53	0.0001	
Error	86	0.15064167	0.00175165			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	-0.04797795	0.02196900	0.00835429	4.77	0.0317	
DAP	0.00016989	0.00000999	0.50665707	289.25	0.0001	
hc	-0.00896582	0.00197919	0.03594602	20.52	0.0001	
NR	0.00498789	0.00083833	0.06200892	35.40	0.0001	

FUENTE: Datos procesados en gabinete

Continuación Cuadro 30A. Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "Stepwise".

Numero de condiciones buenas: 2.072202, 18.10098

Las variables en el modelo son significativas en el nivel  $\alpha = 0.05$ .  
Ninguna otra variable encontró los 0.05 de nivel de significancia para entrar en el modelo.

RESUMEN:

Paso	Variable Entrada/Removida	Número En	Parcial R <sup>2</sup>	Modelo R <sup>2</sup>	F	Prob>F
1	DAP	1	0.8403	0.8403	463.0160	0.0001
2	NR	2	0.0268	0.8671	17.5584	0.0001
3	hc	3	0.0256	0.8927	20.5213	0.0001

FUENTE: Datos de gabinete

Cuadro 31A. Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "MAXR".

Paso 1		Variable "DAP" Entrada		R-cuadrado= 0.84029501		
	GL	Suma de Cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	1	1.17987528	1.17987528	463.02	0.0001	
Error	88	0.22424501	0.00254824			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	0.02520014	0.01126351	0.01275553	5.01	0.0278	
DAP	0.00018010	0.00000837	1.17987528	463.02	0.0001	
Límite en el número de la condición: 1,			1			
El modelo anterior es el mejor modelo. 1 variable en el modelo fue encontrada						
Paso 2		Variable "NR" Entrada		R-cuadrado= 0.86711417		
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F	
Regresión	2	1.21753260	0.60876630	283.85	0.0001	
Error	87	0.18658769	0.00214469			
Total	89	1.40412029				
Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F	
INTERCEPTO	-0.06528350	0.02393875	0.01595026	7.44	0.0077	
DAP	0.00015216	0.00001017	0.48013191	223.87	0.0001	
NR	0.00363005	0.00086630	0.03765732	17.56	0.0001	
Límites en el número de la condición: 1.754076,			7.016306.			
El modelo anterior es el mejor. 2-variables en el modelo encontrado						

FUENTE: Datos procesados en gabinete

Continuación. Cuadro 31A. Selección de variables independientes para estimar el volumen de leña. Método "MAXR".

Paso 3		Variable "hc" Entrada		R-cuadrado = 0.89271456	
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F
Regresión	3	1.25347863	0.41782621	238.53	0.0001
Error	86	0.15064167	0.00175165		
Total	89	1.40412029			

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F
INTERCEPTO	-0.04797795	0.02196900	0.00835429	4.77	0.0317
DAP	0.00016989	0.00000999	0.50665707	289.25	0.0001
hc	-0.00896582	0.00197919	0.03594602	20.52	0.0001
NR	0.00498789	0.00083833	0.06200892	35.40	0.0001

Límite en el número de la condición: 0.072202, 18.10098

El modelo anterior es el mejor. 3-variables en el modelo fueron encontrados.

Paso 4		Variable Ht Entrada		R-cuadrado = 0.89473503	
	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Prob>F
Regresión	4	1.25631562	0.31407890	180.62	0.0001
Error	85	0.14780468	0.00173888		
Total	89	1.40412029			

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Suma de cuadrado Tipo II	F	Prob>F
INTERCEPTO	-0.03990248	0.02278354	0.00533367	3.07	0.0835
DAP	0.00017005	0.00000995	0.50750343	291.86	0.0001
Ht	-0.00149681	0.00117185	0.00283699	1.63	0.2050
hc	-0.00741648	0.00231516	0.01784444	10.26	0.0019
NR	0.00532370	0.00087566	0.06427196	36.96	0.0001

Límites del número en la condición: 2.68818, 37.67853

El modelo anterior es el mejor. 4-variables en el modelo fueron encontrados.

