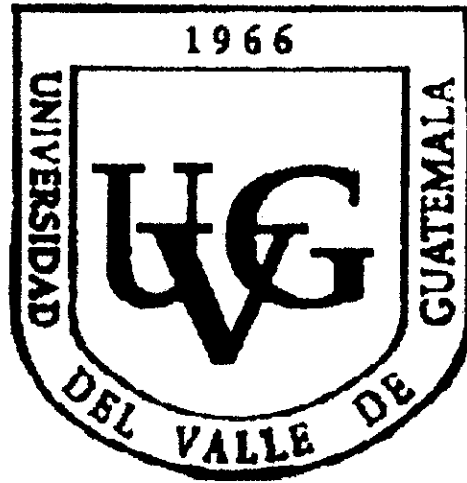


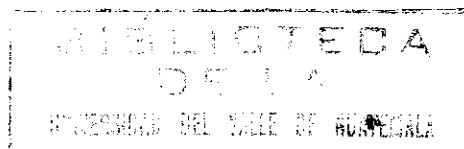
000895

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ciencias Agrícolas y Forestal



**Tabla local para el cálculo volumétrico de
árboles de encino (*Quercus acatenangensis* trel.),
municipio de Patzún, Chimaltenango.**

José Rodrigo Rodas



Trabajo de graduación presentado para optar al
grado académico de licenciado en Ingeniería Forestal

Guatemala, 1999

A:

Mis Abuelos:

Lic. Manuel Amado Rodas Cifuentes
Gabriela Ramos de Rodas
Delia Montenegro Vda. De López

Mi Mamá:

Lic. Irma Leticia Rodas Ramos

Mi Tía:

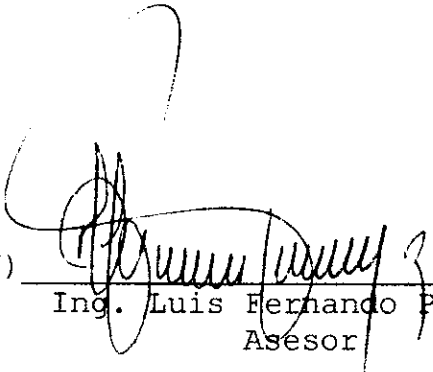
Amanda Elisa Rodas Ramos

Mi Hermano:

Ing. Manuel Amado Rodas

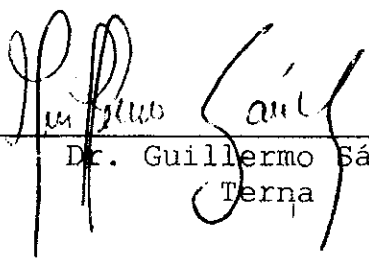
Vo. Bo.

(f)

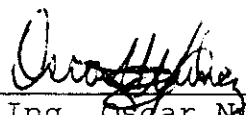

Ing. Luis Fernando Pereira
Asesor

Tribunal

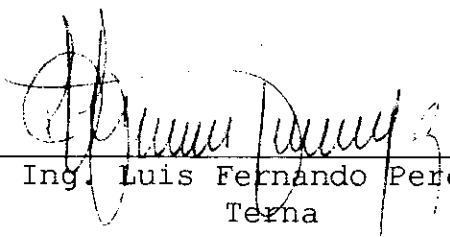
(f)


Dr. Guillermo Sánchez
Terna

(f)


Ing. Oscar Niñez
Terna

(f)


Ing. Luis Fernando Pereira
Terna

Fecha de aprobación: 23 de junio de 1999.

