

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

TESIS

**DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO DE *Pinus pseudostrobus* Lindl,
EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE
CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ.**

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

**POR
RONALDO ANTONIO CAMEY BERNARDINO**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO**

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, mayo 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL I	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL II	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sabría
VOCAL III	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL IV	Br. Rigoberto Morales Ventura
VOCAL V	Br. Miguel Armando Salazar Donis
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, mayo 2009

Guatemala, mayo del 2009

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

Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el documento:

TESIS

DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO DE *Pinus pseudostrobus* Lindl, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ.

Como requisito previo a optar al Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me despido.

Atentamente,

Ronaldo Antonio Camey Bernardino

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Mi sublime creador y formador. Gracias por dirigirme y acompañarme en todo momento.

Mis abuelos: Telésforo Antonio Camey C. (QEPD), Hermenegilda Tún García de Camey (QEPD), Valentina Bernardino (QEPD)
Gracias por sus sabias enseñanzas, amor y consejos; confío en que Nuestro Padre Celestial los tenga gozando de vida eterna.

Mis padres: Juan Daniel Camey Tún y María Dolores Bernardino de Camey.
Gracias por la concepción de mi vida, su amor, su apoyo, sacrificios, consejos y confianza, los amo con todo mi ser.

Mi esposa e Hijas: Mirian Aracely Mus Coy, Mirianth María y Dayana Aracely. Gracias por su amor, comprensión, paciencia y apoyo: son fundamentales en mi vida, preciosas las amo por siempre.

Mis hermanas y hermano: Rosa Luvia, Vilma Maribel, Sara Leonor, Daniel Yanuario, Hilda Maritza, Sandra Dolores y Patricia Liseth. Gracias por su amor fraterno y apoyo incondicional, les amo mucho, Dios les bendiga.

Mis suegros: Oswaldo Mus Yat y María Elena Coy Chún de Mus (QEPD y en la gloria del Señor); gracias por aceptarme con cariño dentro de su familia.

Mis tías, tíos, primas y primos: En especial a tía Naty Bernardino de Toj (QEPD), Alfredo Toj, Yoly, Lethy, Flory y Fredy; tía Francisca Camey de Hernández (QEPD) y Víctor Hernández Rouzanth (QEPD), Ester, Marthy, Any, Yoly y Clarita. Gracias por su apoyo, estancia en sus hogares, sus muestras de cariño y consideración.

Mis cuñadas y cuñados: Con admiración y respeto.

Mis sobrinas y sobrinos: Gracias por su cariño.

Mis amigos y amigas: Los y las del pasado, del presente, de lejos, de cerca, comunitari@s, campesin@s, líderes, liderezas, técnic@s, profesionales, compañer@s y ex compañer@s de trabajo, los que se adelantaron a la vida eterna; gracias por ser muy buenos, por ser much@s y que por no omitir a alguien no l@s refiero por su nombre pero que están en mi pensamiento; gracias por su apoyo y por estar allí en muchos momentos de mi vida.

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala	País de la eterna primavera, tierra hermosa, querida y bendita por Dios.
San Martín Jilotepeque, Chimaltenango	Municipio de mis orígenes, que me vio nacer; presente siempre.
San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz	Municipio que me abrió sus brazos con cariño.
Ciudad de Guatemala	Espacio que permitió mi desarrollo profesional y laboral.
Departamentos de Chimaltenango, Sololá, Guatemala, Escuintla, Jalapa, Alta y Baja Verapaz	Tierras donde he trabajado, tengo muchos amigos y recuerdos.
Facultad de Agronomía	Mi centro de estudios y formación profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Gloriosa, tricentenaria, notable y grande.
Escuela Carlos Castillo Armas, Instituto San Ignacio y Liceo Javier	Centros de educación que contribuyeron en mi formación.
Mi familia	Fuente de amor y felicidad.
Instituto Nacional de Bosques INAB	Institución líder y modelo en administración pública, rectora de la actividad forestal fuera de áreas protegidas, promotora de más bosques para el desarrollo de Guatemala, a la que me honro en pertenecer.
Proyecto INAB/BOSCOM	Dedicado al fortalecimiento forestal municipal y comunal en materia forestal, donde con mis compañeros de trabajo hacemos un gran equipo.
Sector Forestal de Guatemala	Especialmente al comprometido con el buen manejo de los recursos naturales y ambiente, en el cumplimiento de la ley, con muchos retos y desafíos, dinámico y en constante crecimiento.
Asociación de Forestería Comunitaria de Guatemala “Ut’z Che”	Organización emprendedora de procesos participativos y de incidencia en materia forestal de tierras en propiedad, uso o acceso comunal.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A:

Mi asesor

Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales, gracias por promover la culminación de mi tesis, su apoyo y tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo.

Instituto Nacional de Bosques

Especialmente al Proyecto de Fortalecimiento Forestal Municipal y Comunal INAB/BOSCOM, la Región II, Las Verapaces e Ixcán y el Proyecto de Manejo y Utilización Sostenida de Bosques Naturales de Coníferas de Guatemala” del Programa Regional Forestal para Centroamérica con apoyo de FINNIDA, Finlandia. Por brindarme la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente-

Asociación Cristiana de Jóvenes

Por abrir sus puertas para iniciar mi vida laboral en el campo socio-agroforestal.

CEMAT

Por elegirme para su equipo técnico y acompañarles en la ejecución del Proyecto 7 de PROCAFOR-FINNIDA.

Ingenier@s Agrónom@s

Luís Fernando Pereira Rodas, Pedro López Velásquez, Jorge Chapas, Oscar Valenzuela Pos, Jorge Luís Girón, Mario Escobedo, Pedro Peláez Reyes, Guillermo Ruano, Walter Noé Mus Coy, Luís Barrera Garabito, Marcel Oseida De León, Mynor Barillas Muñoz, José María Aguilar, Silvia Valdez, Lyz Melina Colocho, Wilfredo Villagrán, Claudio Cabrera, Manuel Aragón, Blanca Aragón, Adolfo Revolorio, Carlos Archila, Alfredo Coc, Roberto Moya, Marco Tax, Daniel López, Daniel Escalante, Marco A. Juárez, Francisco López, entre otros. Agradecimientos por su apoyo y amistad.

Licenciad@s

Mirian Aracely Mus Coy, Maritza y Patricia Camey Bernardino, Martha E. Hernández Camey, Edy Yovani Alvarado Salazar, Erick Oswaldo Mus, Claudia Sac de Mus, Timoteo López, Leticia Quezada de López, Aurelio Chávez Cochoy, Ingry Leja García, Arquitecta Kajsa Eckemberg y Dr. Roberto Cáceres.

Compañer@s de trabajo

Gracias por su apoyo, cariño y amistad.

Yovani Alvarado, Jorge Chapas, Rosarito Barillas, Benjamín Poou, Elmir López, María del Rosario Domingo, Enmanuel Sánchez, Adán Valdez, Oscar Zúñiga, Jovino Martínez, Héctor Mérida, Ronal Palacios, Carlos Chajón, Jorge Mario Cano, Víctor López Illescas, José A. Gil Soberanis, Antonio Ajquejay, Héctor Chávez.

Mi respeto y agradecimientos.

Asociación de Forestería Comunitaria de Guatemala “Ut’z Che”

En especial a ACIPalín, ACICubulco, Asopacalaj, Asogadalupana, Cooperativas El Bosque, San Nicolás y Nuevo México, ECA’s La Bendición y Nuevo Todos Santos.

CONTENIDO GENERAL

No.	CONTENIDO	Página
	Índice general	i
	Índice de figuras	iii
	Índice de cuadros	iv
	Resumen	v
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
3.	MARCO TEÓRICO	4
3.1	Marco conceptual	4
3.1.1	Descripción general del <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	4
3.1.2	Descripción morfológica	4
3.1.3	La forma de los árboles	6
3.1.4	Crecimiento diamétrico a diferentes niveles del fuste	7
3.1.5	Productos maderables	7
3.1.6	Componentes del árbol	8
3.1.7	Tablas de volumen	10
3.1.8	Tipos de tablas de volumen	10
3.1.9	Metodología empleada para la elaboración de tablas de volumen para coníferas de Guatemala por FAO-INAFOR en 1977	11
3.1.10	Cubicación de los árboles muestra	11
3.1.11	Algunas relaciones de variables alométricas de importancia	12
3.1.12	Algunos estudios sobre distribución del volumen por producto	13
3.1.13	Selección de la muestra	14
3.1.14	Análisis de regresión	15
3.2	Marco referencial	18

No.	CONTENIDO	Página
3.2.1	Ubicación geográfica del área de estudio	18
3.2.2	Clima	18
3.2.3	Zona de vida	18
3.2.4	Geología	20
3.2.5	Región fisiográfica	19
3.2.6	Hidrografía	21
3.2.7	Series de suelos	21
4.	OBJETIVOS	23
4.1	Objetivo general	23
4.2	Objetivos específicos	23
5.	METODOLOGÍA	24
5.1	Área de estudio	24
5.2	Fase I de campo: reconocimiento del área de estudio	24
5.3	Fase II de campo	27
5.3.1	Método de muestreo y características de los árboles muestreados	27
5.3.2	Información recabada	28
5.3.3	Variables primarias	28
5.3.4	Variables derivadas	29
5.4	Procesamiento y análisis de la información	31
5.4.1	Selección de modelos matemáticos	31
5.5.2	Despliegue de tablas	35
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6.1	Tabla de distribución del volumen por producto	36
6.1.1	Dispersión de porcentajes reales por producto	36
6.1.2	Generación de modelos matemáticos	38
6.1.3	Despliegue de tablas de distribución del volumen por producto	41
6.2	Tabla de volumen para árboles individuales	44
6.2.1	Análisis de regresión	44

No.	CONTENIDO	Página
6.2.2	Elaboración de la tabla de volumen	45
7.	CONCLUSIONES	47
8.	RECOMENDACIONES	48
9.	BIBLIOGRAFÍA	49
10.	ANEXOS	51
Anexo 1	Boleta de campo para la elaboración de tablas de volumen por productos y volumen total para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	52
Anexo 2	Base de datos de la distribución del volumen por producto en metros cúbicos en árboles de de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	53
Anexo 3	Base de datos de la distribución del volumen por producto en porcentaje en árboles de de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	55
Anexo 4	Modelos y programa utilizados en SAS (FAUSAC, 1998), utilizados para efectuar los análisis de regresión para generar las tablas de volumen total y por productos para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	57

INDICE DE FIGURAS

No.	CONTENIDO	Página
Figura 1	Zonas de vida donde se distribuye naturalmente la especie de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en los departamentos de Chimaltenango y Sololá	19
Figura 2	Localización de puntos de muestreo en el área de estudio. Departamentos de Chimaltenango y Sololá	26
Figura 3	Diagrama de dispersión de volumen en porcentaje de troza de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	36
Figura 4	Diagrama de dispersión de volumen en porcentajes de trocilla de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	37
Figura 5	Diagrama de dispersión de volumen en porcentajes de leña de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	37

INDICE DE CUADROS

No.	CONTENIDO	Página
Cuadro 1	Ubicación geográfica y altitudinal de las fincas donde se recopiló la información básica para elaborar tablas de distribución del volumen por producto para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl en los departamentos de Chimaltenango y Sololá	25
Cuadro 2	Categorías diamétricas, cantidad y características de los árboles muestra de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	28
Cuadro 3	Fórmulas utilizadas para la obtención del volumen total y por producto de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	30
Cuadro 4	Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para la estimación de porcentajes de troza, trocillo y leña de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	37
Cuadro 5	Resumen de las pruebas con que se trataron los modelos matemáticos seleccionados para estimar el porcentaje de troza, trocilla y leña de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	40
Cuadro 6	Modelos matemáticos que representan los porcentajes de troza, trocillo y leña, para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	40
Cuadro 7	Tabla de distribución del volumen en porcentaje por producto para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	42
Cuadro 8	Resultados del análisis estadístico de algunos de los mejores modelos, efectuado para obtener la tabla de volumen total con corteza en m ³ para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	44
Cuadro 9	Tabla de volumen total para árboles individuales de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	46

DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO DE *Pinus pseudostrabus* Lindl, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ.

VOLUME DISTRIBUTION PER PRODUCT OF *Pinus pseudostrabus* Lindl, IN NATURAL FORESTS OF THE DEPARTMENTS OF CHIMALTENANGO AND SOLOLA

RESUMEN

En Guatemala, la especie *Pinus pseudostrabus* está naturalmente distribuida en los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, Quiché, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Baja Verapaz y Jalapa, la que es utilizada como fuente de energía en forma de leña y para la extracción de productos maderables aserrados tales como tablas, vigas, reglas, etc.

Petters en el año de 1977, en coordinación inter institucional de FAO-INAFOR, inicia los primeros ensayos en Guatemala para formular y elaborar tablas de volumen utilizando modelos estadístico-matemáticos en especies forestales, luego DIGEBOS e INAB con el apoyo de PROCAFOR-FINNIDA (1993-2003) promovió el desarrollo de investigaciones forestales con énfasis para coníferas tales como Tablas y Gráficas de Índice de Sitio, Tablas de Volumen, de Incremento y de Volumen por Productos, esto con el fin de generar herramientas para elaborar planes de manejo forestal que contribuyan a asegurar la sostenibilidad del bosque. Esta investigación se llevó a cabo en bosques naturales ubicados en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, en las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical y Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical, donde la especie *Pinus pseudostrabus* Lindl. es indicadora y se distribuye naturalmente. Específicamente se realizó en fincas y rodales donde se estaban realizando aprovechamientos con planes de manejo forestal y licencias extendidas por el Instituto Nacional de Bosques (INAB); el presente estudio permite que se puedan definir con mejor y mayor precisión el tipo y cantidad de productos a obtener del bosque en el momento de ejecutar el plan de manejo y en consecuencia estimar los posibles beneficios económicos a obtener del mismo.

Recurriendo a la relación DAP-ALTURA-VOLUMEN, mediante análisis de regresión lineal múltiple, se elaboraron tablas de volumen por productos (% Trocilla, % Troza, % Leña) y volumen total, a partir de una muestra de 64 árboles con los cuales se establecieron 11 categorías diamétricas (C.D.) con

intervalos de 5 cm. a partir de 10 cm. hasta 65 cm. de DAP con corteza; asimismo se consideró derribar como mínimo 4 árboles por cada categoría diamétrica. Con la muestra seleccionada se procedió a tabular los datos obtenidos en campo, y posteriormente a realizar el análisis e inferencias de los modelos matemáticos generados (48 modelos probados entre ellos: cuadráticos, potenciales y logarítmicos) para estimar la distribución del volumen por producto de interés en esta investigación determinando que para el área bajo estudio los silvicultores deberán ajustarse a los modelos matemáticos estadísticos que explican en un 99.99% de confiabilidad, el volumen en porcentaje de: Troza utilizando el modelo ($\text{Ln (Troza V\%)} = 1.488651\text{LnH} + 0.012753\text{D} - 0.045236\text{H}$), Trocilla con el modelo ($\text{Ln (Trocilla V\%)} = 4.92688 - 0.001836\text{D}^2 - 0.055352\text{H} + 0.000030729\text{D}^2\text{H}$) y Leña con el modelo ($\text{Ln (Leña V\%)} = -0.074349\text{D} + 2.809880\text{LnD} - 1.281150\text{LnH}$), bajo condiciones ecológicas y silvícolas similares.

Finalmente se determinó que el modelo matemático que representa adecuadamente la relación entre las variables: volumen total con corteza (incluyendo fuste y ramas), en función del DAP (diámetro a la altura del pecho en centímetros) y la altura total en metros, a un nivel de significancia del 99.99%; y en virtud de lo anterior es el más indicado para ser la base de la elaboración de una tabla de estimación volumétrica para árboles individuales generado para la región bajo estudio es el siguiente: $V \text{ (m}^3\text{)} = 0.000151326 * \text{DAP}^{1.99141} * \text{H}^{0.635611}$

1. INTRODUCCION

Entendiendo el manejo forestal como el aprovechamiento sostenible de los productos deseados y de los servicios ambientales que provee el bosque, asegurando su existencia en el futuro; el cual requiere de un proceso que incluye diferentes fases que buscan el ordenamiento del bosque con base a sus potencialidades, pero que necesita de herramientas que permitan tomar decisiones adecuadas para su manejo sostenible.

Históricamente se han propuesto varias formas de llevar a cabo la planificación de la ordenación forestal, desde los planes que se plasmaban en documentos bastante voluminosos, poco comprensibles especialmente para los propietarios, a lo que actualmente se está impulsando en simplificar los planes de manejo forestal para agilizar su elaboración, facilitar su comprensión y ejecución por los propietarios del recurso u otras personas poco familiarizadas con el campo forestal; pero sin obviar la finalidad de los mismos, que es contemplar todas las intervenciones silviculturales para ordenar el bosque, considerando sus limitaciones y posibilidades, fundamentándose en los principios de la rentabilidad, persistencia, máximo rendimiento y amigable con el ambiente.

El Programa Regional Forestal para Centroamérica (PROCAFOR) de la Agencia Finlandesa para la Cooperación (FINNIDA), a través del proyecto 7. Manejo y Utilización Sostenida de Bosques Naturales de Coníferas en Guatemala. (1993-2003) y el Instituto Nacional de Bosques (INAB), han impulsado para coníferas un modelo de plan de manejo llamado modelo centroamericano; a través de un proceso de institucionalización que ha implicado la capacitación de los sectores involucrados, adaptaciones a la legislación, preparación de normas y procedimientos, formatos, manuales e instructivos; además de la investigación necesaria para garantizar la adaptación local del modelo.

Dicha investigación pretende generar herramientas básicas propias; acordes a las condiciones de crecimiento, composición y aprovechamiento de las masas forestales de nuestro país, que puedan ser utilizadas para la planificación adecuada del manejo de los recursos forestales.

El conocimiento del volumen y su distribución por productos de *Pinus pseudostrabus* Lindl. es una información muy importante para el silvicultor y para la elaboración de planes de manejo; que aseguren el aprovechamiento racional y continuo de los recursos que en ellos sustentan.

Este proyecto ha generado tablas de distribución del volumen por producto en *Pinus pseudostrabus* Lindl. en las zonas de vida y de distribución natural en los departamentos de Chimaltenango y Sololá; recurriendo a la relación DAP-ALTURA-VOLUMEN, mediante análisis de regresión lineal múltiple.