Ninguna posterior mejora en R-cuadrado fue posible.

FUENTE: Datos procesados en gabinete

Cuadro 33A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. 25 cm.Pinus pseudostrobus Lindl.

DAP=25 cm.										
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)									
	18	22	26	30	34	38	42	46	50	
	Volumen (Metros cúbicos)									
5	0.1268	0.1411	0.1554	0.1698	0.1841	0.1984	0.2128	0.2271	0.2414	
7	0.1073	0.1217	0.1360	0.1503	0.1647	0.1790	0.1933	0.2077	0.2220	
9	0.0879	0.1022	0.1166	0.1309	0.1452	0.1596	0.1739	0.1882	0.2026	
11	0.0685	0.0828	0.0971	0.1115	0.1258	0.1401	0.1545	0.1688	0.1831	
13	0.0490	0.0634	0.0777	0.0920	0.1064	0.1207	0.1350	0.1494	0.1637	
15	0.0296	0.0439	0.0583	0.0726	0.0869	0.1013	0.1156	0.1299	0.1443	
17	0.0102	0.0245	0.0388	0.0532	0.0675	0.0818	0.0962	0.1105	0.1248	
19		0.0051	0.0194	0.0337	0.0481	0.0624	0.0767	0.0911	0.1054	
21				0.0143	0.0286	0.0430	0.0573	0.0716	0.0859	
23					0.0092	0.0235	0.0379	0.0522	0.0665	

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

Cuadro 34A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. DAP 30 cm.

Pinus pseudostrobus Lindl.

DAP= 30 cm.										
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)									
	18	22	26	30	34	38	42	46	50	
	Volumen (Metros cúbicos)									
5	0.1756	0.1899	0.2042	0.2186	0.2329	0.2472	0.2615	0.2759	0.2902	
7	0.1561	0.1705	0.1848	0.1991	0.2134	0.2278	0.2421	0.2564	0.2708	
9	0.1367	0.1510	0.1654	0.1797	0.1940	0.2083	0.2227	0.2370	0.2513	
11	0.1173	0.1316	0.1459	0.1602	0.1746	0.1889	0.2032	0.2176	0.2319	
13	0.0978	0.1121	0.1265	0.1408	0.1551	0.1695	0.1838	0.1981	0.2125	
15	0.0784	0.0927	0.1070	0.1214	0.1357	0.1500	0.1644	0.1787	0.1930	
17	0.0589	0.0733	0.0876	0.1019	0.1163	0.1306	0.1449	0.1593	0.1736	
19	0.0395	0.0538	0.0682	0.0825	0.0968	0.1112	0.1255	0.1398	0.1542	
21	0.0201	0.0344	0.0487	0.0631	0.0774	0.0917	0.1061	0.1204	0.1347	
23	0.0006	0.0150	0.0293	0.0436	0.058	0.0723	0.0866	0.1010	0.1153	

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

Cuadro 35A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. DAP 35 cm.**Pinus pseudostrobus Lindl.**

DAP= 35 cm.										
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)									
	18	22	26	30	34	38	42	46	50	
	Volumen (Metros Cúbicos)									
5	0.2332	0.2475	0.2619	0.2762	0.2905	0.3049	0.3192	0.3335	0.3479	
7	0.2138	0.2281	0.2424	0.2568	0.2711	0.2854	0.2998	0.3141	0.3284	
9	0.1943	0.2087	0.2230	0.2373	0.2517	0.2660	0.2803	0.2947	0.3090	
11	0.1749	0.1892	0.2036	0.2179	0.2322	0.2466	0.2609	0.2752	0.2896	
13	0.1555	0.1698	0.1841	0.1985	0.2128	0.2271	0.2415	0.2558	0.2701	
15	0.1360	0.1504	0.1647	0.1790	0.1934	0.2077	0.2220	0.2364	0.2507	
17	0.1166	0.1309	0.1453	0.1596	0.1739	0.1883	0.2026	0.2169	0.2313	
19	0.0972	0.1115	0.1258	0.1402	0.1545	0.1688	0.1832	0.1975	0.2118	
21	0.0777	0.0921	0.1064	0.1207	0.1351	0.1494	0.1637	0.1781	0.1924	
23	0.0583	0.0726	0.0870	0.1013	0.1156	0.1300	0.1443	0.1586	0.1729	