INDICE

| | |
|---|----|
| Resumen | |
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| A. Objetivo General | 3 |
| B. Objetivo Específico | 3 |
| III. JUSTIFICACION | 4 |
| IV. MARCO TEORICO | 6 |
| A. Marco conceptual | 6 |
| 1. Información del Género <u>Quercus</u> | 6 |
| 2. Descripción Botánica de <u>Quercus acatenangensis</u> Trel | 8 |
| 3. Usos más comunes del Género <u>Quercus</u> | 9 |
| 4. Determinación del volumen por árbol | 10 |
| 5. Definición de Tablas de Volumen | 12 |
| 6. Clasificación de las Tablas de Volumen | 13 |
| 7. Selección de la muestra para construir una tabla | 14 |
| 8. Método estadístico: Análisis de Regresión | 15 |
| 9. La elección del modelo de regresión | 15 |
| 10. Regresión Múltiple y Análisis de Correlación | 16 |
| 11. Validación de la tabla de volumen | 16 |
| 12. Prueba de sesgo | 18 |
| 13. Prueba de chi-cuadrado | 18 |

| | |
|---|----|
| B. Marco Referencial | 19 |
| 1. Descripción de la zona de vida Bosque Húmedo Montano | |
| Bajo Subtropical | 19 |
| V. METODOLOGIA | 22 |
| A. Selección del área estudiada | 22 |
| B. Localización del sitio de toma de datos | 22 |
| C. Tamaño de la muestra | 24 |
| D. Selección del método de cubicación | 24 |
| E. Delimitación geográfica de las poblaciones en el campo | 25 |
| F. Proceso de cubicación | 25 |
| G. Análisis estadístico | 26 |
| H. Definición del modelo estadístico a usar | 26 |
| I. Validación de la Tabla de Volumen | 27 |
| VI. PRESENTACION DE LA INFORMACION | 27 |
| VII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 27 |
| VIII. RESULTADOS | 28 |
| IX. DISCUSION | 36 |
| X. CONCLUSIONES | 40 |
| XI. RECOMENDACIONES | 41 |
| XII. LITERATURA CITADA | 42 |
| XIII. ANEXOS | 44 |

RESUMEN

El presente trabajo consistió en la elaboración de una tabla de volumen para árboles individuales de la especie Quercus acatenangensis Trel. mediante la obtención del modelo estadístico que más se ajustaba al objeto de estudio a partir del programa computarizado S.A.S. (Statistical Analysis System).

La localización del sitio de toma de datos se encuentra en la finca Las Victorias, cuya extensión es de 20 caballerías y está ubicada a $14^{\circ}38'20''$ latitud norte y $91^{\circ}02'20''$ longitud oeste a 2,220 msnm., en la aldea Xetzitzí, municipio de Patzún departamento de Chimaltenango, dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical. Se derribaron un total de 80 árboles, los cuales se cubicaron al usar el método de Smalian.

Se ingresaron cinco modelos estadísticos al programa S.A.S. para su respectivo análisis y con base en los resultados obtenidos por el programa, se seleccionó el modelo que más se ajustaba.

Con la ayuda del modelo estadístico se construyó una tabla de volumen de doble entrada para árboles individuales. Posteriormente se procedió a validar la tabla, cubicando otros 10 individuos a utilizar el mismo método dentro de la misma región en estudio.

Para comparar la exactitud y precisión del método, se aplicó la prueba de sesgo y Chi-cuadrado.

La importancia de la elaboración de la tabla de volumen en este trabajo se debe a que es una herramienta que contribuirá a la cuantificación y ordenamiento de bosques, tanto privados como comunales de Quercus acatenangensis Trel. para la optimización en el manejo de los recursos naturales y desarrollo forestal de Guatemala.

I. INTRODUCCION

Para la adecuada planificación del manejo de los bosques es necesaria, entre otras acciones, la cuantificación de los mismos. La unidad que se utiliza en la medición de las existencias de los bosques es el volumen, que puede ser fácilmente estimado con la ayuda de las tablas.

El presente trabajo de investigación pretende generar una herramienta de fácil aplicación, para la cuantificación de volumen para las especies forestales con alto valor económico, así como aquellas de gran importancia social, como el encino, lo que ayudará de gran manera al manejo del bosque. Asimismo contribuirá a que personas particulares, comunidades rurales, etc. logren manejar de manera correcta sus bosques de encino, lo que incidirá en un desarrollo sostenible.