Es importante aclarar que el presente estudio fue desarrollado desde finales de 1996, pero por razones de fuerza mayor, no se presentó el informe en su oportunidad; sin embargo los resultados tienen vigencia y aplicabilidad permanente y fueron publicados en el Manual para la Elaboración de Planes de Manejo Forestal en Bosques de Coníferas editado por PROCAFOR del Instituto Nacional de Bosques en el 2001.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

En Guatemala, a pesar de tener un porcentaje mayoritario de tierras aptas para la producción forestal (51.1 %, INAB, 1997,); las áreas de bosque existentes (39.9 %, según INAB 2003), padecen de un acelerado proceso de deterioro y disminución, que reflejan la crisis ligada a la problemática agraria, ambiental, social y económica.

Al igual que la mayor parte de las superficies boscosas del país, en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, en donde además se acentúa el minifundio, existen áreas boscosas que son aprovechadas sin directrices técnicas, la mayoría ilícita y selectivamente o a través de un intermediario que se favorece de la desvalorización del bosque en pie, lo que no conduce hacia su manejo ecológico, social y económicamente sustentable, sino por el contrario; la calidad de los bosques ha disminuido y tales aprovechamientos sólo proporcionan beneficios económicos de corto plazo.

Lo anterior se debe también a que es escasa, o no se cuenta con información proveniente de investigación aplicada en materia forestal, que permita herramientas básicas para la estimación de productos forestales, que complementen la planificación y ejecución de actividades de manejo forestal.

Uno de los principales problemas que afrontan los técnicos y profesionales forestales, es precisamente la estimación de los productos a extraer al momento de planificar las actividades silvícolas, ya que es un trabajo arduo y muchas veces inexacto, que conlleva a una subestimación o sobrestimación del producto, siendo el propietario del bosque el más afectado. En este sentido, el presente estudio permite que se puedan definir con mejor y mayor precisión el tipo y cantidad de productos a obtener del bosque en el momento de ejecutar el plan de manejo y en consecuencia estimar los posibles beneficios económicos obtenidos del mismo.

De esto se deriva la justificación de esta investigación que se desarrolló en una de las regiones del país donde se distribuye naturalmente *Pinus pseudostrobus* Lindl. en los departamentos de Chimaltenango y Sololá.; y siendo esta una especie de importancia económica y ecológica, se consideró necesario generar estas herramientas técnicas con las que se pretende simplificar los planes de manejo, propiciando a futuro la sostenibilidad del bosque y contribuyendo con el desarrollo forestal en esta región.

3. MARCO TEORICO

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Descripción general del *Pinus pseudostrabus* Lindl. .

Clasificación taxonómica:

Familia	Pinaceae
Genero	<i>Pinus</i>
Especie	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.
Nombre común	pino triste

La especie *Pinus pseudostrabus* Lindl., esta estrechamente relacionada con la especie *Pinus montezumae*, con la cual produce cruzamiento y los productos de aquella hibridación, producen variedades muy 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 *Pinus montezumae*. (23).

El *Pinus pseudostrabus* Lindl. es utilizado como fuente de energía en forma de leña y para la extracción de productos maderables aserrados tales como tablas, vigas, reglas, etc.

En Guatemala, la especie está naturalmente distribuida en los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, Quiché, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Baja Verapaz y Jalapa (23).

3.1.2 Descripción morfológica

Árbol hasta 45m 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. La corteza en la vejez es áspera y agrietada. 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 *P. montezumae*, porque esta última tiene retoños gruesos, con un apariencia más o menos rojiza y las partes adherentes a las brácteas son densas, fuertes y persistentes (23).

Hojas en grupos de 5 fascículos, 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 (23).

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 entradas en el clorénquima (23).

El endodermo tiene sus paredes externas engrosadas. Dos haces fibrovasculares muy aproximados o poco distinguibles (23).

Las vainas son perennes, anilladas de 12 a 28 mm. de largo, de color 5YR 4/2 (castaño ceniciento) algo brillante. Yemas oblongo-cónicas de color anaranjado. Conillos subterminales, oblongos, largamente pedunculados, solitarios o por grupos hasta tres, oscuros, con escamas provistas de puntos, la cual posteriormente es caediza (23).

Conos ovoides o largamente ovoides de 7.5 a 12 cm. de largo, de color café claro, amarillento o moreno extendidos, levemente a veces casi sésiles. Frecuentemente queda el pedúnculo con las escamas basales, formando una roseta sobre las ramas, al caer el cono. La maduración es de enero a febrero (23).

Las escamas son delgadas, quilla por lo común baja y poco marcada; cúspide pequeña deprimida, provista de una punta cónica, frágil y persistente, esta especie tiene en Guatemala tres variedades: la de *apulcensis*, *coatepequeensis* y la *esteresii* y una forma, la *protuberans* y la especie *oaxacana* (23).

3.1.3 La forma de los árboles

La forma del árbol sirve principalmente para el cálculo de su volumen geométrico. La forma se debe a la disminución del diámetro con el aumento de la altura, y puede valorarse con base a la relación del volumen del árbol con el volumen de algún sólido geométrico, o la relación que existe entre dos diámetros del mismo árbol (22).

El tronco tiene una forma muy compleja que depende de la especie y las características de la copa. Esto se debe en gran parte a que la capa de madera anual que el árbol deposita en su tronco, durante cualquier temporada de crecimiento, no es uniforme en espesor a todo lo largo de éste. En las coníferas existe por lo general una porción del tronco cercano a la base de la copa viva en la cual el espesor de los anillos alcanza su punto máximo; lo anterior significa que los árboles que crecen dentro de los rodales, en los cuales la proporción de copa viva es relativamente pequeña, tendrán al final troncos más cilíndricos que aquellos que se desarrollan al descubierto, cuyas copas de mayor longitud hacen que el tronco sea más ahusado. Este fenómeno se debe en gran parte, a la disponibilidad de carbohidratos, ya que es más probable que la cantidad de éstos sea mayor en la parte inferior de la copa viva, donde se encuentra la mayor cantidad de follaje. Incluso en aquellos casos en que la cantidad de carbohidratos es adecuada, los espesores de los anillos generalmente disminuyen hacia la base del tronco, debido a que ahí el diámetro de éste es mayor; sin embargo, el área o el volumen del anillo pueden aumentar hacia la base de la copa viva. La consecuencia es que las condiciones del rodal o los tratamientos silvícolas que modifican la proporción de la copa viva incluyen la forma del tronco (7).

Los raleos provocan que los árboles que quedan en pie tiendan a ser más ahusados debido a que el tratamiento eleva la proporción de la copa viva; no obstante, la poda hace que los troncos sean menos ahusados, debido a que este tratamiento disminuye la proporción de la copa viva. El raleo y la poda, tienen efectos que se compensan, pero el grado de cambio potencial en la forma del tronco depende de la intensidad del tratamiento y de la magnitud del aumento o disminución que el mismo produce sobre la tasa de crecimiento; por ejemplo, una poda severa puede eliminar una proporción tan alta de la copa funcional que el crecimiento en altura puede disminuir y suspenderse la formación de anillos en la base del tronco; un raleo excesivo puede producir lo que se denomina un "shock" de raleo, o sea una disminución de la tasa de crecimiento (7).

3.1.4 Crecimiento diamétrico a diferentes niveles del fuste

Un árbol disminuye en diámetro de la base a la punta; así que cualquier corte de tronco de él tendrá una forma ahusada. De hecho, ahusamiento es el término aplicado a esa pérdida en diámetro. El que es expresado en pulgadas para longitudes dadas, más comúnmente para longitudes de 16 pies. Por causa del abultamiento cerca de las raíces, los troncos inferiores tienen excesivo ahusamiento en los primeros 2 ó 3 pies (6).

El crecimiento diamétrico no es igual en todas las partes del tronco de un árbol. Normalmente hay dos puntos de máximo crecimiento, uno cerca de la base del árbol que es considerado como el ensanchamiento del tocón y otro en la base de la copa viva. Este último, porque eleva el tallo con el crecimiento del árbol en altura y, como las ramas bajas van muriendo una a una, nunca sucede abultamiento del tallo en algún lugar pero sirve para cambiar la forma del trozo de un cono en la etapa juvenil, a un paraboloides a medida que el árbol va madurando (2).

3.1.5 Productos maderables

Según Jkongma (20) entre los productos más importantes de la corta y extracción se tienen los siguientes:

a. Trozas para aserrío:

Son los productos más importantes de los bosques. Siendo sus dimensiones normales, diámetro en el extremo más delgado sin corteza, mayor o igual a 30cm., la longitud de las trozas está entre 3 y 5 metros.

b. Trozas para fábrica de chapas

c. Postes para conducción de cables de electricidad y telegráficos:

Su longitud es normalmente de 7-15 m., el diámetro en el extremo superior oscila entre 15 y 17 cm.

d. Trozas para pulpa y papel:

Longitud normal 1-3 m., el diámetro varía entre 10-40 cm.

e. Trozas para cerca:

Las dimensiones dependen de su forma de utilización.

f. Leña:

Es el producto más común y antiguo. Es usada la mayoría de especies forestales sin tomar en cuenta tamaño. CATIE, Rodríguez Moreno y Spur, según Hernández (14), indican que el diámetro comercial de leña rolliza es de 2.5 a 10 cm. y Salazar, indica que los diámetros de fuste y ramas por debajo se consideran como follaje.

g. Trozas labradas y durmientes de ferrocarril:

El largo de durmiente es de 2.5-2.7 m., con diámetro 30-40 cm., en el labrado de trozas lo que se consigue es reducir el volumen de secado.

Según Turtianen y compañeros (26), los productos forestales se pueden dividir en cuatro categorías que son: troza (diámetro mayor 20 cm.), Trocilla (diámetro 10-20 cm.), Leña y otros; estimándose los productos directamente en el campo así: troza 60%, trocilla 20%, y leña 20% más ramas.

3.1.6 Componentes del árbol

La separación e identificación de los componentes del árbol sugerida por Hakkila (1989), según Castellanos (4) es la siguiente:

- a. Árbol entero, que incluye la biomasa de todos los componentes del árbol arriba de la sección transversal del tocón, excluyendo el tocón y raíces.

- b. Árbol completo, se incluye el tocón y raíces.
- c. Punta no comercial del fuste, es definida por prácticas de troceo local.
- d. Ramas, incluye toda la madera y corteza de ramas vivas y muertas, pero sin incluir hojas, yemas y órganos reproductivos de un árbol. Las ramas son con frecuencia divididas en clases diamétricas, pero esta división varía de estudio a estudio de acuerdo a las condiciones y necesidades particulares.
- e. Follaje, incluye todas las hojas y nuevos brotes. Los órganos reproductivos, en la mayoría de los estudios también son incluidos en la biomasa foliar, aunque existen algunos estudios que los consideran como otro componente.
- f. Copa, está constituida por todas las ramas vivas y muertas, más todo el follaje y órganos reproductivos. Sin embargo, en muchos estudios las ramas muertas se excluyen.
- g. Fuste comercial, está constituido por toda la biomasa con mayor importancia comercial y va desde 0.30 m. de altura hasta donde da inicio la punta no comercial.
- h. Tocón, es la biomasa que se encuentra sobre el nivel del suelo y abajo de la base del fuste comercial.
- i. Raíces, incluye todas las raíces laterales, pero excluye la raíz principal, la cual se considera una parte del tocón como una elongación natural del tallo. Las raíces al igual que las ramas son subdivididas en clases diamétricas.

La medida tradicionalmente empleada para cuantificar madera y fustes ha sido en términos de volumen. Sin embargo, cuando los componentes del árbol como ramas, follaje, tocón y raíces son considerados, los métodos para determinar el volumen llegan a ser imprácticos. Por lo anterior, la biomasa (peso) más que el volumen, es la unidad más fácil y práctica, aunque esta es destructiva para

cuantificar los componentes de los árboles, el árbol completo o todo un bosque (Hakkila, 1989), según Castellanos (4).

3.1.7 Tablas de volumen

Según Ferreira (12), para obtener el volumen de los árboles en una parcela de muestreo, es necesario establecer una relación entre el DAP (diámetro a la altura del pecho) y altura. Esta relación entre el DAP y la altura puede ser una ecuación o fórmula, o bien una relación obtenida por métodos gráficos, que en general reciben el nombre de tablas de volumen.

Las tablas de volumen, se construyen con el fin de cubicar rápidamente los árboles de un rodal (medición indirecta del volumen de un rodal), a través de la medición en el campo del diámetro, altura, diámetro y altura, diámetro y un factor diamétrico de forma.

Cuando las tablas se hacen para cubicar árboles a través de su diámetro o alturas solamente, se tienen las tablas de volumen local o de una sola entrada. Cuando se elaboran a partir del diámetro y altura, se obtienen tablas de volumen general de doble entrada o Standard (26).

3.1.8 Tipos de tablas de volumen

Según Ferreira (12) se clasifican con base a la clase de volumen que se quiera estimar: total, aprovechable, sin corteza, comercial, etc., dentro de esta clasificación se puede hacer otra según el número de variables que se toma en cuenta para estimar el volumen:

- **Tablas de volumen local:** Tablas de una sola entrada, donde se considera por ejemplo el DAP, lo cual permite conocer el volumen a través del diámetro.
- **Tablas de volumen general (estándar):** Tablas de doble entrada, donde intervienen del DAP y la altura para determinar el volumen.
- **Tablas de volumen con clase de forma:** Tablas donde entran otros factores como por ejemplo el factor de forma (10).

3.1.9 Metodología empleada para la elaboración de tablas de volumen para coníferas de Guatemala por FAO, INAFOR en 1977.

Según Peters (23) la metodología aplicada considera básicamente cinco etapas principales:

- Cubicación de los árboles muestra.
- Análisis de regresión de volumen cúbico y elección del modelo apropiado.
- Comparación estadística entre las funciones de las distintas especies y eventual agrupación de ellas.
- Prueba de las tablas.
- Determinación de las funciones definitivas y despliegue de las tablas.

3.1.10 Cubicación de los árboles muestra:

Según Lojan (22), en la práctica forestal generalmente se presenta 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 más variables y con base en ellas se estima el volumen.

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

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

Los dos primeros métodos se usan con muchas limitaciones, aunque son más precisos que el de cubicación, pero la cubicación es el método que más usa el técnico forestal.

a) Volumen:

Para el cálculo de volumen de árboles se emplea un programa de computación escrito especialmente con tal objeto. El programa cúbica al tocón como cilindro, la troza basal de acuerdo a Newton; las trozas superiores de acuerdo a Huber y finalmente la punta como cono, obteniendo por sumas parciales los volúmenes hasta 10, 15, 20, y 25 centímetros de índices de utilización; como también, el volumen total (23).

b) Volumen aserrable:

Para el cálculo de volumen aserrable, es necesario preparar gráficos con la altura del árbol en la abscisa y el diámetro en la ordenada. La altura comercial comprendida entre el tocón y los índices de utilización se divide en trozas de diferentes largos, 8, 9, 10, 12, 14 y 16 pies (medidas de demanda comercial) tratando de optimizar los rendimientos (23).

Con el largo de cada troza y su diámetro mínimo leído directamente del gráfico se calcula el volumen aserrable acumulado de las trozas muestra mediante la Regla Internacional para sierra de 1/4" de ancho de corte. La elección de esta regla maderera se hace considerando por su amplia difusión, su mayor exactitud demostrada en diferentes estudios en el extranjero frente a la regla Doyle y la ventaja de poder modificar su fórmula básica para aplicarla a sierras de distinto ancho de corte y trozas de largo variable (23).

c) Volumen de madera para pulpa y/o leña sobre los índices de utilización de madera aserrable:

Los volúmenes de madera para pulpa y/o leña son calculados por diferencia entre las tablas de volumen cúbico para distintos índices de utilización (23).

3.1.11 Algunas relaciones de variables alométricas de importancia:

a) Diámetro y altura: La relación entre diámetro y altura de un árbol da una curva que representa el perfil del árbol.

- b) Diámetro y volumen: La interrelación de diámetro y volumen tiene la tendencia de una curva ascendente que se expresa matemáticamente: $V = aD^b$. Esto se interpreta que al aumentar el diámetro de los árboles aumenta el volumen con cierta proporción.
- c) Diámetro y área basal: Esta relación es curvilínea, gráficamente tiene la forma de una curva ascendente.
- d) Altura y volumen: Esta interrelación es curvilínea con una ecuación del tipo $V = aL^b$; en la cual el exponente b es inferior a la unidad.

Esta interrelación se utiliza en la elaboración de algunos tipos de tablas de volumen.

- e) Área basal y volumen: Esta interrelación tiene una tendencia lineal, especialmente en árboles de poco diámetro. Se ha empleado esta relación para elaborar tablas de volúmenes en bosques de una sola especie (9).

3.1.12 Algunos estudios sobre distribución del volumen por producto

Turtianen, Barahona, Calderón y Pérez (26), elaboraron una tabla de distribución del volumen por producto con corteza, para *Pinus oocarpa*, en Honduras.

Vásquez y Ugalde (27), elaboraron la tabla de volumen y de productos por clases diamétricas, estimando el número y tipo de producto de plantaciones de *Eucalyptus grandis*, en Costa Rica.

CATIE y MADELEÑA-DIGEBOS (5), efectuaron estudios de cuantificación de madera para leña en especies latifoliadas de rápido crecimiento.

Girón H. (13), elaboró la tabla de volumen y por productos para *Pinus maximinoi* H. E. Moore, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.

3.1.13 Selección de la muestra

FAO (11), indica que las poblaciones a inventariar como árboles para elaboración de tablas de volumen, son por lo regular grandes para cuantificarse o enumerarse completamente, porque para su simplificación se auxilia del muestreo estadístico.

Burkhart, FAO/FYDEP, FAO y Latorre, según Hernández (14), el método fundamental en la selección objetiva es el muestreo aleatorio, ya que elimina el error sistemático, permitiendo el cálculo preciso en la estimación.

FAO y Vanniere, según Hernández (14), indica que otros muestreos utilizados son: método de Neyman y el muestreo puntual horizontal. El primer método toma las muestras por clase diamétrica proporcionales al volumen de cada clase, mientras que el segundo selecciona las muestras proporcionales al área basal.

Número de muestras:

Lojan (22), Freese, FAO y Vanniere, según Hernández (14), indica que para la construcción de una tabla de volumen son necesarios datos de campo y el volumen de 3 a 5 árboles por clase diamétrica, además señalan que la muestra mínima que se necesita es de 30 árboles de una especie para ser estadísticamente aceptable, también señalan que en cuanto mayor sea el número de muestras, mas precisa es la estimación que se hace, pero que depende de muchos factores, tales como el rango de diámetro y las alturas de los árboles, extensión superficial, tipo de bosque, etc..

El tamaño de la muestra o número de árboles, depende básicamente del error que se quiere aceptar en la tabla, a mayor número de árboles muestra, menor error en la estimación y viceversa.

Cubicación de árboles:

Veillon, Martínez, Salazar y Burkhart, según Hernández (14), indican que el volumen de madera de un árbol es constituido por el volumen del fuste y de las ramas hasta un índice de utilización de 2.5 cm. Porciones menores a este diámetro se consideran follaje.