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

Cuadro 36A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. DAP 40 cm.

Pinus pseudostrobus Lindl.

DAP= 40 cm.										
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)									
	18	22	26	30	34	38	42	46	50	
Volumen (Metros cúbicos)										
5	0.2997	0.3141	0.3284	0.3427	0.3571	0.3714	0.3857	0.4001	0.4144	
7	0.2803	0.2946	0.3090	0.3233	0.3376	0.3520	0.3663	0.3806	0.3949	
9	0.2609	0.2752	0.2895	0.3039	0.3182	0.3325	0.3469	0.3612	0.3755	
11	0.2414	0.2558	0.2701	0.2844	0.2988	0.3131	0.3274	0.3417	0.3561	
13	0.2220	0.2363	0.2507	0.2650	0.2793	0.2937	0.3080	0.3223	0.3366	
15	0.2026	0.2169	0.2312	0.2456	0.2599	0.2742	0.2885	0.3029	0.3172	
17	0.1831	0.1975	0.2118	0.2261	0.2404	0.2548	0.2691	0.2834	0.2978	
19	0.1637	0.1780	0.1924	0.2067	0.2210	0.2353	0.2497	0.2640	0.2783	
21	0.1443	0.1586	0.1729	0.1872	0.2016	0.2159	0.2302	0.2446	0.2589	
23	0.1248	0.1391	0.1535	0.1678	0.1821	0.1965	0.2108	0.2251	0.2395	

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

Cuadro 37A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. DAP 45 cm.

**Pinus pseudostrobus Lindl.**

DAP= 45 cm.										
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)									
	18	22	26	30	34	38	42	46	50	
	Volumen (metros cúbicos)									
5	0.3751	0.3895	0.4038	0.4181	0.4324	0.4468	0.4611	0.4754	0.4898	
7	0.3557	0.3700	0.3844	0.3987	0.4130	0.4273	0.4417	0.4560	0.4703	
9	0.3363	0.3506	0.3649	0.3792	0.3936	0.4079	0.4222	0.4366	0.4509	
11	0.3168	0.3311	0.3455	0.3598	0.3741	0.3885	0.4028	0.4171	0.4315	
13	0.2974	0.3117	0.3260	0.3404	0.3547	0.3690	0.3834	0.3977	0.4120	
15	0.2779	0.2923	0.3066	0.3209	0.3353	0.3496	0.3639	0.3783	0.3926	
17	0.2585	0.2728	0.2872	0.3015	0.3158	0.3302	0.3445	0.3588	0.3732	
19	0.2391	0.2534	0.2677	0.2821	0.2964	0.3107	0.3251	0.3394	0.3537	
21	0.2196	0.2340	0.2483	0.2626	0.2770	0.2913	0.3056	0.3200	0.3343	
23	0.2002	0.2145	0.2289	0.2432	0.2575	0.2719	0.2862	0.3005	0.3149	

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

UNIVERSIDAD DE LA HABANA  
SISTEMA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
CALLE 104 Y 105, C.R. 10400, LA HABANA, CUBA

Cuadro 38A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. 50 cm.Pinus pseudostrobus Lindl.