Las tablas de volumen son una herramienta de gran importancia para la elaboración de inventarios forestales, investigación científica, planes de manejo sostenido y aprovechamiento racional del recurso forestal, con las que se facilitará el cálculo de las existencias volumétricas de los bosques.

Debido a la falta de tablas de volumen para las distintas regiones y especies existentes en Guatemala, se ha visto la necesidad de utilizar tablas de volumen elaboradas en otros países, lo que incide en la precisión de los resultados obtenidos con éstas.

Es de suma importancia contar con gran número de tablas de volumen para las distintas regiones y especies forestales de Guatemala, con el fin de optimizar la cuantificación y el manejo de los bosques.

La región que se escogió para la elaboración de esta tabla de volumen es la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical debido a la alta presencia del género Quercus en el área.

El encino (Quercus sp) es una especie muy utilizada en el área rural para fines energéticos, por lo que la cuantificación de este tipo de bosques es importante.

Es necesario saber el volumen con que se cuenta de este recurso para elaborar planes de manejo que permitan optimizar su uso y evitar su desaparición y promover su recuperación.

La elaboración de la tabla de volumen de la especie seleccionada se sustenta en la aplicación de técnicas de medición forestal y en el resultado del método de regresión lineal con variables combinadas.

II. OBJETIVOS

A. General

- Elaborar una tabla de volumen de doble entrada para la especie Quercus acatenangensis Trel.

B. Específicos

- Generar una base de datos de la relación diámetro-altura para la especie Quercus acatenangensis Trel.
- Seleccionar el modelo que más se ajuste, para la obtención de una ecuación de predicción de volumen de la relación diámetro-altura.
- Validar el modelo seleccionado.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente existen en Guatemala tablas de volumen para las especies coníferas (Ramírez Anleu, C. E. 1996), las cuales son un instrumento de gran importancia en la cuantificación de este tipo de bosques; sin embargo, no existen tablas de volumen para especies latifoliadas en bosques mixtos.

Es de suma importancia la evaluación de todas aquellas especies prometedoras desde el punto de vista económico y social.

La utilización de tablas de volumen es de gran importancia forestal para cualquier país que desea implementar políticas de desarrollo sostenible, ya que éstas facilitan y tecnifican la elaboración de inventarios del recurso bosque, en cuanto a cantidad de volúmenes madereros; esto conlleva al manejo técnico y sostenido de los recursos forestales con el fin de alcanzar un objetivo, como es lograr la sostenibilidad de los bosques.

La productividad de los bosques depende de la aplicación de las técnicas silvícolas, que tiendan a sostenerlos e incrementarlos a través del tiempo. No obstante, para definir los tratamientos es necesario conocer la calidad y cantidad del recurso para lograr su manejo y ordenación; en estos casos las tablas de volumen facilitan las operaciones y la actividad de cuantificación, ya que disminuye en gran parte la inversión que esto implica. Una manera práctica y rápida de estimar el volumen de madera en pie de una masa boscosa, es a través de tablas. En Guatemala se ha descuidado la investigación y generación de información acerca de las latifolidas en bosques mixtos, las cuales tienen un mercado que cada vez se amplía. Por esto es necesario la elaboración de tablas de volumen para encino, que es una especie de importancia social y económica.

El presente trabajo de investigación pretende ser una herramienta de fácil aplicación en la elaboración de planes de manejo y uso sostenible del recurso bosque. El encino es una especie latifoliada que es de gran importancia social en nuestro país, ya que es usada por muchas comunidades rurales como combustible y es la más abundante en sus bosques comunales. Además, es una especie que se está aprovechando en muchas regiones del país, a diferencia de las otras especies de hoja ancha que todavía no están en su etapa de aprovechamiento.

El sitio de toma de datos se escogió con base en la disponibilidad de árboles de la especie Quercus acatenangensis Trel. que existían en los lugares de aprovechamiento forestal que actualmente están dentro del área de estudio y están bajo la supervisión del Instituto Nacional de Bosques (INAB), es decir, que darán a consideración del plan de cortas que las fincas tienen autorizado.