Alder (1), Rojas (24) y Ferreira (12), indican que para calcular el volumen por árbol, deben ser talados y luego medidos. Pero también pueden medirse en pie con un tele-relascope u otro instrumento similar. En árboles talados, para cubicarlos lo más simple es dividir el fuste en secciones semejantes a trozas, para luego cubicar cada sección con las fórmulas siguientes: Smalian, Huber, Newton, fórmula del cono y otras. Rojas (24), indica que la más práctica y usada por técnicos forestales es la Smalian.

$$V = L/2 (AB1 + AB2)$$

L = Longitud de sección

AB1= Toma diámetro mayor (inferior)

AB2= Toma diámetro inferior (superior)

3.1.14 Análisis de regresión

En la práctica forestal se encuentran a menudo que existe una relación entre dos o más variables. Por ejemplo se puede predecir o estimar la altura de un árbol en función de su DAP; también se puede estimar el volumen de un árbol en función de su DAP y altura; o el volumen por hectárea de un bosque se puede predecir conociendo su edad, cantidad de árboles por hectárea y calidad del sitio (12).

Cailliez (1980), referido por Girón (13) dice que se han desarrollado numerosas ecuaciones para expresar el volumen como variable dependiente sobre una o más variables independientes como el DAP y la altura. El problema no es tanto la obtención de los coeficientes de la ecuación, sino la elección del modelo más adecuado entre tantas ecuaciones conocidas.

Philip (1983), mencionado por Girón (13), dice que la utilización del análisis de regresión en la construcción de ecuaciones de volumen presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona un estimado de la precisión de la predicción o estimación.
- Se cuenta con un método objetivo de elección entre diferentes modelos matemáticos, y
- Se necesitan pocos datos para alcanzar una precisión dada.

Frese y Lojan, según Hernández (14), recomiendan el uso de análisis de regresión para el proceso de análisis de datos para la construcción de una tabla de volumen; esta técnica elimina la subjetividad de otros métodos.

También supone que el volumen está relacionado a las variables independientes escogidas por medio de una ecuación matemática. En caso de una solución gráfica esta ecuación nunca se llega a determinar.

En el análisis de regresión se usa la siguiente terminología (12):

- **Variable independiente:** Es la variable ubicada a la derecha del signo igual y se representa por la letra X , se llama también *argumento*.
- **Variable dependiente:** Es la variable ubicada a la izquierda del signo igual y se representa por la letra Y , se llama así porque su valor depende del valor de la variable independiente X .
- **Intercepto o constante:** Es un parámetro desconocido que se representa por la letra a , también se reconoce como *ordenada en el origen*.
- **Pendiente o coeficiente:** Es un parámetro desconocido que se representa por la letra b (12)

Ferreira (12) indica que hay dos métodos de construcción de tablas de volumen:

- a. Métodos indirectos
- b. Métodos directos

Para el método directo existen dos tipos de ajuste de tablas: El Gráfico y el Ajuste por Análisis de Regresión, este último se efectúa por el método de los mínimos cuadrados (se basa en la premisa de que el volumen está relacionado con las variables independientes elegidas de acuerdo a una función o ecuación matemática definida) y la ventaja es que la solución de la ecuación es objetiva y se puede calcular la desviación estándar de estimación y el coeficiente de correlación.

Existen numerosas ecuaciones las cuales se han desarrollado para expresar el volumen como variable dependiente sobre una o más variables independientes como el DAP y la altura. Los modelos más usados son: Modelos Logarítmicos, Modelos Polinomiales y otras fórmulas, en las que sobresale la de Variables Combinadas, la fórmula Australiana.

Las tablas de volumen local se elaboran con ecuaciones de regresión lineal simple, mientras que las de volumen estándar y con más de dos variables independientes se realizan utilizando ecuaciones de regresión lineal múltiple. (14)

Antes de elaborar una tabla se deben probar varios modelos para elegir el mejor, según el que proporcione un menor error estándar; sin embargo, existen otros índices para medir el error o exactitud de los modelos tales como la Diferencia Agregada, la Desviación Media, Índice de Furnival, etc.

Barrena, *et. al.* (1986) citado por Girón (13), dice que la elección de la mejor ecuación de volumen debe hacerse lo más objetivamente posible; para ello las ecuaciones deben clasificarse de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Cuadrado medio del error (CME):** Es un indicador que establece el error en la aproximación de los valores predichos con relación a los datos reales.
- **Coefficiente de determinación (R^2):** Valor que indica que el porcentaje de variación de los datos estimados es explicado por el modelo seleccionado, es decir que es la bondad del ajuste del modelo a los datos reales, en tal razón, mientras más se acerque éste valor a la unidad, se tendrá una correlación y regresión casi perfecta.
- **Coefficiente de variación (CV):** Determina el porcentaje de variabilidad de los valores reales.

Tomando en cuenta lo señalado por Cailliez (1980), referido por Girón (13), no se debe juzgar la calidad del ajuste de una regresión solamente por el valor numérico del coeficiente de determinación R^2 , pues el ajuste puede ser malo y el valor de R^2 elevado o viceversa.

El valor del coeficiente de variación CV, refleja porcentualmente la variación que los valores reales tienen con respecto a los valores que el modelo esperaría observar, y un modelo será más ajustado mientras su valor de coeficiente de variación sea mínimo.

3.2 Marco referencial

3.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en los departamentos de Chimaltenango y Sololá (Ver Figura 1), en las áreas donde se encuentra distribuida naturalmente la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl., para lo cual se contó con el apoyo de los propietarios de fincas forestales donde se estaban realizando aprovechamientos con licencias aprobadas por el Instituto Nacional de Bosques -INAB-. Cada una de las fincas se consideró como área de muestreo para la recolección de información.

3.2.2 Clima

De acuerdo al mapa climatológico según Thornthwaite el área se encuentra en un clima templado, con invierno benigno dentro de un bosque húmedo con invierno seco (B₂'b'Bi) (14).

La precipitación media anual oscila entre 1000 y 2000 mm., distribuidos en 120 a 140 días anuales (18).

La evapotranspiración según Thornthwaite oscila entre 700 a 800 mm. (17).

3.2.3 Zona de vida

El área de estudio se encuentra dentro de las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical y Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical (Ver Figura 1) (7).

La primera zona de vida se encuentra en un rango altitudinal entre los 1800 a 3000 msnm., con precipitación pluvial entre 2065 a 3900 mm. anuales; en tanto que la segunda se encuentra en un rango altitudinal de 1500 a 2400 msnm., con precipitación entre los 1057 a 1588 mm. anuales (7).

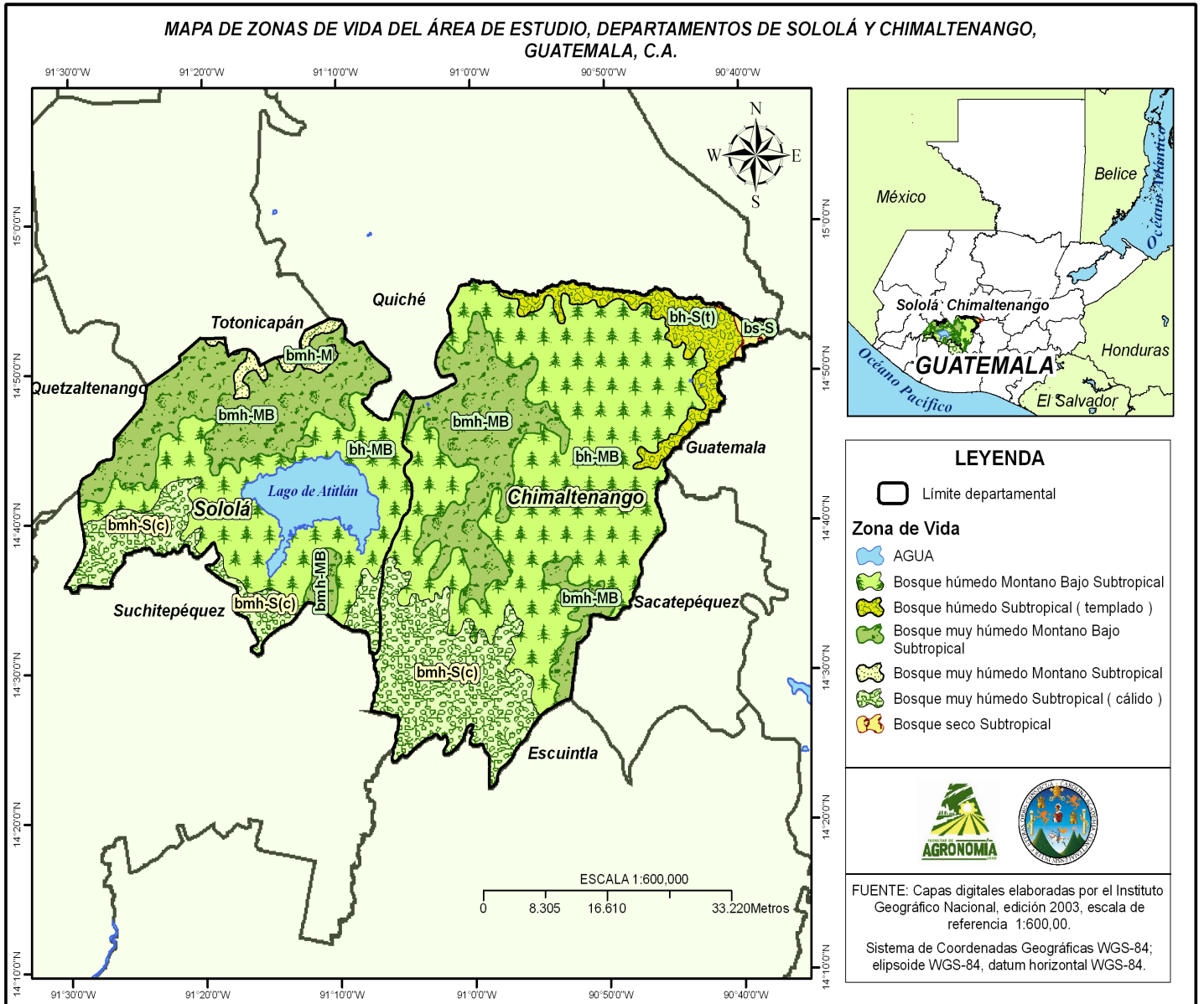


Figura 1. Zonas de vida donde se distribuye naturalmente la especie *Pinus pseudostrobus* L. en los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

3.2.4 Geología

Los materiales geológicos del área son básicamente:

- a. Tv. Terciarios. Rocas volcánicas sin dividir, predominando el mioplioceno. Incluye tobas coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.
- b. Qp. Cuaternario. Rellenos y cubiertas gruesas de ceniza pómez de origen diverso (12).

3.2.5 Región fisiográfica

El área se encuentra en las siguientes regiones fisiográficas:

- a) *Tierras altas volcánicas*

En Guatemala ha existido actividad volcánica desde el paleozoico, intensificada durante el terciario. En esta región, las erupciones de tipo de grieta lanzaron cantidades de material, principalmente basalto y riocacita que cubrieron las formas de tierras preexistentes, desarrolladas sobre el basamento cristalino sedimentario que se encuentra hacia el norte (16).

La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por tensión local, la cual, quebró y movió el material de la superficie, como por ejemplo, el valle hendido (graben) en que está localizada la ciudad de Guatemala (16).

Varias cuencas de esta región han sido parcialmente llenadas con pómez cuaternario, lo que proporciona un paisaje muy contrastado con las áreas volcánicas escabrosas que las rodean. Los valles en los que se localizan las ciudades de San Marcos, Sololá, Chimaltenango y la ciudad de Guatemala, son ejemplos característicos (16).

- b) *Tierras altas cristalinas*

Serpentinas, gneisses y esquistos dominan esta región, apareciendo algunas áreas de material plutónico, principalmente granito, que forman una región distinta tanto de los dos estados sedimentarios del norte, como de las regiones volcánicas del sur (16).

Esta área se ubica entre dos sistemas de fallas que han estado en evolución desde el paleozoico. El patrón de drenaje a través de esta región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Cuilco, Chixoy y Motagua están controlados por las diversas fallas existentes (16).

3.2.6 Hidrografía

El área se encuentra en la parte alta de las cuencas siguientes:

- Vertiente del Atlántico, sub-vertiente del Mar de las Antillas: cuenca del río Grande o Motagua.
- Vertiente del Pacífico: cuenca del Lago Atitlán, cuenca del río Madre Vieja y cuenca del río Coyolate (14).

3.2.7 Series de suelos

Las series de suelos que incluyen la parte alta de las cuencas anteriormente enumeradas son:

a) *Serie de suelos Tecpán*

Los suelos Tecpán, son profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino, en un clima frío húmedo seco. Ocupan llanuras de casi planas a onduladas a elevaciones medianas en la parte sur central de Guatemala. Están asociados con los suelos Cauqué, Tolimán y Patzicía, pero son más arenosos, tienen suelos superficiales más profundos y ocupan terrenos menos inclinados que éstos y están desarrollados sobre ceniza volcánica o pomácea, mientras que los Patzicía han sido influenciados por materiales de color oscuro. La vegetación natural consiste de Pino y Encino, pero casi todo se ha limpiado y esta intensamente cultivado (25).

Se encuentran localizados en los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez. Ocupan la planicie que se extiende desde Chimaltenango hasta Tecpán (25).

b) Serie de suelos Tolimán

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, en un clima frío y húmedo-seco. Ocupan relieves de ondulados a inclinados, a relativamente gran altitud en la parte sur-central de Guatemala. Están asociados con los suelos Comanchá, Patzité y Atitlán, pero se encuentran a elevaciones más bajas que los dos primeros, son menos arcillosos que los Cauqué y menos pedregosos que los Atitlán. Ocupan posiciones similares a las de los suelos Sinaché, pero no están tan bien desarrollados ni tan arcillosos como éstos. La vegetación natural consiste principalmente de Encino y Pino (25).

Se encuentran en la vecindad del Lago de Atitlán en el departamento de Sololá y en los departamentos de Chimaltenango y Suchitepéquez (25).

c) Serie de suelos Totonicapán

Los suelos Totonicapán son profundos, bien drenados desarrollados sobre ceniza volcánica o roca de color claro en un clima frío, húmedo. Ocupan relieves de inclinados a suavemente ondulados a gran altitud en el sur-oeste de Guatemala. Están asociados con los suelos Comanchá y Patzité, pero se encuentran a mayor altura y tienen suelos superficiales más profundos que éstos. La vegetación natural consiste de pino, pinabete, ciprés, encino y pastos (25).

Se encuentran en el sur-oeste de Guatemala, al oeste de Tecpán, en los departamentos de Totonicapán, Chimaltenango, Sacatepéquez, Suchitepéquez y Sololá (25).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Elaborar tablas de distribución del volumen por producto para árboles individuales de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en el área de dispersión natural de la especie, en los departamentos de Chimaltenango y Sololá; como una herramienta técnica que permita estimar con mayor precisión los productos al momento del procesamiento de datos en inventarios forestales y planes de manejo forestal.

4.2 Objetivos específicos

- 4.2.1 Establecer mediante técnicas de regresión, modelos matemáticos para estimar la distribución del volumen por producto (Troza, Trocilla y leña) expresado en porcentaje, para *Pinus pseudostrabus* Lindl.
- 4.2.1 Elaborar por medio de los modelos matemáticos seleccionados, tablas de distribución de volumen en m³ para generar tablas de volumen total con corteza para árboles individuales de *Pinus pseudostrabus* Lindl.

5. METODOLOGIA

5.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en bosques naturales ubicados en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, en las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical y Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical, donde la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. es indicadora y se distribuye naturalmente. Específicamente se realizó en fincas y rodales donde se estaban realizando aprovechamientos con planes de manejo forestal y licencias extendidas por el Instituto Nacional de Bosques (INAB).

5.2 Fase I de campo: Reconocimiento del área de estudio

Previamente se visitó el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, específicamente las Direcciones Sub-regionales V-2 y VI-4 de Chimaltenango y Sololá respectivamente, para solicitar el listado de planes de manejo con licencias de aprovechamiento en la zona de influencia del estudio. Posteriormente se realizó el reconocimiento al área de estudio para ubicar las fincas donde se estaban efectuando aprovechamientos con la debida autorización.

Luego de una preselección se hicieron los contactos con los propietarios o encargados de las fincas para obtener su aval y apoyo a fin de llevar a cabo la presente investigación. Seguidamente las fincas fueron seleccionadas tomando en consideración la presencia de la especie bajo estudio, por lo que se ubicaron rodales puros de *Pinus pseudostrobus* Lindl. que estuvieran poco o no intervenidos.

Cada finca se constituyó en un área de muestreo, en el Cuadro 1 se presentan las fincas en las cuales se recopiló información. Asimismo, en la Figura 2 se muestra la localización de las fincas según el departamento a que pertenecen.

Cuadro 1. Ubicación geográfica y altitudinal de las fincas donde se recopiló la información básica para elaborar las tablas de distribución del volumen por producto para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. En los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	FINCA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTITUD (msnm)
			LATITUD	LONGITUD	
Chimaltenango	1. San Martín Jilotepeque	Las Carretas	14°49'57"	90°47'00"	1,900
	2. Tecpán Guatemala	Chirijuyú	14°42'15"	90°58'20"	2,200
	3. Tecpán Guatemala	La Visión	14°44'50"	90°57'40"	2,300
	4. Tecpán Guatemala	Vista Bella	14°45'10"	90°57'45"	2,300
	5. Tecpán Guatemala	El Retiro	14°46'15"	90°59'05"	2,300
	6. Tecpán Guatemala	Panicanchú	14°45'13"	91°00'12"	2,600
	7. Tecpán Guatemala	Miramar	14°46'13"	91°02'52"	2,400
	8. Santa Apolonia	La Vega	14°48'03"	90°57'36"	2,100
Sololá	9. San Andrés Semetabaj	Panimatzalán	14°44'55"	91°06'23"	2,200
	10. San Andrés Semetabaj	Santa Victoria	14°45'50"	91°05'10"	2,300
	11. Santa Lucía Utatlán	Pachipac	14°47'20"	91°15'45"	2,400
	12. Santa Lucía Utatlán	Chijolom Guacax	14°46'35"	91°18'33"	2,500

Coordenadas tomadas en campo con un geoposicionamiento de precisión métrica WGS-84.