DAP= 50 cm.

hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)								
	18	22	26	30	34	38	42	46	50
Volumen (Metros cúbicos)									
5	0.4594	0.4737	0.4880	0.5024	0.5167	0.531	0.5454	0.5597	0.574
7	0.4399	0.4543	0.4686	0.4829	0.4973	0.5116	0.5259	0.5403	0.5546
9	0.4205	0.4348	0.4492	0.4635	0.4778	0.4922	0.5065	0.5208	0.5352
11	0.4011	0.4154	0.4297	0.4441	0.4584	0.4727	0.4871	0.5014	0.5157
13	0.3816	0.3960	0.4103	0.4246	0.4390	0.4533	0.4676	0.4820	0.4963
15	0.3622	0.3765	0.3909	0.4052	0.4195	0.4339	0.4482	0.4625	0.4769
17	0.3428	0.3571	0.3714	0.3858	0.4001	0.4144	0.4288	0.4431	0.4574
19	0.3233	0.3377	0.3520	0.3663	0.3807	0.3950	0.4093	0.4237	0.4380
21	0.3039	0.3182	0.3326	0.3469	0.3612	0.3756	0.3899	0.4042	0.4186
23	0.2845	0.2988	0.3131	0.3275	0.3418	0.3561	0.3705	0.3848	0.3991

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$

Cuadro 39A. Tabla para estimar el volumen de leña en m<sup>3</sup> con corteza. DAP 55 cm.

Pinus pseudostrobus Lindl.

DAP= 55 cm.										
hc (m.)	NUMERO DE RAMAS (NR)									
	18	22	26	30	34	38	42	46	50	
	Volumen (Metros cúbicos)									
5	0.5525	0.5668	0.5812	0.5955	0.6098	0.6242	0.6385	0.6528	0.6672	
7	0.5331	0.5474	0.5617	0.5761	0.5904	0.6047	0.6191	0.6334	0.6477	
9	0.5136	0.5280	0.5423	0.5566	0.5710	0.5853	0.5996	0.6140	0.6283	
11	0.4942	0.5085	0.5229	0.5372	0.5515	0.5659	0.5802	0.5945	0.6089	
13	0.4748	0.4891	0.5034	0.5178	0.5321	0.5464	0.5608	0.5751	0.5894	
15	0.4553	0.4697	0.4840	0.4983	0.5127	0.5270	0.5413	0.5557	0.5700	
17	0.4359	0.4502	0.4646	0.4789	0.4932	0.5076	0.5219	0.5362	0.5506	
19	0.4165	0.4308	0.4451	0.4595	0.4738	0.4881	0.5025	0.5168	0.5311	
21	0.3970	0.4114	0.4257	0.4400	0.4544	0.4687	0.4830	0.4974	0.5117	
23	0.3776	0.3919	0.4063	0.4206	0.4349	0.4493	0.4636	0.4779	0.4923	

Derivada de la ecuación:  $Vol = 0.0001773914DAP^2 - 0.009717426hc + 0.0035829133NR$



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 AGRONOMICAS

Ref. Sem.038-95

LA TESIS TITULADA: "MODELO MATEMATICO PARA LA CUBICACION DE LEÑA EN BOSQUES  
 DENSOS DE Pinus pseudostrobus Lindley DEL DEPARTAMENTO  
 DE CHIMALTENANGO".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JUAN MATEO HERNANDEZ JUAREZ

CARNET No: 8110083

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Oscar Núñez  
 Ing. Agr. Jorge Sandoval  
 Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno  
 Ing. Agr. Víctor Alvarez

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

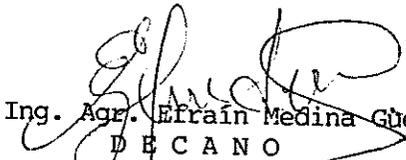
  
 Ing. For. José Mario Saravia Molina  
 ASESOR



Ing. Agr. Rolando Lara Alecio  
 DIRECTOR DEL IIA.

I M P R I M A S E



  
 Ing. Agr. Efraín Medina Guerra  
 DECANO

c.c. Control Académico APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.  
 Archivo  
 RL/prr.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770