Es importante realizar este tipo de estudios para una especie en particular y para un sitio específico debido que por las condiciones tanto ambientales como de sitio, el crecimiento de los individuos variará de acuerdo a la zona en que se encuentra. Además, se debe estudiar cada especie individualmente para realizar el debido manejo de la misma y así y garantizar su sostenibilidad, ya que actualmente se usa información de otras especies para el manejo del encino.

Para la institución forestal, la realización de trabajos como éste le facilitarán la cuantificación de bosques que estén acogidos a los distintos programas que apoya, por lo que es necesario dar incentivo para la realización de los mismos.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Marco Conceptual

1. Información del Género Quercus

Según Standley (1952), "son árboles grandes o medianos y a veces arbustos; brotes abundantes en los extremos de los vástagos usualmente acanalados; hojas alternas; casi siempre distintivamente pecioladas, enteras, dentadas o casi pinadas, persistente o deciduas, los dientes o lóbulos casi siempre aristados en la punta; estípulas mas asociadas con los brotes que con las hojas, subuladas a liguladas, usualmente que caducan; flores pequeñas estaminadas, en amentos elongados colgante flexibles, apetalado; cáliz en 5 lóbulos unidos formando mas o menos un periantrio cupular, encerrando de 5-10 estambres libres con anteras cortas y filamentos delgados; flores pistiladas que nacen en un amento reducido, el raquis rígido leñoso puede ser corto o largo y con 1 o varias flores, el cáliz de 6 sépalos adherentes a la base de los estilos y fusionado dentro de un tubo; pistilo de 3 carpelos formando un ovario simple de 3 células y 3 estilos libres, éstos marcados ventralmente hacia el ápice dilatado; la fruta es la bellota, con 1 célula y 1 semilla, los otros 5 óvulos estériles adheridos a la semilla desarrollada; la semilla se encuentra encerrada dentro de un caparazón y acomodada en una cúpula, éstos se forman a partir de numerosas hojas rudimentarias pequeñas imbricadas, la cúpula envuelve toda la nuez, una parte de ésta, o solo su base".

Es el único género grande de la familia, el número de especies se desconoce debido a los diferentes tratamientos que se le ha dado por varios autores. Rehder (1950) estima el número total de especies en "más de 200"; mientras que Trelease (1949), cerca de 370 solamente en América. Muller (1951) reconoce 46 en América Central. La mayoría de éstas se encuentran en Guatemala, pero otra gran cantidad de especies crecen al sur de Costa Rica y Panamá. Los encinos de Guatemala y Costa Rica han sido colectados en su mayoría, pero en los países intermedios son poco conocidos (Standley, 1952).

Según Standley (1952), "en Guatemala el pino y el encino son dos de los árboles más característicos. Muchas veces se encuentran mezclados en bosques de pino-encino, pero frecuentemente los encinos forman rodales puros, los cuales la mayoría se encuentran en las montañas secas a elevaciones medias. Actualmente, aunque los bosques de encino han sido proveedores de leña y madera, todavía existe una gran cantidad de rodales cubriendo grandes superficies en departamentos como Guatemala, El Quiché y Huehuetenango. Estas regiones proveen las mejores áreas de apacentamiento de las montañas. Se ven paisajes impresionantes cuando se ubica en una elevación baja en Huehuetenango y se observan los bosques de encino que se extienden en todas las direcciones. La mayoría de los árboles son algo pequeños, es cierto, y muchas veces reducidos a arbustos espesos, pero por todos lados, hasta donde la vista alcanza, hay bosques de encino o arbustos, extendiéndose desde las planicies hasta los más altos picos de la gran pared de roca que constituye la cara oeste de los Cuchumatanes. Pocos o ninguno de los encinos de Guatemala presentan el peculiar color brillante de muchos de los encinos de Norte América durante el otoño, pero hay un gran número de coloraciones amarillo-brillantes y algunos rojos y violetas opacos, y la coloración café de los que mueren pero con la persistencia de sus hojas es característica".