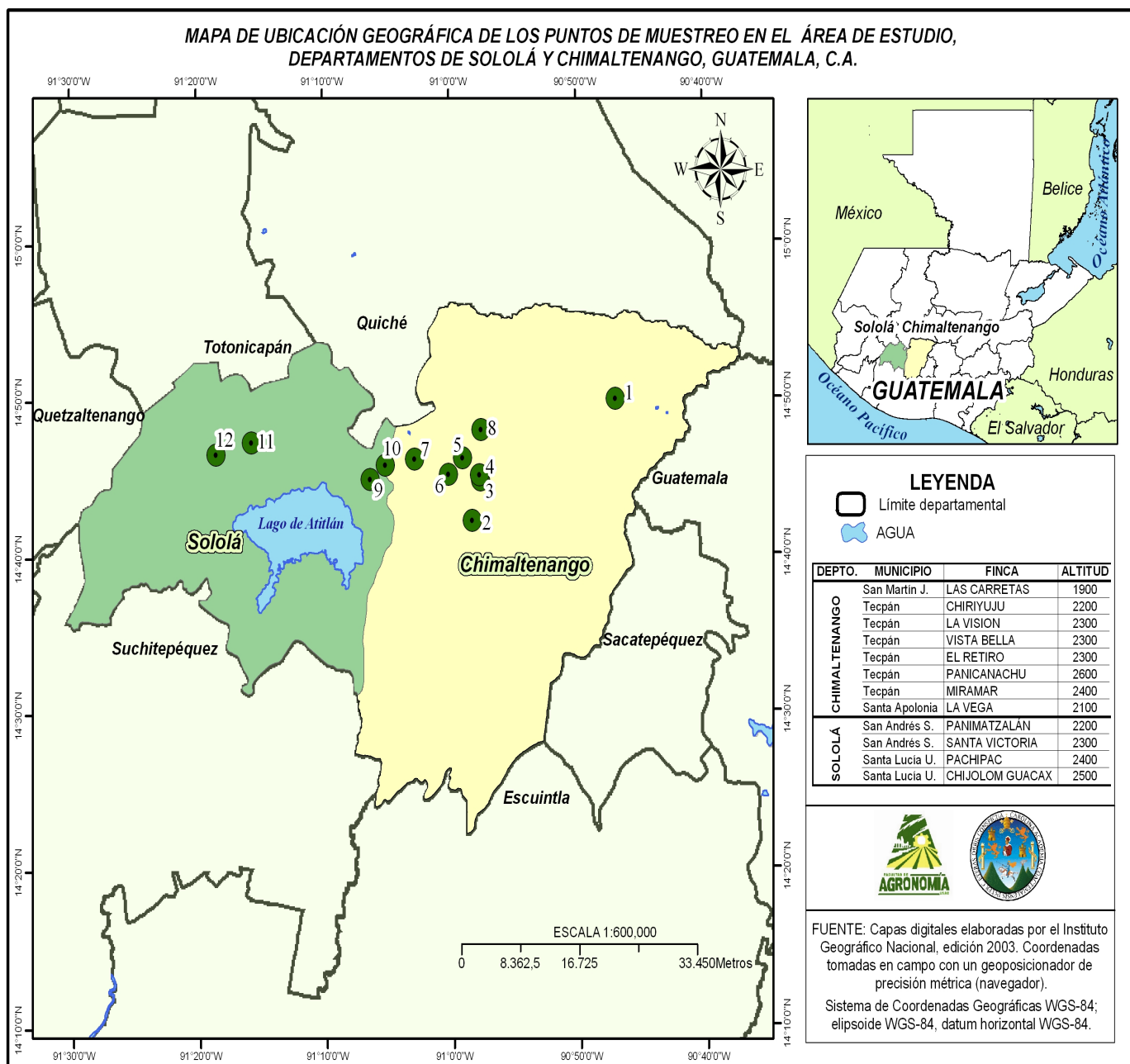


Figura 2. Localización de puntos de muestreo en el área de estudio. Departamento de Chimaltenango y Sololá.

5.3 Fase II de campo

5.3.1 Método de muestreo y características de los árboles muestreados

Se utilizó el muestreo selectivo, ya que se trabajó exclusivamente con los rodales que por su composición contenían poblaciones puras de *Pinus pseudostrobus* Lindl.; los árboles seleccionados tuvieron que ser representativos de su rodal y clase diamétrica.

Para la selección de los rodales en cada una de las fincas se utilizaron los siguientes criterios: rodales puros, es decir, solamente con árboles de la especie de interés; y que estuviesen poco o no intervenidos. En su mayoría los rodales fueron coetáneos, con características homogéneas en su conformación y edad. Eventualmente se intervinieron rodales disetáneos, para tener representatividad de las categorías diamétricas mayores y menores. Además, estos rodales presentaban una “*densidad normal*”, (término cualitativo utilizado para definir la ocupación completa de un sitio, por una masa forestal).

Para recabar la información básica se consideraron ciertas características que debían cumplir los árboles para poder ser seleccionados como árboles muestra, estas se describen a continuación:

1. Buen estado fitosanitario, sin indicios de plagas y enfermedades
2. Que presentaran fustes rectos, sin malformaciones, ni daños de resinación o quema.
3. Que no presentaran daños físicos provocados por factores naturales como rayos o viento.
4. Que su desarrollo fuera bajo condiciones naturales.
5. Que fueran representativos de la clase diamétrica a la que pertenecían, es decir, que si la categoría diamétrica buscada era entre 20-25 cm. de DAP, el árbol debía estar entre ese rango.

Con base a lo anterior, se establecieron 11 categorías diamétricas (C.D.) con intervalos de 5 cm. a partir de 10 cm. hasta 65 cm. de DAP con corteza; asimismo se consideró derribar como mínimo 4 árboles por cada categoría diamétrica, obteniendo finalmente una muestra integrada por 64 árboles. En el Cuadro 2 se presentan las categorías diamétricas con sus respectivos árboles muestra.

Cuadro 2. Categorías diamétricas, cantidad, diámetro y altura de los árboles muestra de *Pinus pseudostrabus* Lindl.

Categoría Diamétrica	Cantidad de Árboles	Diámetro con Corteza (cm.)		Altura Total (m)	
		Promedio	Rango	Promedio	Rango
10-15	4	12.4	11.0-14.3	7.8	6.5-8.4
15-20	5	17.5	16.1-19.8	13.6	10.0-18.0
20-25	6	23.4	20.0-24.7	17.3	12.3-22.2
25-30	7	27.6	25.7-29.0	18.4	12.3-22.8
30-35	7	32.6	32.0-34.5	22.2	14.0-26.2
35-40	5	37.6	35.3-39.8	24.5	19.7-27.0
40-45	8	43.0	41.0-44.9	23.5	18.0-27.4
45-50	6	47.1	45.2-49.6	26.1	20.2-30.0
50-55	6	51.9	50.0-53.5	27.5	19.5-32.0
55-60	6	57.7	55.8-59.0	31.1	27.5-42.7
60-65	4	62.0	60.0-64.0	31.6	28.0-39.0
Total	64				

Fuente: Generación propia. 1997.

5.3.2 Información recabada

Para el efecto se diseñó una boleta con el fin de facilitar la toma de datos en el campo y así su posterior análisis y procesamiento (ver anexos, cuadro 10).

En cada una de las fincas y situados en los rodales objeto de intervención del aprovechamiento autorizado, se seleccionaron los árboles a muestrear, que contaran con las características deseables y que fueran representativos dentro de cada categoría diamétrica, por lo que previo al apeo, se les midió el diámetro a 1.30 m. (DAP) y luego se procedió a tumbarlo a una altura de 0.30 m. (tocón). Derribado y desramado el árbol, se registraron mediciones a lo largo del fuste y las variables primarias medidas a cada árbol fueron las siguientes:

5.3.3 Variables primarias

- **Diámetro a la altura del pecho (DAP):** Se procedió a la toma de la medida a una altura aproximada de 1.30 m. con una forcípula o con cinta diamétrica, antes del apeo.
- **Altura total del fuste en metros:** Se midió con cinta métrica, desde el tocón hasta el meristemo apical.

- **Diámetros a diferentes longitudes del fuste en centímetros:** Estas mediciones se hicieron con forcípula o con cinta diamétrica a cada 2 metros a partir del DAP (es decir a 3.3, 5.3, 7.3, 9.3 m, etc.); hasta llegar al diámetro definidos de 20 cm. (troza) y luego al de 10 cm. (trocilla); posteriormente hasta la punta del fuste (leña). Al mismo tiempo se midió el diámetro del tocón. Es importante indicar que no fue necesario trocear los árboles durante la toma de datos, ya que se logró con solo marcar los puntos donde se realizaron las lecturas, el troceo fue hecho posteriormente con base a las medidas comerciales de interés en el aprovechamiento.
- **Volumen estéreo de ramas:** La medición de leña de ramas por árbol individual fue posible mediante el apilado de la leña, para el efecto se trató de formar metros estéreos para poder facilitar su cuantificación. Metro estéreo se entiende como el volumen ocupado por piezas de madera apiladas o jateadas ordenadamente de un metro de largo por un metro de ancho y un metro de alto. En el área de estudio la medida comercial de leña es la tarea (aproximadamente 2 m de largo x 1 m de alto x 0.45 m de ancho o bien 5 cargas de 80 leños rajados).

5.3.4 Variables derivadas

Con la información obtenida de las variables primarias se procedió a calcular los volúmenes, en este sentido se realizó el siguiente procedimiento:

- **Volumen de troza:** Para la troza se consideró la parte aserrable del árbol, desde la parte basal del fuste hasta un diámetro mínimo de 20 cm. Para el cálculo de volumen de troza se utilizó la fórmula de Smalian, tal como se muestra en el Cuadro 3. Para el tocón, se calculó su volumen con la fórmula del cilindro.
- **Volumen de trocillo:** Como trocillo o tunca se consideró, la sección del fuste que por sus dimensiones no permite su procesamiento para la producción de regla o tabla, (de un diámetro máximo de 20 cm. hasta un mínimo de 10 cm.), sin embargo puede destinarse a un proceso de transformación más eficiente, como para la fabricación de tarimas, cajas para el transporte de productos agrícolas (tomate, aguacate, mango, entre otros), paletas quirúrgicas y palillos; que a su simple utilización como poste o leña. Al igual que para la troza, se utilizó la fórmula de Smalian para el cálculo de volumen.

- **Volumen de leña:** La punta del fuste, que comprende diámetros menores a los 10 cm. hasta 2.5 cm., se consideró como volumen de leña, el cual se obtuvo con la fórmula del cono circular. La leña apilada de ramas de la copa se transformó de metros estéreo a metros cúbicos, por medio de un coeficiente de apilamiento (k), el cual estableció la relación entre ambos volúmenes.

El coeficiente de apilamiento se obtuvo de la siguiente manera: Se hicieron cuatro repeticiones, cada una con una muestra de leña apilada rajada y otra de leña rolliza (cada muestra de 1/4 de metro estéreo), cada una fue sumergida en una pileta con agua a manera de saturarla y luego en un tonel de 54 galones como volumen conocido (lleno de agua) se sumergió totalmente la leña lentamente y luego se extrajo la misma y por medio del método del volumen desplazado se calculó su volumen promedio sólido, para posteriormente referirlo al volumen de leña apilada total de cada muestra.

Los coeficientes promedio de apilamiento que se obtuvieron fueron los siguientes: para leña rajada fue de **0.69** y para leña rolliza **0.60**; esto indica que un 69% y un 60% del volumen estéreo en cada uno de los casos corresponde a volumen sólido y lo restante a espacio vacío. Estos coeficientes se multiplicaron por el volumen estéreo de ramas, y así poder obtener el volumen sólido. Este volumen sólido se consideró como leña de ramas, que juntamente con el volumen del fuste representó el volumen total de leña del árbol.

- **Volumen Total:** El volumen total con corteza de cada árbol muestra se obtuvo de la suma de los volúmenes de cada producto (troza, trocillo y leña). Para obtener los volúmenes parciales por producto y el volumen total de cada árbol, se utilizaron las fórmulas que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fórmulas utilizadas para la obtención del volumen total y por producto de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

SECCIÓN DEL ÁRBOL	ECUACIÓN	TIPO DE ECUACIÓN
Tocón	$V = AB \square * L$	Cilindro
Intermedias	$V = L / 2 *(AB^2 + AB^3)$	Smalian
Fuste Terminal	$V = L / 3 * AB$	Cono Circular
Ramas (leña)	$V = L * A * H * K$	

Donde:

- V: Volumen con corteza de la sección en m³
- L: Longitud de la sección en metros
- $$AB = \pi / 4 * D^2 = 0.7854 \times D^2$$
- AB = Área basal en m²
- D = Diámetro en centímetros
- AB¹: Diámetro de la parte superior del tocón en cm.
- AB²: Diámetro inferior de la sección en cm. es decir el de mayor diámetro
- AB³: Diámetro superior de la sección cm. es decir el de menor diámetro
- AB: Diámetro medio de la base de la última sección o cono en cm.
(utiliza el diámetro medio en la base del cono)
- A: Ancho de leña apilada en m, que corresponde al largo del leño
- H: Altura del bloque de leña apilada en m
- K: Coeficiente de apilamiento

- **Distribución del volumen por producto:** Se calculó en términos de porcentaje, para lo cual fue necesario dividir el volumen de cada producto es decir el volumen de troza, trocillo y leña entre el volumen total del árbol, multiplicando este valor por 100; este procedimiento se realizó para cada uno de los árboles muestra.

5.4 Procesamiento y análisis de la información

5.4.1 Selección de modelos matemáticos

El procesamiento de la información del volumen por productos y volumen total, se llevó a cabo tomando en cuenta la base de datos generados a partir de las cubicaciones de la etapa de campo. La estimación de las proporciones de los productos y de los volúmenes con corteza se efectuó por medio de ecuaciones desarrolladas a través de análisis de regresión lineal múltiple, mediante la utilización del Paquete Estadístico SAS (Statistical Analysis System, FAUSAC, 1998) tomando como base de datos la información de los 64 árboles muestra.

Este análisis permite hacer predicciones del volumen por productos (Troza, Trocilla y Leña) y volumen total (m³) de un árbol con base a las medidas de su altura y diámetro de las diferentes secciones mediante un modelo o ecuación matemática que expresa como varía una variable en función del cambio de la(s) otra(s) variable(s).

Inicialmente se procedió a graficar la dispersión de los valores reales de cada uno de los productos, con el propósito fundamental de observar la distribución de los mismos y con ello inferir los posibles modelos que podrían explicar su comportamiento, y se practicaron pruebas de homocedasticidad u homogeneidad de varianzas y normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks.

Seguidamente, utilizando el método de mínimos cuadrados se generaron modelos matemáticos utilizando como variables dependientes los porcentajes por producto (troza, trocillo y leña) y el volumen total con corteza. Como variables independientes el DAP con corteza y la altura total, por ser los mejores estimadores del volumen para cada uno de los productos expresados en porcentaje y para el volumen total con corteza.

Las ecuaciones matemáticas que se utilizaron provienen de las fuentes bibliográficas de Ferreira (12); estas fueron utilizadas para calcular el volumen total y la distribución del volumen por productos en función de las variables independientes diámetro y altura, están generadas en su mayoría a partir de los modelos matemáticos generales utilizados para regresión.

Los modelos matemáticos que fueron probados para medir la proporción de cada producto forestal, y los volúmenes totales con corteza, son los siguientes:

1. $V = a H^c D^b$
2. $V = D^b H^c$
3. $V = a + bDH^2 + cD^2$
4. $V = a + bDH + cD^2 + dDH^2$
5. $V = a + bDH + cH + dD^2H$
6. $V = a + bD^2 + cH + dD^2H$
7. $V = a + b D^2H$
8. $V = a + bD^2 + cDH + dD^2H$
9. $\ln V = a + b \ln D$
10. $\ln V = a + b \ln D + c \ln H$
11. $V = a + b(1/D^2) + c(H/D) + dH$
12. $V = a + b(1/D^2 H) + c(1/H) + d(1/D^2)$
13. $V = a + b \ln H + c D + d H$
14. $V = a + bD + c \ln D + d \ln H$

Donde:

- V: Porcentaje de producto (%) o volumen total en m³
 D: Diámetro en cm.
 H: Altura total en m

a,b,c,d: Estimadores de los parámetros de regresión
 ln: Logaritmo natural

En este estudio se probaron los anteriores modelos matemáticos con y sin intercepto, de tal cuenta que se probaron 28 modelos, buscando con esto, comparar y seleccionar los mejores modelos para la obtención de los porcentajes de troza, trocillo, leña y el volumen total con corteza.

Para seleccionar el modelo de mejor ajuste, se realizó un análisis de varianza, a cada modelo de regresión, por medio del paquete estadístico SAS (FAUSAC 1,998), en donde se eliminaron modelos, esto sobre la base de los siguientes estimadores:

a- Prueba de F (análisis de varianza ANDEVA)

b- Coeficiente de determinación (R^2)

Es un valor que indica que el porcentaje de variación de los datos estimados es explicado por el modelo seleccionado, en tal razón, mientras más se acerque este valor a la unidad, se tendrá una correlación y regresión casi perfecta.

c- Coeficiente de variación (CV)

Determina el porcentaje de variabilidad de los valores estimados con relación a las variables reales

Tomando en cuenta lo señalado por Cailliez (1980), citado por Girón (13), no se debe juzgar la calidad del ajuste de una regresión solamente por el valor numérico del coeficiente de determinación R^2 , pues el ajuste puede ser malo y el valor de R^2 elevado, o viceversa. El valor del coeficiente de variación CV, refleja porcentualmente la variación que los valores reales tienen con respecto a los valores que el modelo esperaría observar, y un modelo será más ajustado mientras su valor de coeficiente de variación sea mínimo.

En función de lo anterior, para una mayor confiabilidad, se comprobó el ajuste de cada uno de los modelos matemáticos, tanto para los porcentajes por producto, como para los volúmenes totales elegidos con las bases de datos de valores reales de campo, utilizando para ello los siguientes indicadores:

Ferreira (12) y Rodríguez, citado por Girón (14), indican que con el objeto de determinar la exactitud de las tablas de volumen, se pueden utilizar las siguientes pruebas:

- **Error o desviación estándar de la estimación (Sxy):** Es la media de las desviaciones cuadradas de los volúmenes reales y estimados.

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (V_r - V_e)^2}{n - 1}}$$

- **Desviación agregada (DA) o prueba de sesgo:** Se define como la diferencia de la suma de los volúmenes reales y los estimados expresados como un porcentaje de la suma de los volúmenes estimados. Además, es una indicación de la ausencia de sesgo en las tablas de volumen y no debe exceder el 1%.

$$DA = \left(\frac{\sum V_r - \sum V_e}{\sum V_e} \right) \times 100$$

- **Desviación media (DM):** Se define como el cociente de la suma de las diferencias de los volúmenes reales y los estimados (no se toma en cuenta el signo) y la suma de los volúmenes estimados expresados en porcentaje. Nos indica la variabilidad esperada en los datos utilizados, y puede en algunas ocasiones alcanzar el 10%.

$$DM = \left(\frac{\sum ((V_r - V_e) / V_e)}{n} \right) \times 100$$

- **Desviación estándar como porcentaje del volumen medio (Sxy%)**

$$S_{xy} (\%) = \left(\frac{S_{xy}}{\bar{V}} \right) \times 100$$

Según Rodríguez, referido por Girón (13) la desviación agregada es una indicación de la ausencia de sesgo en las tablas de volumen y no debe exceder el 1%; mientras que la desviación media indica la variabilidad esperada en los datos utilizados, y puede en algunas ocasiones alcanzar el 10%. Cailliez (1980), indica que el índice más usual es la desviación agregada o la desviación media.

En resumen, la selección de los modelos se basó por un lado en el análisis de los estimadores como el Coeficiente de Variación CV, el Coeficiente de Determinación R^2 y Prueba de Homocedasticidad u Homogeneidad de Varianzas y Normalidad mediante la Prueba de Shapiro-Wilks; por otro lado, a manera de tener un mejor criterio de selección, se utilizaron los siguientes estimadores: Desviación Agregada DA, Desviación Media DM y el Error Estándar de Estimación expresado en porcentaje Sxy%.

5.5.2 Despliegue de tablas

Posteriormente con los modelos matemáticos seleccionados, se procedió a estimar los porcentajes de los diferentes productos forestales y los volúmenes totales con corteza, con los cuales se elaboraron y desplegaron la tabla de distribución del volumen por producto y la tabla de volumen total con corteza para árboles individuales.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Tabla de distribución del volumen por producto

A partir de la cubicación de las diferentes secciones provenientes de cada uno de los árboles (Sujetos de análisis ó muestra), y aplicando las formulas respectivas como se sugiere en la metodología de este trabajo de investigación, se obtuvo la línea basal de datos primarios de campo. Posteriormente estos volúmenes con corteza se dividieron entre cada uno de los productos forestales (troza, trocillo y leña), según las dimensiones establecidas y referidas, para luego ser expresados en porcentaje por producto.

6.1.1 Dispersión de porcentajes reales por producto

En las Figuras 3, 4 y 5, se presentan las dispersiones de los porcentajes reales por producto obtenidos de los volúmenes (%) parciales de: troza, trocillo y leña, respectivamente, en función del diámetro a la altura del pecho (DAP).

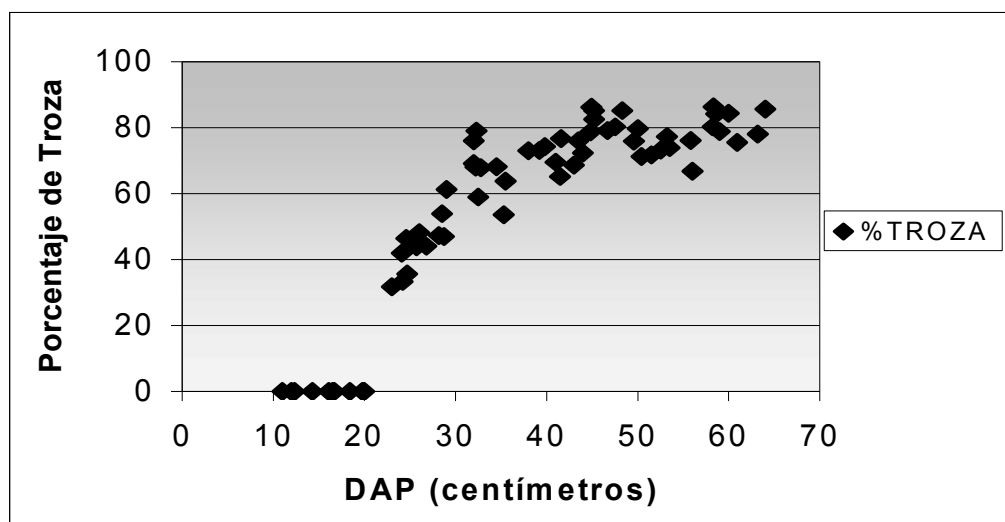


Figura 3. Diagrama de dispersión del volumen en porcentaje de troza de *Pinus pseudostrobus* L.

Como se puede apreciar en la figura 3, la distribución del porcentaje de troza de *Pinus pseudostrobus* L. presenta un cambio significativo al incrementar el DAP, lo que sugiere que los datos tienden a un comportamiento logarítmico.

Es importante denotar también en la gráfica que las muestras que presentaron un DAP menor a los 20 cm, el comportamiento del % de troza tiende a cero, por lo que estos individuos no fueron tomados en

cuenta en el análisis final de la presente investigación, por que no explicaron la tendencia del modelo que se eligió para la generación de la tabla de distribución.

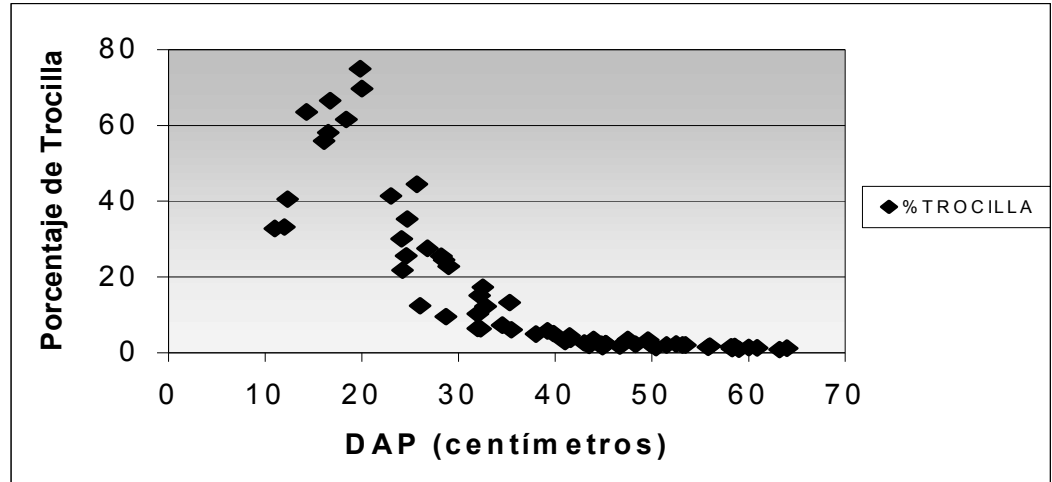


Figura 4. Diagrama de dispersión del volumen en porcentaje de trocilla de *Pinus pseudostrobus* L.

En la Figura 4, se aprecia que los porcentajes de trocilla tienden a aumentar en un rango de DAP entre 10 a 20 cm tendiendo a una distribución cuadrática de los datos, nótese también que para esta especie en la medida que los valores del DAP aumentan el % de trocilla disminuye, esto sucede porque en los meristemos de crecimiento apical en la copa de los árboles ya no son elongados (son cortos), por lo tanto estas condiciones no favorece a la producción de trocilla.

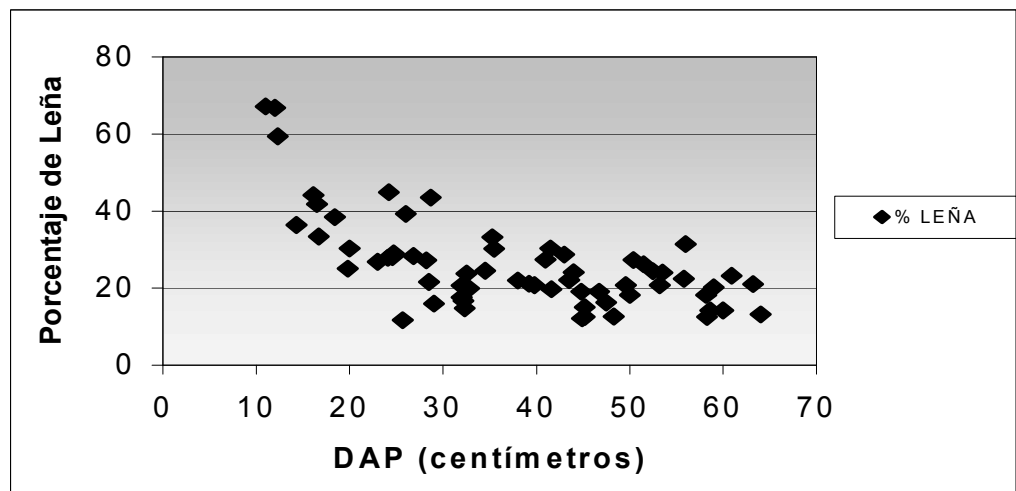


Figura 5. Diagrama de dispersión del volumen en porcentaje de leña de *Pinus pseudostrobus* L.

Con relación al comportamiento de los porcentajes de leña, en la Figura 5, se observa que los mismos disminuyen en un rango de 10 a 25 cm de DAP, posteriormente a este rango los datos no

muestran una tendencia tan marcada conforme aumentan los valores de DAP, lo que sugiere que esta distribución de valores se ajusta a un modelo logarítmico. De acuerdo a lo que indica Castellanos (4), el comportamiento antes indicado se debe a la influencia de factores genéticos, calidad de sitio y a las características de los rodales, entre las que destaca el espaciamiento.

6.1.2 Generación de modelos matemáticos

Con las bases de datos generadas para cada producto, se evaluaron varios modelos a través de análisis de regresión múltiple, con lo cual se determinó el que mejor se ajustaba a la dispersión de datos reales (Boleta de Campo) y que permite estimar cada uno de los porcentajes en función de variables como el DAP (cm) y Altura (m).

En el Cuadro 4, se presentan los resultados del análisis de varianza (% Troza, %t Trocilla, % Leña), de los modelos evaluados, donde se pudo inferir en función del R^2 , que modelo explicaba mejor la distribución de valores reales de cada uno de los productos.

Cuadro 4. Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para la estimación de porcentajes de: troza, trocillo y leña en *Pinus pseudostrobus* Lindl. de bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá

PRODUCTO	MODELO	Prob > F	(R^2)	(CV)	Pr < W
TROZA	$TR = D^2 + DH + D^2H$	0.0001**	0.9874	11.82	0.782
	$TR = H + D^2 + D^2H$	0.0001**	0.9854	12.72	0.652
	$LNTR = LNH + D + H$	0.0001**	0.9986	3.80	0.562
	$LNTR = D^2 + H + DH$	0.0001**	0.9941	7.95	0.258
	$LNTR = D^2 + H + D^2H$	0.0001**	0.9929	8.70	0.564
TROCILLA	$LNTC = LNH + D + H$	0.0001**	0.8823	24.98	0.123
	$LNTC = D + LND + LNH$	0.0001**	0.9157	21.14	0.232
	$LNTC = LNH + D + H$	0.0001**	0.9128	21.50	0.365
	$LNTC = D^2 + H + D^2H$	0.0001**	0.9658	23.18	0.568
LEÑA	$LNLE = D + LND + LNH$	0.0001**	0.9847	12.79	0.741
	$LNLE = LNH + D + H$	0.0001**	0.9829	13.52	0.456
	$LE = b(1/D^2H) + c(1/H) + d(1/D^2)$	0.0001**	0.9430	26.86	0.215

** : Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.05$)

(F) = PRUEBA DE "F" O ANDEVA

(R^2) = COEFICIENTE DE DETERMINACION

(CV) = COEFICIENTE DE VARIACION

Pr < W = PRUEBA DE NORMALIDAD Shapiro – Wilks

Antes de comenzar con el análisis de varianza se infiere en base a las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks, si los valores residuales de los modelos evaluados, tienden a una distribución normal, los cuales se presentan cuando los valores de probabilidad ($P_r < W$) son mayores que 0.05, cumpliendo con este criterio se prosiguió a realizar los diferentes análisis de varianza que se presentaron en el cuadro anterior, en donde se eligieron los modelos que presentaron los coeficientes de variación más bajos, y que también presentasen principalmente los valores más altos de coeficiente de determinación (R^2), ya que según la prueba de F en todos hay significancia, es decir, que los modelos si explican la relación entre variables independientes (DAP, altura) y dependientes (% Troza, % Trocilla, % leña)

Con los argumentos anteriores se determinó que el modelo matemático estadístico $LNTR = LNH + D + H$ es el que mejor explicara el porcentaje de Troza, para el % de trocilla se determinó que el modelo $LNTC = D^2 + H + D^2H$, es que mejor explicará la variable dependiente en mención y finalmente para el porcentaje de leña el modelo $LNLE = D + LND + LNH$, es el que nos permitirá obtener la mejor inferencia estadística.

En trocilla, el modelo seleccionado no presenta los valores más bajos en cuanto al coeficiente de variación y cuadrado medio del error, pero la diferencia no es significativa con relación a los otros modelos, sin embargo reporta el coeficiente de determinación más adecuado para explicar el comportamiento de las variables.

El ultimo criterio que se aplicó para la elección de los modelos que da respuesta a las variables de % troza, % de trocilla y % de leña, fue a través de indicadores estadísticos tales como: La Prueba de Sesgo o Desviación Agregada (DA %) que no debe exceder el 1%, Desviación Media (DM %) que debe estar en un máximo del 10% y Desviación Estándar (Sxy). Ver cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de las pruebas con las que se trataron los modelos matemáticos seleccionados para estimar el porcentaje de troza, trocilla y leña de *Pinus pseudostrobus* L.

No.	MODELO	Sxy	DA %	DM %	Syx %
TROZA	$TR = D^2 + DH + D^2H$	6.712	0.453	1.234	10.321
	$TR = H + D^2 + D^2H$	5.789	1.789	9.223	12.897
	$LNTR = LN H + D + H$	4.124	0.567	9.234	6.045
	$LNTR = D^2 + H + DH$	8.675	1.476	4.213	14.987
	$LNTR = D^2 + H + D^2H$	3.567	2.345	12.789	13.699
TROCILLA	$LNTC = LN H + D + H$	12.343	4.567	17.234	47.409
	$LNTC = D + LND + LN H$	11.345	5.789	18.456	43.571
	$LNTC = LN H + D + H$	9.872	0.998	14.234	37.91
	$LNTC = D^2 + H + D^2H$	2.456	0.962	4.345	14.454
LEÑA	$LNLE = D + LND + LN H$	3.45	0.471	6.342	13.25
	$LNLE = LN H + D + H$	6.367	1.345	24.456	24.45
	$LE = b(1/D^2H) + c(1/H) + d(1/D^2)$	5.890	2.445	13.567	22.621

Los modelos seleccionados para cada uno de los productos se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Modelos matemáticos que representan los porcentajes de troza, trocillo y leña, para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* L., en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

PRODUCTO	MODELO MATEMATICO	COEFICIENTES
Volumen en Porcentaje de Troza	$LN = bLN H + cD + dH$	b = 1.488651 c = 0.012753 d = - 0.045236
Volumen en Porcentaje de Trocilla	$LN = a + bD^2 + cH + dD^2H$	a = 4.92688 b = - 0.001836 c = - 0.055352 d = 0.000030729
Volumen en Porcentaje de Leña	$LN = bD + cLND + dLN H$	b = - 0.074349 c = 2.809880 d = - 1.281150

Donde:

LN = Logaritmo Natural

D = Diámetro a la altura del pecho

H = Altura total

a, b, c, d = estimadores de los parámetros de regresión

6.1.3 Despliegue de tablas de distribución del volumen por producto

Con los modelos seleccionados se procedió a estimar los porcentajes de los diferentes productos forestales, para elaborar la tabla de distribución del volumen por producto. Esta tabla de volumen estándar, es de doble entrada, cuyas variables son el diámetro a la altura del pecho (DAP) con corteza en centímetros y altura total (H) en metros.

Es importante indicar que para los árboles con DAP de 10 a 20 cm y altura de 6 a 22 metros, se utilizaron los porcentajes promedios de los valores reales; esto se debió a que los porcentajes estimados por los modelos matemáticos seleccionados no se ajustaron a los valores reales.

Los porcentajes por producto de árboles con DAP mayor a 20 centímetros y alturas desde 12 metros en adelante, se obtuvieron a partir de los modelos matemáticos seleccionados. Es decir que estas tablas son válidas para árboles con DAP mayores a 20 cm.

Cabe mencionar que en forma agrupada para algunos casos no se obtuvo el valor ideal estimado que es el 100%, por lo que se procedió a realizar una distribución proporcional del porcentaje total y de esta forma obtener como resultado una sumatoria igual al 100%. En el Cuadro 7 se presenta la tabla de distribución del volumen por producto para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Cuadro 7. Tabla de distribución del volumen en porcentaje por producto para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

DAP (cm)	ALTURA TOTAL DEL FUSTE (metros)																	
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
10	Tz	0	0	0	0													
10	Tc	0	0	30	30													
10	Lñ	100	100	70	70													
12	Tz	0	0	0	0													
12	Tc	40	40	60	60													
12	Lñ	60	60	40	40													
14	Tz	0	0	0	0	0												
14	Tc	60	60	60	60	60												
14	Lñ	40	40	40	40	40												
16	Tz		0	0	0	0	0											
16	Tc		65	65	65	65	65											
16	Lñ		35	35	35	35	35											
18	Tz			0	0	0	0	0										
18	Tc			65	65	65	65	65										
18	Lñ			35	35	35	35	35										
20	Tz			0	0	0	0	0	0									
20	Tc			70	70	70	70	70	70									
20	Lñ			30	30	30	30	30	30									
22	Tz				27	33	39	43	48	52	55							
22	Tc				31	30	29	28	26	25	23							
22	Lñ				42	37	32	29	26	23	22							
24	Tz					34	40	45	49	53	56							
24	Tc					26	25	24	23	22	21							
24	Lñ					40	35	31	28	25	23							
26	Tz					35	40	45	50	54	57	59						
26	Tc					23	22	21	20	19	18	18						
26	Lñ					42	38	34	30	27	25	23						
28	Tz						41	46	50	54	58	60						
28	Tc						19	19	18	17	16	16						
28	Lñ						40	35	32	29	26	24						
30	Tz							47	52	55	59	61	64					
30	Tc							16	15	15	14	14	13					
30	Lñ							37	33	30	27	25	23					
32	Tz							48	53	56	60	62	65	67				
32	Tc							14	13	13	12	12	12	11				
32	Lñ							38	34	31	28	26	23	22				
34	Tz								54	58	61	64	66	68	69			
34	Tc								11	11	11	10	10	10	10			
34	Lñ								35	31	28	26	24	22	21			
36	Tz								56	59	62	65	67	69	71	72		
36	Tc								9	9	9	9	9	9	8	8		
36	Lñ								35	32	29	26	24	22	21	20		

Continuación del Cuadro 7.