Según Standley (1952) "los encinos son encontrados a menudo donde no hay árboles de pino, y frecuentemente ocurren en asociaciones de bosques mixtos. En Cobán el lugar habitual de los encinos está usurpado en áreas por árboles de Liquidámbar, pero no muy lejos de Cobán existen varios rodales de encinos, y en las montañas secas de Baja Verapaz probablemente esta el más grande despliegue de árboles de encino en toda Guatemala. En los densos bosques húmedos mixtos de las pendientes del Pacífico de la cadena principal de volcanes, los encinos se presentan en grandes cantidades, principalmente el Quercus skinneri. Las montañas secas de Quetzaltenango y San Marcos, de medias a grandes elevaciones, también existen grandes cantidades de bosques de encino, pero éste, así como en la capital, ha sido fuertemente reducido debido al avance de la

frontera agrícola, demandas de leña y madera. Los nombres Pokonchi para los encinos son "pitán" y "zinuh," y el nombre "tuhs" es reportado para la Sierra de las Minas. Entre la gente de habla hispana en Guatemala los nombres "encino" y "roble" son aplicados a los árboles, y no se hace distinción en el uso de estos nombres, ni a las diferentes especies, hasta donde se ha observado. El término "encinaladas" es el mas comúnmente aplicado a los bosques de encino, al menos en la región central".

2. Descripción Botánica Quercus acatenangensis Trel

Según Morales (1987), "húmedo o seco, planicies montañosas y lados de colinas, en bosques mixtos, de encino o de pino-encino, a veces asociados con Cupressus y Abies, regularmente en lados de colina de arena blanca, 1500-3300 mts, más común en elevaciones altas; Baja Verapaz; Zacapa; Jalapa; Guatemala; Sacatepéquez; Chimaltenango; Sololá; Quiché; Huehuetenango; Totonicapán; Quetzaltenango; San Marcos. Chiapas.

Arbol de mediana altura o a veces árbol bastante grande, a veces de 30 mts. o más con un diámetro de por lo menos un metro, las hojas de 1-2 mm gruesa, glabra, o tallo-pubescente delgado que llega a ser glabro y café rojizo; flores de 3 mm de largo, ovoides, acutadas, delgados pubescentes o glabros, café claro, hojas gruesas y duras o raramente delgadas, 3-5 o igualmente 10-15 cm de largo, usualmente 2-3 pero a veces 1-4.5 cm de ancho, típicamente lanceoladas a elíptica u ovadas angostas, acutadas o acuminadas, no claramente aristada en la punta, cuneada a raramente extendida en la base, o en algunas formas circulada o subcordada, entera o con pocos dientes oscuros hacia el ápice, en formas juveniles serrados, los márgenes detalladamente cartilagosos y a veces crispado, la superficie superior mas o menos lustrosa, glabra o poco pubescente sobre la costa, la superficie inferior menos lustrosa glabra o con un grupo de pelos conspicuos en las axilas o en los nervios, la superficie no en forma de bala, los nervios laterales de 10-14 pares, mas o menos elevados en ambas superficies; peciolos de 5-10 o a veces 20 mm de largo, en

formas juveniles a veces bastante pequeños; bellotas estaminadas de 3 cm de largo, quemadas o gris quemado, sin flores, las anteras oblongadas, bien extendido; bellotas pistiladas de 5-10 y de hasta 20 mm de largo, el pedúnculo glabro usualmente con bifloreado; fruto bienal, solitario o germinado, en un pedúnculo de 5-20 mm de largo; copa de 10-20 mm 7-12 mm de altura, en forma de copa a turbulento y apretado en la base, el soporte triangular a lanceolado u ovado, los ápices usualmente comprimidos pero circulares, seríceas o glabras.