DAP (cm)		ALTURA TOTAL DEL FUSTE (metros)																	
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
PORCENTAJE DE PRODUCTOS																			
38	Tz								57	61	64	66	69	71	72	73			
38	Tc							8	8	8	8	7	7	7	7				
38	Lñ							35	31	28	26	24	22	21	20				
40	Tz							58	62	65	68	70	72	73	74				
40	Tc							7	7	7	6	6	6	6	6				
40	Lñ							35	31	28	26	24	22	21	20				
42	Tz								64	67	69	71	73	74	75	76			
42	Tc								5	5	5	5	5	6	6	6			
42	Lñ								31	28	26	24	22	20	19	18			
44	Tz								65	68	71	73	74	76	77	78	78		
44	Tc								4	4	4	4	5	5	5	5	5		
44	Lñ								31	28	25	23	21	19	18	17	17		
46	Tz								67	70	72	74	76	77	78	79	80	80	
46	Tc								4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	
46	Lñ								29	26	24	22	20	19	18	17	16	15	
48	Tz								68	71	74	76	77	78	79	80	81	81	
48	Tc								3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	
48	Lñ								29	26	23	21	20	18	17	16	15	15	
50	Tz								70	73	75	77	78	80	81	81	82	82	
50	Tc								2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	
50	Lñ								28	25	22	20	19	17	16	16	15	14	
52	Tz								72	74	77	78	80	81	82	82	83	84	
52	Tc								2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
52	Lñ								26	24	21	20	18	17	16	15	14	13	
54	Tz								73	76	78	80	81	82	83	84	84	84	
54	Tc								1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	
54	Lñ								26	23	20	18	17	16	15	14	13	13	
56	Tz								75	77	79	81	82	83	84	85	85	86	
56	Tc								1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
56	Lñ								24	22	20	18	17	15	14	13	13	12	
58	Tz								76	79	81	82	84	85	85	86	86	87	
58	Tc								1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
58	Lñ								23	20	18	17	15	14	14	12	12	11	
60	Tz								78	80	82	83	85	86	87	87	87	88	
60	Tc								1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
60	Lñ								21	19	17	16	14	13	12	12	11	10	
62	Tz								79	81	83	84	86	87	88	88	89	89	
62	Tc								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
62	Lñ								20	18	16	15	13	12	11	11	10	10	
64	Tz								81	83	85	85	87	88	88	89	89	90	
64	Tc								0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
64	Lñ								19	17	15	14	12	11	11	10	10	9	
66	Tz								82	84	86	87	88	88	89	90	90	91	
66	Tc								0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
66	Lñ								18	16	14	13	12	11	10	9	9	8	

NOTA: Válida para árboles con DAP > 20 cm

$$\ln(\text{Troza V \%}) = 1.488651\ln H + 0.012753D - 0.045236H$$

$$\ln(\text{Trocilla V \%}) = 4.92688 - 0.001836D^2 - 0.055352H + 0.000030729D^2H$$

$$\ln(\text{Leña V \%}) = -0.074349D + 2.809880\ln D - 1.281150\ln H$$

6.2 Tabla de volumen para árboles individuales

Puesto que la tabla de distribución del volumen por producto proporciona los datos en porcentajes, es necesario que el volumen sea expresado en metros cúbicos, lo cual hace necesario para este estudio que se elaborara la tabla de volumen total expresada en metros cúbicos (m³), por esta razón se consideró importante que con la base de datos obtenida a nivel de campo, se generará un modelo que permitiera realizar dicha tabla con la conversión del volumen en metros cúbicos.

Es relevante indicar que esta tabla toma el volumen total incluyendo las ramas, lo que la hace más útil y completa y a diferencia de la generada por Peters (23) que solo incluyó el fuste.

6.2.1 Análisis de regresión

De la misma manera que en la tabla de distribución del volumen por producto, la base de datos se obtuvo a partir de la cubicación de las diferentes secciones provenientes de cada uno de los árboles muestra. En este caso, para la generación de la tabla se relacionó el volumen total con las variables DAP y Altura.

En el Cuadro 8 se presenta un resumen del análisis de varianza de los modelos que fueron sometidos a prueba, para determinar cual de ellos brinda el mejor ajuste sobre los datos reales.

Cuadro 8 Resultados del análisis estadístico de algunos de los mejores modelos, efectuado para obtener la tabla de volumen total con corteza en m³ para árboles individuales de *Pinus pseudostrabus* Lindl.

Modelos	Prob > F	Coefficiente de determinación R ²	Coefficiente de variación (CV)	Pr < W
a) $V = a H^c D^b$	0.0001**	0.994	6.71	0.87
b) $V = a + bDH^2 + cD^2$	0.0001**	0.973	18.79	0.45
c) $V = D^b H^c$	0.0001**	0.971	20.66	0.68
d) $\ln V = a + b \ln D$	0.0001**	0.984	19.25	0.45
e) $V = a + bD^2 + cH + dD^2H$	0.0001**	0.964	17.35	0.73

** : Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.05$)

Donde:

V: Porcentaje de producto (%) o volumen total en m³

D: Diámetro a la altura del pecho (cm)

H: Altura total (m)

a,b,c,d: Estimadores de los parámetros de regresión

De acuerdo a la información que se presenta en el cuadro 8, se seleccionó el modelo **a**. ($V = a H^c D^b$), ya que presenta normalidad en la distribución de los errores, además de los valores que se estima son bajos respecto al cuadrado medio del error y el coeficiente de variación, aunado a esto una inferencia mas que nos permitió elegir este modelo, es el hecho de que posee el valor más alto de coeficiente de determinación R^2 , indicándonos que el modelo presenta el mejor ajuste a la dispersión de valores reales, es decir que explica de mejor forma el comportamiento de las variables (DAP (cm) y Altura (m)), en función del Volumen en m^3 .

6.2.2 Elaboración de la tabla de volumen

Con el modelo seleccionado, se procedió a elaborar la tabla de volumen total en m^3 para árboles individuales, la cual se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Tabla de volumen total para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

DAP (cm)	ALTURA (m)																		
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
10	0.0463	0.0556	0.0641																
12	0.0666	0.0800	0.0922																
14	0.0906	0.1087	0.1253	0.1407	0.1552	0.1689	0.1820												
16	0.1181	0.1418	0.1635	0.1835	0.2024	0.2204	0.2375												
18	0.1494	0.1793	0.2067	0.2321	0.2560	0.2786	0.3003												
20	0.1842	0.2212	0.2549	0.2862	0.3157	0.3437	0.3704												
22			0.3082	0.3461	0.3817	0.4155	0.4478	0.4788	0.5087										
24			0.3665	0.4115	0.4539	0.4941	0.5325	0.5694	0.6050										
26			0.4298	0.4827	0.5323	0.5795	0.6246	0.6678	0.7095	0.7499									
28			0.4982	0.5594	0.6170	0.6717	0.7239	0.7740	0.8224	0.8691									
30				0.6418	0.7079	0.7706	0.8305	0.8880	0.9435	0.9971									
32				0.7298	0.8050	0.8763	0.9444	1.0098	1.0729	1.1339	1.1930								
34				0.8235	0.9083	0.9887	1.0656	1.1394	1.2105	1.2794	1.3461								
36				0.9228	1.0178	1.1079	1.1940	1.2767	1.3565	1.4336	1.5084								
38				1.0277	1.1334	1.2338	1.3298	1.4219	1.5107	1.5966	1.6799	1.7609	1.8399						
40							1.4728	1.5748	1.6731	1.7683	1.8606	1.9503	2.0377						
42							1.6231	1.7355	1.8439	1.9487	2.0504	2.1493	2.2457						
44							1.7806	1.9039	2.0228	2.1379	2.2494	2.3579	2.4636						
46							1.9454	2.0802	2.2101	2.3357	2.4576	2.5762	2.6917	2.8044	2.9145	3.0224			
48							2.1175	2.2641	2.4055	2.5423	2.6750	2.8040	2.9297	3.0524	3.1723	3.2897			
50							2.2968	2.4559	2.6093	2.7576	2.9016	3.0415	3.1779	3.3109	3.4410	3.5683			
52										2.9817	3.1373	3.2886	3.4360	3.5799	3.7205	3.8582	3.9931	4.1254	4.2553
54										3.2144	3.3821	3.5453	3.7042	3.8593	4.0109	4.1593	4.3047	4.4474	4.5875
56											3.6362	3.8116	3.9824	4.1492	4.3122	4.4717	4.6281	4.7815	4.9321
58											3.8994	4.0874	4.2707	4.4495	4.6243	4.7954	4.9631	5.1275	5.2890
60											4.1717	4.3729	4.5689	4.7603	4.9473	5.1303	5.3097	5.4857	5.6584
62											4.4532	4.6680	4.8772	5.0815	5.2811	5.4765	5.6680	5.8558	6.0403
64											4.7439	4.9727	5.1956	5.4131	5.6258	5.8339	6.0379	6.2380	6.4345

$$V = 0.000151326 * DAP^{1.99141} * H^{0.635611} \quad (\text{incluye volumen de fuste y ramas})$$

Donde: V: Volumen (m³)
DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)
H: Altura (m)

7. CONCLUSIONES

1. Los modelos matemáticos para estimar la distribución del volumen por producto con corteza, para árboles individuales en *Pinus pseudostrobus* Lindl.; en el área de distribución natural de la especie para los departamentos de Chimaltenango y Sololá, deberán ajustarse a los modelos matemáticos estadísticos generados en esta investigación, por haber presentado un nivel de significancia del 99.99%, para explicar el volumen en porcentaje de: Troza con el modelo $(\text{Ln (Troza V\%)} = 1.488651\text{LnH} + 0.012753\text{D} - 0.045236\text{H})$, Trocilla con el modelo $(\text{Ln (Trocilla V\%)} = 4.92688 - 0.001836\text{D}^2 - 0.055352\text{H} + 0.000030729\text{D}^2\text{H})$ y Leña con el modelo $(\text{Lñ (Leña V\%)} = -0.074349\text{D} + 2.809880\text{LnD} - 1.281150\text{LnH})$, bajo condiciones ecológicas y silvícolas similares.
2. El modelo matemático que representa adecuadamente la relación entre las variables: volumen total con corteza (incluyendo fuste y ramas), en función del DAP (diámetro a la altura del pecho en centímetros) y la altura total en metros, a un nivel de significancia del 99.99%; y en virtud de lo anterior es el más indicado para ser la base de la elaboración de una tabla de estimación volumétrica para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl.; en bosques naturales en el área de distribución natural de la especie para los departamentos de Chimaltenango y Sololá, siendo el modelo generado para la región bajo estudio es el siguiente: $V \text{ (m}^3\text{)} = 0.000151326 * \text{DAP}^{1.99141} * \text{H}^{0.635611}$
3. Las tablas de volumen total y volumen por productos construidas en este estudio se constituyen en una herramienta que facilitará la cubicación y estimación de porcentaje de productos de los árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl., para la región delimitada en este estudio (Departamentos de Chimaltenango y Sololá), lo que beneficiará a: técnicos, profesionales forestales, silvicultores e intermediarios madereros para que puedan definir con mejor y mayor precisión el tipo y cantidad de productos a obtener del bosque en el momento de ejecutar el plan de manejo y en consecuencia estimar los posibles beneficios económicos.

8. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar las tablas de distribución del volumen por producto, al momento de determinar los productos forestales a extraer del bosque, los cuales se basan en el porcentaje de volumen de cada producto (Troza, Trocilla y Leña). Estas servirán al técnico y silvicultor como una guía, para estimar directamente en el campo los porcentajes de producto a extraer de los árboles que hallan llegado a la corta final, o bien aquellos que se requiera eliminar en las cortas intermedias o raleos.
2. Se debe promover el uso de estas tablas en toda el área donde se encuentra distribuida naturalmente la especie de *Pinus pseudostrobus* Lindl., es decir en las zonas de vida y áreas ecológicamente similares del país.
3. Se recomienda la elaboración de tablas de productos forestales tomando como base la calidad del fuste, es decir, tomar en cuenta sus características físicas, como bifurcaciones a diferentes alturas, sinuosidad u otras malformaciones que afecten su calidad productiva; lo anterior obedece a que bajo condiciones naturales es difícil encontrar una alta proporción de individuos de fuste recto, lo que puede afectar las estimaciones de los porcentajes de productos a obtener de una masa forestal.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Roma, Italia, FAO. no. 22/2, 79 p. (Estudios FAO, Montes, no. 22/2).
2. Baker, I. 1950. Principles of silviculture. US, McGraw-Hill. 414 p.
3. Castellanos Bolaños, JF. 1993. Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en rodales coetáneos de *Pinus patula*. Tesis MSc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados. 75 p.
4. CATIE, GT. 1982. Metodología de investigación y técnica sobre producción de leña en Guatemala. Guatemala. 169 p.
5. CATIE, GT; MADELEÑA-DIGEBOS, GT. 1992. Informes del proyecto MADELEÑA sobre investigación en árboles de uso múltiple. Guatemala. s.p.
6. Chapman, H; Meyer, W. 1949. Forest mensuration. US, McGraw-Hill. 522 p.
7. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
8. Daniel, TW; Heims, JA; Baker, FS. 1982. Principios de silvicultura. 2 ed. México, McGraw-Hill. 492 p.
9. Escobedo López, MA *et al.* 1993. Inventario forestal y plan de tratamientos silvícolas de plantación de *Pinus maximinoi* H.E. Mooere y *Cupressus lusitánica* Miller en la finca Chicocom, Cobán, Alta Verapaz. FAUSAC. 83 p.
10. FAO, IT. 1974. Manual de inventarios forestales con especial referencia a bosques mixtos. Roma, Italia. 195 p.
11. FAUSAC (USAC, Facultad Agronomía, GT). 1992. Curso dasometría. Guatemala. s.p.
12. Ferreira Rojas, O. 1990. Manual de inventarios forestales ESNACIFOR. Honduras, Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal. 99 p.
13. Girón Hernández, JL. 1998. Distribución del volumen por producto para *Pinus maximinoi* H.E. en los departamentos de Alta y Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 74 p.
14. Hernández Juárez, JM. 1995. Modelo matemático para la cubicación de leña en bosques densos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. del departamento de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 109 p.
15. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1972. Mapa geológico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000.

16. _____. 1973. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000.
17. _____. 1975. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
18. _____. 1977. Mapa de regiones fisiográficas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1,000.000.
19. INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, meteorología e Hidrología, GT). 1978. Mapa de isolíneas de la república de Guatemala. *In* Atlas climatológico de Guatemala. Guatemala. Sin escala.
20. Jkongma, J. 1972. Corta y extracción. Honduras, ESNACIFOR. 170 p.
21. Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Trad. Antonio Castillo. Alemania, GTZ. 335 p.
22. Lojan, IL. 1966. Apuntes del curso de dasometría, parte I. Turrialba, Costa Rica, IICA / CATIE. 83 p.
23. Petters, R. 1977. Tablas de volumen para las especies de coníferas en Guatemala. Guatemala, INAFOR / FAO. 162 p.
24. Rojas G, AM. 1973. Dasometría práctica. Honduras, ESNACIFOR. 165 p.
25. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
26. Turtianen, M; Barahona, G; Calderón, A; Pérez, N. 1994. Manual de inventarios para planes de manejo. Honduras, CEMAPIF. 33 p.
27. Vásquez, W; Ugalde, LA. 1995. Tabla de volumen y de productos de *Eucalyptus grandis* en Costa Rica. Costa Rica, CATIE. 15 p.

10. ANEXOS

Anexo 1: Boleta de campo para la elaboración de tablas de volumen por productos y volumen total para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en los departamentos de Chimaltenango y Sololá

Finca; _____		Lugar: _____		
Árbol No. _____		DAP: _____		
Altura: _____		Clase diamétrica: _____		
Anotador: _____		Fecha: _____		
SECCION	LONGITUD	DIAM CC cm	GROSOR CORTEZA cm	OBSERVACIONES

Volumen de tareas de leña: _____

Anexo 2. Base de datos de la distribución del volumen por producto en metros cúbicos, de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá

No. DE ARBOL	ALTURA	DAPCC	VOLSC	VOLCC	TROZA	TROCILLA	LEÑA	TOTAL
1	6.5	11.0	0.0286951	0.0451613	0	0.0270375	0.0553838	0.0824213
2	8.3	12.0	0.0290227	0.0487153	0	0.0298853	0.06023	0.0901153
3	8.4	12.3	0.0266985	0.0486029	0	0.0309046	0.0452983	0.0762029
4	8.0	14.3	0.0527491	0.0864389	0	0.0747133	0.0427756	0.1174889
5	12.0	18.4	0.1062807	0.1370182	0	0.1166532	0.072805	0.1894582
6	18.0	16.5	0.1490106	0.2086069	0	0.1778416	0.1280553	0.3058969
7	14.9	19.8	0.1518925	0.2360615	0	0.2161893	0.0723121	0.2885015
8	10.0	16.1	0.0530136	0.1045382	0	0.0876612	0.069317	0.1569782
9	13.8	20.0	0.1302516	0.1696712	0	0.1447256	0.0628956	0.2076212
10	13.3	16.7	0.1289091	0.1454793	0	0.1248724	0.0626969	0.1875693
11	17.5	23.0	0.2459155	0.3455225	0.1405833	0.1834745	0.1187547	0.4428125
12	12.3	24.2	0.1925522	0.286374	0.1655349	0.1082935	0.2229956	0.496824
13	16.7	24.6	0.3076606	0.4440733	0.2795662	0.1541622	0.169045	0.6027733
14	22.2	24.7	0.4176663	0.5420064	0.2686254	0.2657281	0.2184083	0.7527618
15	21.0	24.1	0.3468634	0.4655715	0.2592725	0.1857467	0.1723523	0.6173715
16	21.8	26.8	0.4321721	0.5731135	0.3438544	0.2153968	0.2208623	0.7801135
17	16.2	26.0	0.3025353	0.4821661	0.3745579	0.096702	0.3055362	0.7767961
18	22.8	29.0	0.5561187	0.7276107	0.5232913	0.1943546	0.1362347	0.8538807
19	17.5	25.7	0.3265614	0.3945398	0.1882403	0.1907467	0.0500528	0.4290398
20	12.3	28.7	0.2952443	0.4144222	0.3372394	0.0682315	0.3125514	0.7180222
21	19.1	28.5	0.4623304	0.6113345	0.4150918	0.188538	0.1664048	0.7700345
22	19.3	28.2	0.4310452	0.5966342	0.3816636	0.2056644	0.2197562	0.8070842
23	22.5	32.0	0.7229537	0.8604354	0.7739538	0.0658052	0.1793764	1.0191354
24	26.2	32.0	0.7566395	0.948469	0.8126677	0.1205159	0.2429854	1.176169
25	14.0	32.3	0.4730099	0.6453564	0.5910213	0.0472751	0.11056	0.7488564
26	23.0	32.2	0.6585271	0.8312213	0.6692057	0.1490761	0.1647394	0.9830213
27	24.6	32.5	0.6968129	0.8717374	0.665016	0.1944583	0.267563	1.1270374
26	24.3	32.8	0.7164793	0.9205613	0.7695704	0.1383997	0.2264911	1.1344613
29	20.5	34.5	0.6176851	0.862824	0.7674159	0.0816676	0.2759405	1.125024
30	27.0	38.0	1.1950265	1.4121198	1.3086697	0.0883995	0.3945506	1.7916198
31	26.8	39.2	1.1485289	1.4281928	1.3111207	0.1040492	0.378723	1.7938928
32	24.5	39.8	0.8708114	1.2748978	1.1814609	0.0796806	0.3311562	1.5922978

Anexo 2A. Continuación de la base de datos de distribución del volumen por producto.

No. DE ARBOL	ALTURA	DAPCC	VOLSC	VOLCC	TROZA	TUNCA	LENA	TOTAL
33	19.7	35.5	0.7469362	0.9115772	0.8229833	0.0779885	0.3901054	1.2910772
34	24.5	35.3	0.79565	1.042093	0.8281641	0.2047407	0.5142682	1.547173
35	27.4	44.9	1.9776268	2.3356918	2.2854924	0.0431969	0.3226775	2.6513668
36	19.8	41.5	0.7571082	1.0086686	0.9321919	0.0639433	0.4334334	1.4295686
37	23.1	44.0	1.1824391	1.5119761	1.4325569	0.0703275	0.4782918	1.9811761
38	21.0	41.0	1.2020349	1.4148721	1.3489164	0.058357	0.5319987	1.9392721
39	26.7	43.0	1.559092	1.8432302	1.7676531	0.0681689	0.7388083	2.5746302
40	26.5	43.5	1.4378228	1.8453876	1.7853459	0.0458947	0.517847	2.3490876
41	18.0	41.6	0.9706495	1.2842895	1.2221828	0.0570766	0.3155301	1.5947895
42	25.3	44.8	1.5296514	1.8342183	1.7743662	0.0498678	0.4308844	2.2551183
43	28.8	45.2	1.9032478	2.2845808	2.2132862	0.0601389	0.3268306	2.6002558
44	30.5	50.0	2.2865499	2.839466	2.7626032	0.0721048	0.6326579	3.467366
45	28.1	47.5	1.8439551	2.2297085	2.1261616	0.0929621	0.4314848	2.6506085
46	30.0	49.6	1.5315121	2.0514742	1.9554115	0.0863388	0.5341238	2.5758742
47	20.2	48.3	1.4868063	1.8711142	1.8159266	0.0482323	0.2691553	2.1333142
48	26.2	46.7	1.5703799	2.0534831	2.0018308	0.0442546	0.4834977	2.5295831
49	23.3	45.2	1.5724005	1.8490579	1.7878778	0.0518058	0.3267743	2.1664579
50	29.0	50.4	2.3213865	2.8440389	2.7790644	0.0552444	1.06543	3.8997389
51	29.0	52.5	2.1028142	2.6452863	2.5542326	0.0806015	0.8522522	3.4870863
52	32.0	53.5	2.5680407	3.0304158	2.9378085	0.0809703	0.956937	3.9757158
53	19.5	51.5	1.4612923	1.9232767	1.8620261	0.053427	0.6812635	2.5967167
54	25.0	53.2	1.846122	2.1847687	2.1167966	0.0555602	0.5688279	2.7411847
55	30.0	55.8	2.809573	3.307393	3.2336648	0.065408	0.9536202	4.252693
56	30.0	58.2	2.7717353	3.3669485	3.2915987	0.0655449	0.7481049	4.1052485
57	27.5	58.6	2.7997182	3.2143312	3.143902	0.0619208	0.5329083	3.7387312
58	27.8	58.3	2.8703024	3.6967158	3.6424945	0.0478062	0.5308151	4.2211158
59	42.7	59.0	4.3989324	5.0309303	4.965405	0.0563249	1.2719005	6.2936303
60	28.5	56.0	2.3259034	2.7983424	2.7122161	0.0710349	1.2777914	4.0610424
61	39.0	60.0	3.6297756	4.5890231	4.497361	0.0738241	0.756138	5.3273231
62	28.0	60.9	3.0273711	3.5189377	3.450401	0.0594364	1.0579003	4.5677377
63	28.0	63.2	3.6428599	4.311496	4.2554687	0.0475166	1.1470108	5.449996
64	31.5	64.0	3.6463761	4.2388615	4.1729084	0.057133	0.6436201	4.8736615

Anexo 3. Base de datos de la distribución del volumen por producto en porcentaje, en árboles de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá

No. DE ARBOL	ALTURA	DAPCC	%TROZA	%TUNCA	%LENA	TOTAL %
1	6.5	11.0	0	32.80	67.20	100
2	8.3	12.0	0	33.16	66.84	100
3	8.4	12.3	0	40.56	59.44	100
4	8.0	14.3	0	63.59	36.41	100
5	12.0	18.4	0	61.57	38.43	100
6	18.0	16.5	0	58.14	41.86	100
7	14.9	19.8	0	74.94	25.06	100
8	10.0	16.1	0	55.84	44.16	100
9	13.8	20.0	0	69.71	30.29	100
10	13.3	16.7	0	66.57	33.43	100
11	17.5	23.0	31.75	41.43	26.82	100
12	12.3	24.2	33.32	21.80	44.88	100
13	16.7	24.6	46.38	25.58	28.04	100
14	22.2	24.7	35.69	35.30	29.01	100
15	21.0	24.1	42.00	30.09	27.92	100
16	21.8	26.8	44.08	27.61	28.31	100
17	16.2	26.0	48.22	12.45	39.33	100
18	22.8	29.0	61.28	22.76	15.95	100
19	17.5	25.7	43.87	44.46	11.67	100
20	12.3	28.7	46.97	9.50	43.53	100
21	19.1	28.5	53.91	24.48	21.61	100
22	19.3	28.2	47.29	25.48	27.23	100
23	22.5	32.0	75.94	6.46	17.60	100
24	26.2	32.0	69.09	10.25	20.66	100
25	14.0	32.3	78.92	6.31	14.76	100
26	23.0	32.2	68.08	15.17	16.76	100
27	24.6	32.5	59.01	17.25	23.74	100
28	24.3	32.8	67.84	12.20	19.96	100
29	20.5	34.5	68.21	7.26	24.53	100
30	27.0	38.0	73.04	4.93	22.02	100
31	26.8	39.2	73.09	5.80	21.11	100
32	24.5	39.8	74.20	5.00	20.80	100

Anexo 3A. Continuación de base de datos del volumen en porcentaje por productos.

No. DE ARBOL	ALTURA	DAPCC	%TROZA	%TUNCA	%LENA	TOTAL %
33	19.7	35.5	63.74	6.04	30.22	100
34	24.5	35.3	53.53	13.23	33.24	100
35	27.4	44.9	86.20	1.63	12.17	100
36	19.8	41.5	65.21	4.47	30.32	100
37	23.1	44.0	72.31	3.55	24.14	100
38	21.0	41.0	69.56	3.01	27.43	100
39	26.7	43.0	68.66	2.65	28.70	100
40	26.5	43.5	76.00	1.95	22.04	100
41	18.0	41.6	76.64	3.58	19.79	100
42	25.3	44.8	78.68	2.21	19.11	100
43	28.8	45.2	85.12	2.31	12.57	100
44	30.5	50.0	79.67	2.08	18.25	100
45	28.1	47.5	80.21	3.51	16.28	100
46	30.0	49.6	75.91	3.35	20.74	100
47	20.2	48.3	85.12	2.26	12.62	100
48	26.2	46.7	79.14	1.75	19.11	100
49	23.3	45.2	82.53	2.39	15.08	100
50	29.0	50.4	71.26	1.42	27.32	100
51	29.0	52.5	73.25	2.31	24.44	100
52	32.0	53.5	73.89	2.04	24.07	100
53	19.5	51.5	71.71	2.06	26.24	100
54	25.0	53.2	77.22	2.03	20.75	100
55	30.0	55.8	76.04	1.54	22.42	100
56	30.0	58.2	80.18	1.60	18.22	100
57	27.5	58.6	84.09	1.66	14.25	100
58	27.8	58.3	86.29	1.13	12.58	100
59	42.7	59.0	78.90	0.89	20.21	100
60	28.5	56.0	66.79	1.75	31.46	100
61	39.0	60.0	84.42	1.39	14.19	100
62	28.0	60.9	75.54	1.30	23.16	100
63	28.0	63.2	78.08	0.87	21.05	100
64	31.5	64.0	85.62	1.17	13.21	100

ANEXO 4. MODELOS Y PROGRAMA UTILIZADOS EN SAS (FAUSAC, 1998), utilizados para efectuar los Análisis de Regresión para generar las tablas de volumen total y por productos para árboles individuales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

LEÑA

```
Options Ls=75 Ps=80 nodate;
data leña;
infile 'c:\Ronaldo\Basdat\Leña%.txt';
input H D LE ; D2=D*D; H2=H*H; LNH=LOG(H); LND=LOG(D);
LNLE=LOG(LE); A=D*H2; B=D*H; C=D2*H; E=1/D; F=1/H; G=1/D2*H; I=1/D2; J=H/D2; K=H/D;
Proc Print;
Var H D LE D2 H2 LNH LND LNLE A B C E F GI J K ;
Run;
PROC REG;
MODEL LE =A D2;
output out=ras1 R=resa1 P=preda1 Student=resta1 Rstudent=restaa1;
Proc Plot data=ras1;
Plot resta1*preda1='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa1*preda1='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa1*preda1='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =A D2/NOINT;
output out=ras2 R=resa2 P=preda2 Student=resta2 Rstudent=restaa2;
Proc Plot data=ras2;
Plot resta2*preda2='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa2*preda2='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa2*preda2='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =B D2 A;
output out=ras3 R=resa3 P=preda3 Student=resta3 Rstudent=restaa3;
Proc Plot data=ras3;
Plot resta3*preda3='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa3*preda3='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa3*preda3='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =B D2 A/NOINT;
output out=ras4 R=resa4 P=preda4 Student=resta4 Rstudent=restaa4;
Proc Plot data=ras4;
Plot resta4*preda4='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa4*preda4='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa4*preda4='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
```

```
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =B H C;
output out=ras5 R=resa5 P=preda5 Student=resta5 Rstudent=restaa5;
Proc Plot data=ras5;
  Plot resta5*preda5='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa5*preda5='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa5*preda5='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =B H C/NOINT;
output out=ras6 R=resa6 P=preda6 Student=resta6 Rstudent=restaa6;
Proc Plot data=ras6;
  Plot resta6*preda6='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa6*preda6='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa6*preda6='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE=D2 H B;
output out=ras7 R=resa7 P=preda7 Student=resta7 Rstudent=restaa7;
Proc Plot data=ras7;
  Plot resta7*preda7='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa7*preda7='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa7*preda7='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =D2 H B/NOINT;
P output out=ras8 R=resa8 P=preda8 Student=resta8 Rstudent=restaa8;
Proc Plot data=ras8;
  Plot resta8*preda8='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa8*preda8='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa8*preda8='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =C;
output out=ras9 R=resa9 P=preda9 Student=resta9 Rstudent=restaa9;
Proc Plot data=ras9;
  Plot resta9*preda9='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa9*preda9='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa9*preda9='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = C/NOINT;
output out=ras10 R=resa10 P=preda10 Student=resta10 Rstudent=restaa10;
Proc Plot data=ras10;
  Plot resta10*preda10='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa10*preda10='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
```

```

Plot restaa10*preda10='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = D2 B C;
output out=ras11 R=resa11 P=preda11 Student=resta11 Rstudent=restaa11;
Proc Plot data=ras11;
Plot resta11*preda11='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa11*preda11='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa11*preda11='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =D2 B C/NOINT;
output out=ras12 R=resa12 P=preda12 Student=resta12 Rstudent=restaa12;
Proc Plot data=ras12;
Plot resta12*preda12='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa12*preda12='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa12*preda12='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE = LND LNH;
output out=ras13 R=resa13 P=preda13 Student=resta13 Rstudent=restaa13;
Proc Plot data=ras13;
Plot resta13*preda13='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa13*preda13='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa13*preda13='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE = LND LNH/NOINT;
output out=ras14 R=resa14 P=preda14 Student=resta14 Rstudent=restaa14;
Proc Plot data=ras14;
Plot resta14*preda14='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa14*preda14='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa14*preda14='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =B D2;
output out=ras15 R=resa15 P=preda15 Student=resta15 Rstudent=restaa15;
Proc Plot data=ras15;
Plot resta15*preda15='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa15*preda15='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa15*preda15='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =B D2/NOINT;
output out=ras16 R=resa16 P=preda16 Student=resta16 Rstudent=restaa16;
Proc Plot data=ras16;
Plot resta16*preda16='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;

```

```

Plot resa16*preda16='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa16*preda16='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =D2 H C;
output out=ras17 R=resa17 P=preda17 Student=resta17 Rstudent=restaa17;
Proc Plot data=ras17;
Plot resta17*preda17='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa17*preda17='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa17*preda17='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =D2 H C/NOINT;
output out=ras18 R=resa18 P=preda18 Student=resta18 Rstudent=restaa18;
Proc Plot data=ras18;
Plot resta18*preda18='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa18*preda18='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa18*preda18='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =H D2 C;
output out=ras19 R=resa19 P=preda19 Student=resta19 Rstudent=restaa19;
Proc Plot data=ras19;
Plot resta19*preda19='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa19*preda19='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa19*preda19='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE =H D2 C/NOINT;
output out=ras20 R=resa20 P=preda20 Student=resta20 Rstudent=restaa20;
Proc Plot data=ras20;
Plot resta20*preda20='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa20*preda20='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa20*preda20='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE =LNH D H;
P output out=ras21 R=resa21 P=preda21 Student=resta21 Rstudent=restaa21;
Proc Plot data=ras21;
Plot resta21*preda21='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa21*preda21='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa21*preda21='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE =LNH D H/NOINT;
output out=ras22 R=resa22 P=preda22 Student=resta22 Rstudent=restaa22;
Proc Plot data=ras22;

```

```

Plot resta22*preda22='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa22*preda22='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa22*preda22='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE =D LND LNH;
output out=ras23 R=resa23 P=preda23 Student=resta23 Rstudent=restaa23;
Proc Plot data=ras23;
Plot resta23*preda23='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa23*preda23='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa23*preda23='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE =D LND LNH/NOINT;
output out=ras24 R=resa24 P=preda24 Student=resta24 Rstudent=restaa24;
Proc Plot data=ras24;
Plot resta24*preda24='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa24*preda24='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa24*preda24='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE =LND D;
output out=ras25 R=resa25 P=preda25 Student=resta25 Rstudent=restaa25;
Proc Plot data=ras25;
Plot resta25*preda25='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa25*preda25='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa25*preda25='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNLE =LND D/NOINT;
output out=ras26 R=resa26 P=preda26 Student=resta26 Rstudent=restaa26;
Proc Plot data=ras26;
Plot resta26*preda26='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa26*preda26='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa26*preda26='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = E F;
output out=ras27 R=resa27 P=preda27 Student=resta27 Rstudent=restaa27;
Proc Plot data=ras27;
Plot resta27*preda27='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa27*preda27='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa27*preda27='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = E F/NOINT;
output out=ras28 R=resa28 P=preda28 Student=resta28 Rstudent=restaa28;

```

```

Proc Plot data=ras28;
  Plot resta28*preda28='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa28*preda28='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa28*preda28='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = H C;
output out=ras29 R=res29 P=preda29 Student=resta29 Rstudent=restaa29;
Proc Plot data=ras29;
  Plot resta29*preda29='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa29*preda29='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa29*preda29='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = H C/NOINT;
output out=ras30 R=res30 P=preda30 Student=resta30 Rstudent=restaa30;
Proc Plot data=ras30;
  Plot resta30*preda30='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa30*preda30='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa30*preda30='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = G;
output out=ras31 R=res31 P=preda31 Student=resta31 Rstudent=restaa31;
Proc Plot data=ras31;
  Plot resta31*preda31='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa31*preda31='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa31*preda31='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = G/NOINT;
output out=ras32 R=res32 P=preda32 Student=resta32 Rstudent=restaa32;
Proc Plot data=ras32;
  Plot resta32*preda32='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa32*preda32='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa32*preda32='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = I J H;
output out=ras33 R=res33 P=preda33 Student=resta33 Rstudent=restaa33;
Proc Plot data=ras33;
  Plot resta33*preda33='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa33*preda33='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa33*preda33='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = I J H/NOINT;

```

```

output out=ras34 R=resa34 P=preda34 Student=resta34 Rstudent=restaa34;
Proc Plot data=ras34;
  Plot resta34*preda34='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa34*preda34='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa34*preda34='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = G F I;
output out=ras35 R=resa35 P=preda35 Student=resta35 Rstudent=restaa35;
Proc Plot data=ras35;
  Plot resta35*preda35='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa35*preda35='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa35*preda35='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = G F I/NOINT;
output out=ras36 R=resa36 P=preda36 Student=resta36 Rstudent=restaa36;
Proc Plot data=ras36;
  Plot resta36*preda36='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa36*preda36='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa36*preda36='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = I K H;
output out=ras37 R=resa37 P=preda37 Student=resta37 Rstudent=restaa37;
Proc Plot data=ras37;
  Plot resta37*preda37='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa37*preda37='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa37*preda37='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = I K H/NOINT;
output out=ras38 R=resa38 P=preda38 Student=resta38 Rstudent=restaa38;
Proc Plot data=ras38;
  Plot resta38*preda38='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa38*preda38='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa38*preda38='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LE = G F E;
output out=ras39 R=resa39 P=preda39 Student=resta39 Rstudent=restaa39;
Proc Plot data=ras39;
  Plot resta39*preda39='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa39*preda39='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa39*preda39='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;

```

```

MODEL LE = G F E/NOINT;
output out=ras40 R=resa40 P=preda40 Student=resta40 Rstudent=restaa40;
Proc Plot data=ras40;
Plot resta40*preda40='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa40*preda40='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa40*preda40='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;