Encino hasta 40 metros de alto con la corteza gris algo lisa, hojas alternas con pecíolos de 10 a 20 mm, mediana lanceolada o angostamente ovoides, algo coriáceas, bellotas de 10 a 17 mm de largo. Encinares en lugares algo húmedos de las serranías. Se le registra dentro del grupo de encinos rojos. Se le encuentra en las serranías de Sacatepéquez, Chimaltenango, es uno de los más difundidos a partir de los 1800 a 2000 msnm."

3. Usos más Comunes del Género Quercus

Como fuente de madera y tablas, el género Quercus es uno de los más importantes entre todos los grupos de árboles. La madera se caracteriza por su eficacia, durabilidad y belleza, y es usada en muchos lugares para innumerables propósitos, desde durmientes para vías férreas, construcción de edificios y barcos, decoración de interiores, pisos y cualquier tipo de muebles. La madera de las diferentes especies varía en lo que se refiere a sus características físicas; algunas son duras y resistentes, otras son más livianas en peso, más suaves, y menos duras. El corcho comercial se obtiene de la corteza de los encinos de corcho que son cultivados para este propósito en España, Portugal y Africa del Norte (Standley, 1952).

La madera del encino es la más utilizada para leña en Guatemala. La madera es transportada a través de grandes distancias en la espalda de los campesinos o animales. Casi siempre es vendida tan barata que los vendedores no obtienen mucha ganancia, pero la

leña es una de las necesidades más grandes en Guatemala, y su escasez impone una gran dificultad. La corteza del encino es rica en taninos, y provee el mejor de todos los materiales para el tratamiento de cueros. Para este propósito es muy usado en Guatemala, y también es usado para suministrar un tinte café para los textiles. Las galerías de insectos encontradas abundantemente y muchas veces con claridad sobre los árboles son ricas en taninos, y en muchos Países han sido muy utilizadas para la elaboración de tinta. Estos procedimientos dudosamente han sido practicados en Guatemala. Debido a la presencia de taninos, un cocimiento de las hojas o la corteza de los encinos es bastante usada como astringente como medicina doméstica, comúnmente para aliviar el dolor de dientes. La ceniza de la madera es usada como lejía para la elaboración de jabones (Standley, 1952).

En Cerro Quemado y otros lugares en Quetzaltenango la abundancia de hojas caídas de encino son utilizadas comúnmente para la fertilización de campos estériles en las pendientes secas de la montaña. Grandes cantidades de éstas se ven descomponiéndose en las orillas de los caminos (Standley, 1952).

Las semillas de todos los encinos son comestibles, pero en la mayoría de las especies éstas son muy amargas. Las de algunos de los encinos blancos son relativamente dulces y con un sabor agradable. Las bellotas eran una comida importante en algunos comunidades de indígenas de Norteamérica. No se tiene información acerca de este uso en Centro América, pero no hay duda que las bellotas han sido comidas en Guatemala, al menos en tiempos de hambre, como las que han ocurrido en años recientes, cuando las cosechas de maíz se pierden (Standley, 1952).

4. Determinación del Volumen por Árbol

El volumen de un árbol puede ser determinado con base en la forma o el perfil del fuste, la cual puede variar de acuerdo a la especie, posición sociológica, influencia del medio ambiente y tratamiento que se le dé al bosque. Las formas de fustes o troncos se asemejan a cuerpos geométricos, paraboloides, neiloides o cónicos; variando las mismas

durante su desarrollo. Estas formas facilitan la Medición de las variables; (diámetros y alturas), lo que permite aplicarles la fórmula de volumen correspondiente al largo total o a secciones del árbol.

El volumen puede calcularse para trozas o secciones de troncos con fórmulas específicas como:

Fórmula Huber

$$V = gm * L \quad (\text{Citado por Ramírez Anleu, 1996})$$

Fórmula Smalian

$$V = \frac{gu + go}{2} * L \quad (\text{Citado por Ramírez Anleu, 1996})$$

Fórmula Newton

$$V = \frac{gu + 4gm + go}{6} * L \quad (\text{Citado por Ramírez Anleu, 1996})$$

De donde:

V = volumen

gu = Area basal mayor

gm = Area basal media

go = Area basal menor

L = Largo o altura (Citado por Ramírez Anleu, 1996)

Una acertada Estimación del volumen total de un bloque es frecuentemente indispensable, antes del apeo, con el fin de preparar la ejecución de la corta; tal estimación de volumen se realiza por porciones de bosque cuya delimitación obedece a las características de su vuelo (parte del bosque que crece) en conjunto, de manera que este sea

homogéneo conforme a los criterios de especie y conformación individual; y en cuanto a dimensiones o tamaño de los árboles. La técnica fundamental de la Estimación desde los orígenes de la Dasometría contempla dos magnitudes lineales de obligada Medición, siendo estas: El diámetro normal o DAP, que se toma en una sección del árbol a una altura de 1.30 mts del suelo y la longitud o altura total de tronco o fuste entre las secciones extremas que delimitan su posible aprovechamiento. (Loetsch. Zohrer. Haller. 1973)

La estimación del volumen maderable de un bosque es de suma importancia para la producción forestal, ya que de esta estimación se obtiene la cantidad de volumen que se puede utilizar para los distintos usos industriales.

5. Definición de Tablas de Volumen

Para obtener el volumen de los árboles medidos en una parcela de muestreo, es necesario establecer una relación entre las características del DAP y la Altura que se han medido en los árboles de la parcela y el volumen de los árboles. Esta relación entre el volumen con el DAP y Altura pueden ser una ecuación o fórmula, o bien una relación obtenida por métodos gráficos, que en general reciben el nombre de tablas de volumen.

Una tabla de volumen se define como una tabulación, en la cual el diámetro a 1.30 mt (DAP) y la altura, son las variables principales para determinar el volumen de un árbol. (FAO. 1980)

Estas tablas se fundamentan en el principio de que árboles de la misma especie poseen el mismo volumen promedio, cuando el diámetro y la altura son idénticas y se desarrollan bajo las mismas condiciones ecológicas. (Fresse, F. 1967)

FAO, (1980), define una tabla de volumen como una tarifa, fórmula o gráfica, que proporciona el valor volumétrico de un árbol o un conjunto de árboles en función de variables llamadas entradas. (FAO. 1980)

Las tablas de volumen son listas tabulares que dan el volumen de un árbol o un conjunto de árboles, preparadas a partir de ecuaciones de volumen, en donde la variable

dependiente es el volumen como una función de las características principales, diámetro normal y altura, obtenidas a partir de análisis de regresión (Jiménez, P. 1988)

Otras variables que influyen en el volumen y que pueden considerarse constantes en un área forestal determinada son: Forma del árbol, calidad del sitio, espesor de corteza. La idea básica de la tabla de volumen es desarrollar para una especie una relación entre el volumen y algunas variables de fácil determinación como el DAP y la Altura.

En el país la utilización de tablas de volumen se ha circunscrito a la evaluación de bosques de coníferas, sin embargo, se carece de este tipo de información para las especies latifoliadas en bosques mixtos.

6. Clasificación de las Tablas de Volumen

- *Tablas de simple entrada:* Expresan los volúmenes de árboles en función solamente del diámetro a la altura del pecho (1.30 mts), dichas tablas se construyen con datos colectados localmente en un bosque en particular y se aplican a pequeñas extensiones boscosas (Ramírez Anleu, C. E. 1996).
- *Tablas normales o de doble entrada:* Estas expresan los volúmenes en función de dos variables; el diámetro a la altura del pecho y la altura (Ramírez Anleu, C. E. 1996).

El presente trabajo de investigación es una tabla a nivel local, o sea, que tendrá una mayor exactitud a nivel del sitio de toma de datos.

El volumen final del árbol en este trabajo será la suma de los volúmenes de las ramas y del tronco. Mediante el empleo de tablas de cubicación, los volúmenes se pueden deducir en función de los diámetros y de las alturas. El empleo de tablas para uso general puede producir sesgo en los resultados al aplicarse a poblaciones distintas de las que sirvieron para calcular la tabla. Este tipo de error afecta la exactitud de cálculo de los volúmenes.