```

TROCILLA

```

Options Ls=75 Ps=80 nodate;
data tunca;
infile 'c:\Ronaldo\Basdat\Tunca%.txt';
input H D TC ; D2=D*D; H2=H*H; LNH=LOG(H); LND=LOG(D);
LNTC=LOG(TC); A=D*H2; B=D*H; C=D2*H; E=1/D; F=1/H; G=1/D2*H; I=1/D2; J=H/D2;
K=H/D;
Proc Print;
Var H D TC D2 H2 LNH LND LNTC A B C E F G I J K ;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =A D2;
output out=ras1 R=resa1 P=preda1 Student=resta1 Rstudent=restaa1;
Proc Plot data=ras1;
Plot resta1*preda1='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa1*preda1='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa1*preda1='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =A D2/NOINT;
output out=ras2 R=resa2 P=preda2 Student=resta2 Rstudent=restaa2;
Proc Plot data=ras2;
Plot resta2*preda2='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa2*preda2='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa2*preda2='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =B D2 A;
output out=ras3 R=resa3 P=preda3 Student=resta3 Rstudent=restaa3;
Proc Plot data=ras3;
Plot resta3*preda3='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa3*preda3='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa3*preda3='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =B D2 A/NOINT;

```



```

output out=ras4 R=resa4 P=preda4 Student=resta4 Rstudent=restaa4;
Proc Plot data=ras4;
  Plot resta4*preda4='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa4*preda4='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa4*preda4='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =B H C;
output out=ras5 R=resa5 P=preda5 Student=resta5 Rstudent=restaa5;
Proc Plot data=ras5;
  Plot resta5*preda5='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa5*preda5='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa5*preda5='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =B H C/NOINT;
output out=ras6 R=resa6 P=preda6 Student=resta6 Rstudent=restaa6;
Proc Plot data=ras6;
  Plot resta6*preda6='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa6*preda6='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa6*preda6='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC=D2 H B;
output out=ras7 R=resa7 P=preda7 Student=resta7 Rstudent=restaa7;
Proc Plot data=ras7;
  Plot resta7*preda7='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa7*preda7='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa7*preda7='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =D2 H B/NOINT;
P output out=ras8 R=resa8 P=preda8 Student=resta8 Rstudent=restaa8;
Proc Plot data=ras8;
  Plot resta8*preda8='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa8*preda8='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa8*preda8='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =C;
output out=ras9 R=resa9 P=preda9 Student=resta9 Rstudent=restaa9;
Proc Plot data=ras9;
  Plot resta9*preda9='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa9*preda9='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa9*preda9='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;

```

```

MODEL TC = C/NOINT;
output out=ras10 R=resa10 P=preda10 Student=resta10 Rstudent=restaa10;
Proc Plot data=ras10;
  Plot resta10*preda10='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa10*preda10='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa10*preda10='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = D2 B C;
output out=ras11 R=resa11 P=preda11 Student=resta11 Rstudent=restaa11;
Proc Plot data=ras11;
  Plot resta11*preda11='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa11*preda11='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa11*preda11='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =D2 B C/NOINT;
output out=ras12 R=resa12 P=preda12 Student=resta12 Rstudent=restaa12;
Proc Plot data=ras12;
  Plot resta12*preda12='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa12*preda12='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa12*preda12='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC = LND LNH;
output out=ras13 R=resa13 P=preda13 Student=resta13 Rstudent=restaa13;
Proc Plot data=ras13;
  Plot resta13*preda13='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa13*preda13='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa13*preda13='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC = LND LNH/NOINT;
output out=ras14 R=resa14 P=preda14 Student=resta14 Rstudent=restaa14;
Proc Plot data=ras14;
  Plot resta14*preda14='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa14*preda14='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa14*preda14='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =B D2;
output out=ras15 R=resa15 P=preda15 Student=resta15 Rstudent=restaa15;
Proc Plot data=ras15;
  Plot resta15*preda15='+/' vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa15*preda15='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa15*preda15='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;

```

```

RUN;
PROC REG;
MODEL TC =B D2/NOINT;
output out=ras16 R=resa16 P=preda16 Student=resta16 Rstudent=restaa16;
Proc Plot data=ras16;
  Plot resta16*preda16='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa16*preda16='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa16*preda16='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =D2 H C;
output out=ras17 R=resa17 P=preda17 Student=resta17 Rstudent=restaa17;
Proc Plot data=ras17;
  Plot resta17*preda17='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa17*preda17='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa17*preda17='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =D2 H C/NOINT;
output out=ras18 R=resa18 P=preda18 Student=resta18 Rstudent=restaa18;
Proc Plot data=ras18;
  Plot resta18*preda18='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa18*preda18='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa18*preda18='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =H D2 C;
output out=ras19 R=resa19 P=preda19 Student=resta19 Rstudent=restaa19;
Proc Plot data=ras19;
  Plot resta19*preda19='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa19*preda19='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa19*preda19='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC =H D2 C/NOINT;
output out=ras20 R=resa20 P=preda20 Student=resta20 Rstudent=restaa20;
Proc Plot data=ras20;
  Plot resta20*preda20='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa20*preda20='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa20*preda20='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC =LNH D H;
P output out=ras21 R=resa21 P=preda21 Student=resta21 Rstudent=restaa21;
Proc Plot data=ras21;
  Plot resta21*preda21='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;

```

```

Plot resa21*preda21='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa21*preda21='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC =LNH D H/NOINT;
output out=ras22 R=resa22 P=preda22 Student=resta22 Rstudent=restaa22;
Proc Plot data=ras22;
Plot resta22*preda22='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa22*preda22='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa22*preda22='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC =D LND LNH;
output out=ras23 R=resa23 P=preda23 Student=resta23 Rstudent=restaa23;
Proc Plot data=ras23;
Plot resta23*preda23='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa23*preda23='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa23*preda23='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC =D LND LNH/NOINT;
output out=ras24 R=resa24 P=preda24 Student=resta24 Rstudent=restaa24;
Proc Plot data=ras24;
Plot resta24*preda24='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa24*preda24='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa24*preda24='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC =LND D;
output out=ras25 R=resa25 P=preda25 Student=resta25 Rstudent=restaa25;
Proc Plot data=ras25;
Plot resta25*preda25='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa25*preda25='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa25*preda25='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTC =LND D/NOINT;
output out=ras26 R=resa26 P=preda26 Student=resta26 Rstudent=restaa26;
Proc Plot data=ras26;
Plot resta26*preda26='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa26*preda26='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa26*preda26='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = E F;
output out=ras27 R=resa27 P=preda27 Student=resta27 Rstudent=restaa27;
Proc Plot data=ras27;

```

```

Plot resta27*preda27='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa27*preda27='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa27*preda27='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = E F/NOINT;
output out=ras28 R=resa28 P=preda28 Student=resta28 Rstudent=restaa28;
Proc Plot data=ras28;
Plot resta28*preda28='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa28*preda28='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa28*preda28='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = H C;
output out=ras29 R=resa29 P=preda29 Student=resta29 Rstudent=restaa29;
Proc Plot data=ras29;
Plot resta29*preda29='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa29*preda29='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa29*preda29='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = H C/NOINT;
output out=ras30 R=resa30 P=preda30 Student=resta30 Rstudent=restaa30;
Proc Plot data=ras30;
Plot resta30*preda30='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa30*preda30='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa30*preda30='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = G;
output out=ras31 R=resa31 P=preda31 Student=resta31 Rstudent=restaa31;
Proc Plot data=ras31;
Plot resta31*preda31='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa31*preda31='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa31*preda31='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = G/NOINT;
output out=ras32 R=resa32 P=preda32 Student=resta32 Rstudent=restaa32;
Proc Plot data=ras32;
Plot resta32*preda32='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa32*preda32='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa32*preda32='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = I J H;
output out=ras33 R=resa33 P=preda33 Student=resta33 Rstudent=restaa33;

```

```

Proc Plot data=ras33;
  Plot resta33*preda33='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa33*preda33='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa33*preda33='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = I J H/NOINT;
output out=ras34 R=resa34 P=preda34 Student=resta34 Rstudent=restaa34;
Proc Plot data=ras34;
  Plot resta34*preda34='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa34*preda34='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa34*preda34='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = G F I;
output out=ras35 R=resa35 P=preda35 Student=resta35 Rstudent=restaa35;
Proc Plot data=ras35;
  Plot resta35*preda35='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa35*preda35='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa35*preda35='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = G F I/NOINT;
output out=ras36 R=resa36 P=preda36 Student=resta36 Rstudent=restaa36;
Proc Plot data=ras36;
  Plot resta36*preda36='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa36*preda36='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa36*preda36='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = I K H;
output out=ras37 R=resa37 P=preda37 Student=resta37 Rstudent=restaa37;
Proc Plot data=ras37;
  Plot resta37*preda37='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa37*preda37='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa37*preda37='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = I K H/NOINT;
output out=ras38 R=resa38 P=preda38 Student=resta38 Rstudent=restaa38;
Proc Plot data=ras38;
  Plot resta38*preda38='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa38*preda38='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa38*preda38='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = G F E;

```

```

output out=ras39 R=resa39 P=preda39 Student=resta39 Rstudent=restaa39;
Proc Plot data=ras39;
  Plot resta39*preda39='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa39*preda39='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa39*preda39='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TC = G F E/NOINT;
output out=ras40 R=resa40 P=preda40 Student=resta40 Rstudent=restaa40;
Proc Plot data=ras40;
  Plot resta40*preda40='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa40*preda40='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa40*preda40='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;

```

TROZA

```

Options Ls=75 Ps=80 nodate;
data troza;
infile 'c:\Ronaldo\Basdat\Troza%.txt';
input H D TR ; D2=D*D; H2=H*H; LNH=LOG(H); LND=LOG(D);
LNTR=LOG(TR); A=D*H2; B=D*H; C=D2*H; E=1/D; F=1/H; G=1/D2*H; I=1/D2; J=H/D2;
K=H/D;
Proc Print;
Var H D TR D2 H2 LNH LND LNTR A B C E F G I J K ;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =A D2;
output out=ras1 R=resa1 P=preda1 Student=resta1 Rstudent=restaa1;
Proc Plot data=ras1;
  Plot resta1*preda1='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa1*preda1='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa1*preda1='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =A D2/NOINT;
output out=ras2 R=resa2 P=preda2 Student=resta2 Rstudent=restaa2;
Proc Plot data=ras2;
  Plot resta2*preda2='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa2*preda2='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa2*preda2='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =B D2 A;
output out=ras3 R=resa3 P=preda3 Student=resta3 Rstudent=restaa3;
Proc Plot data=ras3;

```

```

Plot resta3*preda3='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa3*preda3='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa3*preda3='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =B D2 A/NOINT;
output out=ras4 R=resa4 P=preda4 Student=resta4 Rstudent=restaa4;
Proc Plot data=ras4;
Plot resta4*preda4='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa4*preda4='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa4*preda4='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =B H C;
output out=ras5 R=resa5 P=preda5 Student=resta5 Rstudent=restaa5;
Proc Plot data=ras5;
Plot resta5*preda5='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa5*preda5='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa5*preda5='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =B H C/NOINT;
output out=ras6 R=resa6 P=preda6 Student=resta6 Rstudent=restaa6;
Proc Plot data=ras6;
Plot resta6*preda6='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa6*preda6='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa6*preda6='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR=D2 H B;
output out=ras7 R=resa7 P=preda7 Student=resta7 Rstudent=restaa7;
Proc Plot data=ras7;
Plot resta7*preda7='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa7*preda7='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa7*preda7='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =D2 H B/NOINT;
P output out=ras8 R=resa8 P=preda8 Student=resta8 Rstudent=restaa8;
Proc Plot data=ras8;
Plot resta8*preda8='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa8*preda8='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa8*preda8='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =C;

```



```

output out=ras9 R=resa9 P=preda9 Student=resta9 Rstudent=restaa9;
Proc Plot data=ras9;
  Plot resta9*preda9='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa9*preda9='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa9*preda9='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = C/NOINT;
output out=ras10 R=resa10 P=preda10 Student=resta10 Rstudent=restaa10;
Proc Plot data=ras10;
  Plot resta10*preda10='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa10*preda10='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa10*preda10='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = D2 B C;
output out=ras11 R=resa11 P=preda11 Student=resta11 Rstudent=restaa11;
Proc Plot data=ras11;
  Plot resta11*preda11='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa11*preda11='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa11*preda11='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =D2 B C/NOINT;
output out=ras12 R=resa12 P=preda12 Student=resta12 Rstudent=restaa12;
Proc Plot data=ras12;
  Plot resta12*preda12='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa12*preda12='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa12*preda12='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR = LND LNH;
output out=ras13 R=resa13 P=preda13 Student=resta13 Rstudent=restaa13;
Proc Plot data=ras13;
  Plot resta13*preda13='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa13*preda13='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa13*preda13='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR = LND LNH/NOINT;
output out=ras14 R=resa14 P=preda14 Student=resta14 Rstudent=restaa14;
Proc Plot data=ras14;
  Plot resta14*preda14='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa14*preda14='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa14*preda14='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;

```

```

MODEL TR =B D2;
output out=ras15 R=resa15 P=preda15 Student=resta15 Rstudent=restaa15;
Proc Plot data=ras15;
  Plot resta15*preda15='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa15*preda15='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa15*preda15='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =B D2/NOINT;
output out=ras16 R=resa16 P=preda16 Student=resta16 Rstudent=restaa16;
Proc Plot data=ras16;
  Plot resta16*preda16='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa16*preda16='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa16*preda16='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =D2 H C;
output out=ras17 R=resa17 P=preda17 Student=resta17 Rstudent=restaa17;
Proc Plot data=ras17;
  Plot resta17*preda17='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa17*preda17='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa17*preda17='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =D2 H C/NOINT;
output out=ras18 R=resa18 P=preda18 Student=resta18 Rstudent=restaa18;
Proc Plot data=ras18;
  Plot resta18*preda18='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa18*preda18='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa18*preda18='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =H D2 C;
output out=ras19 R=resa19 P=preda19 Student=resta19 Rstudent=restaa19;
Proc Plot data=ras19;
  Plot resta19*preda19='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa19*preda19='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa19*preda19='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR =H D2 C/NOINT;
output out=ras20 R=resa20 P=preda20 Student=resta20 Rstudent=restaa20;
Proc Plot data=ras20;
  Plot resta20*preda20='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa20*preda20='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa20*preda20='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;

```

```

RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR =LNH D H;
P output out=ras21 R=resa21 P=preda21 Student=resta21 Rstudent=restaa21;
Proc Plot data=ras21;
  Plot resta21*preda21='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa21*preda21='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa21*preda21='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
ROC REG;
MODEL LNTR =LNH D H/NOINT;
output out=ras22 R=resa22 P=preda22 Student=resta22 Rstudent=restaa22;
Proc Plot data=ras22;
  Plot resta22*preda22='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa22*preda22='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa22*preda22='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR =D LND LNH;
output out=ras23 R=resa23 P=preda23 Student=resta23 Rstudent=restaa23;
Proc Plot data=ras23;
  Plot resta23*preda23='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa23*preda23='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa23*preda23='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR =D LND LNH/NOINT;
output out=ras24 R=resa24 P=preda24 Student=resta24 Rstudent=restaa24;
Proc Plot data=ras24;
  Plot resta24*preda24='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa24*preda24='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa24*preda24='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR =LND D;
output out=ras25 R=resa25 P=preda25 Student=resta25 Rstudent=restaa25;
Proc Plot data=ras25;
  Plot resta25*preda25='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa25*preda25='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
  Plot restaa25*preda25='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL LNTR =LND D/NOINT;
output out=ras26 R=resa26 P=preda26 Student=resta26 Rstudent=restaa26;
Proc Plot data=ras26;
  Plot resta26*preda26='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
  Plot resa26*preda26='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;

```

```

Plot restaa26*preda26='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = E F;
output out=ras27 R=resa27 P=preda27 Student=resta27 Rstudent=restaa27;
Proc Plot data=ras27;
Plot resta27*preda27='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa27*preda27='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa27*preda27='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = E F/NOINT;
output out=ras28 R=resa28 P=preda28 Student=resta28 Rstudent=restaa28;
Proc Plot data=ras28;
Plot resta28*preda28='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa28*preda28='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa28*preda28='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = H C;
output out=ras29 R=resa29 P=preda29 Student=resta29 Rstudent=restaa29;
Proc Plot data=ras29;
Plot resta29*preda29='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa29*preda29='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa29*preda29='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = H C/NOINT;
output out=ras30 R=resa30 P=preda30 Student=resta30 Rstudent=restaa30;
Proc Plot data=ras30;
Plot resta30*preda30='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa30*preda30='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa30*preda30='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = G;
output out=ras31 R=resa31 P=preda31 Student=resta31 Rstudent=restaa31;
Proc Plot data=ras31;
Plot resta31*preda31='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa31*preda31='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa31*preda31='*'/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = G/NOINT;
output out=ras32 R=resa32 P=preda32 Student=resta32 Rstudent=restaa32;
Proc Plot data=ras32;
Plot resta32*preda32='+'/ vref=0 vpos=20 hpos=65;

```

```

Plot resa32*preda32='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa32*preda32='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = I J H;
output out=ras33 R=resa33 P=preda33 Student=resta33 Rstudent=restaa33;
Proc Plot data=ras33;
Plot resta33*preda33='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa33*preda33='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa33*preda33='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = I J H/NOINT;
output out=ras34 R=resa34 P=preda34 Student=resta34 Rstudent=restaa34;
Proc Plot data=ras34;
Plot resta34*preda34='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa34*preda34='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa34*preda34='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = G F I;
output out=ras35 R=resa35 P=preda35 Student=resta35 Rstudent=restaa35;
Proc Plot data=ras35;
Plot resta35*preda35='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa35*preda35='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa35*preda35='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = G F I/NOINT;
output out=ras36 R=resa36 P=preda36 Student=resta36 Rstudent=restaa36;
Proc Plot data=ras36;
Plot resta36*preda36='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa36*preda36='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa36*preda36='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = I K H;
output out=ras37 R=resa37 P=preda37 Student=resta37 Rstudent=restaa37;
Proc Plot data=ras37;
Plot resta37*preda37='+/ vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa37*preda37='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa37*preda37='*/vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = I K H/NOINT;
output out=ras38 R=resa38 P=preda38 Student=resta38 Rstudent=restaa38;
Proc Plot data=ras38;

```

```
Plot resta38*preda38='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa38*preda38='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa38*preda38='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = G F E;
output out=ras39 R=resa39 P=preda39 Student=resta39 Rstudent=restaa39;
Proc Plot data=ras39;
Plot resta39*preda39='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa39*preda39='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa39*preda39='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
PROC REG;
MODEL TR = G F E/NOINT;
output out=ras40 R=resa40 P=preda40 Student=resta40 Rstudent=restaa40;
Proc Plot data=ras40;
Plot resta40*preda40='+' / vref=0 vpos=20 hpos=65;
Plot resa40*preda40='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
Plot restaa40*preda40='*' / vref=0 vpos=20 hpos=55;
RUN;
```