7. Selección de la muestra para construir una tabla

Para un rodal mono específico y homogéneo se puede considerar que se necesitan de 50 a 100 árboles para tablas de una sola entrada y entre 80 y 150 para tablas de dos entradas (FAO, 1980).

El número de árboles no es el único criterio a considerar; es necesario escoger los rodales de donde se extraerán los árboles y dentro de los rodales seleccionar los árboles de muestra. A continuación algunas recomendaciones:

- Dividir la región para la cual se va a establecer la tabla en compartimentos homogéneos (considerando las condiciones del lugar, los tratamientos silviculturales, etc.)
- Dividir los compartimentos en clases diamétricas, según la siguiente regla:
- En un compartimento, debe tomar el mismo número de árboles de muestra en cada clase de área basal (FAO, 1980).

Las reglas anteriores tratan de evitar que la mayoría de los árboles pertenezcan a un reducido número de clases de grosor. Hay que tener en cuenta que no es deseable un muestreo aleatorio de un árbol entre "n" árboles. Por ejemplo se requiere una tabla para árboles de un bosque denso con diámetros entre 20 cm y 1 m. El intervalo de las áreas basales se divide en diez clases iguales: los límites de los diámetros correspondientes serán 200-369-482-573-651-721-785-844-899-951-1000 mm (FAO, 1980).

En cada una de esas clases se tomará una muestra de unos 10 árboles, de acuerdo a un diseño de muestreo que cubra toda el área. (FAO, 1980).

Mediante el empleo de tablas de cubicación, se pueden deducir los volúmenes en función de los diámetros y de las alturas. El empleo de tablas para uso general puede

producir sesgo en los resultados al aplicarse a poblaciones distintas de las que sirvieron para calcular la tabla. (FAO, 1974).

8. Método estadístico: análisis de regresión:

Este es el método más utilizado, pues con el desarrollo de las computadoras ha disminuido el inconveniente de los cálculos. (FAO, 1980)

9. La elección del modelo de regresión

A continuación, algunos puntos importantes a considerar:

- *Simplicidad del modelo:* Tratar de tener el modelo más simple posible, o sea, que tenga el menor número de coeficientes. Mientras más numerosos son los coeficientes, más ilógicamente variará V (volumen), en función de las entradas (FAO, 1980).

Para la elaboración de tablas de volumen se debe considerar el método analítico, que se caracteriza por utilizar los cuadrados mínimos en la estimación de los coeficientes de regresión. Esto tiene la ventaja de permitir el cálculo del error en la estimación al evaluar la bondad de ajuste de cualquier recta o curva, cuya ecuación sea conocida a un conjunto de observaciones (Jiménez, 1988).

Cuando se tiene información acerca de dos o más variables relacionadas, es natural buscar un modo de expresar la forma de las relaciones funcionales, pero además de buscar la función matemática que nos diga la manera en que están relacionadas las variables, es necesario saber con qué precisión se puede predecir el valor de una variable si conocemos los valores de las variables asociadas. La técnica para lograr estos dos objetivos se conoce como método de regresión (Jiménez, 1988).

La forma general de una ecuación para una línea recta es de $Y = a + bX$, de donde a y b son constantes y coeficientes de regresión, que deben de estimarse conforme al principio de mínimos cuadrados.

10. Regresión Múltiple y Análisis de Correlación

El coeficiente de correlación es la medida en la que puede describirse la eficacia con que una variable es explicada por otra.

Podemos servirnos de más de una variable independiente para estimar la variable dependiente y, de este modo, procurar mejorar la estimación. Este proceso se conoce como regresión múltiple y análisis de correlación (Levin, 1988).

En la elaboración de la ecuación de regresión para una tabla de volumen, se consideran dos variables independientes (DAP, altura) y una variable dependiente (volumen).

La principal ventaja de la regresión múltiple es que permite utilizar una parte mayor de la información que se dispone para estimar la variable dependiente (Levin, 1988).

Además, en la regresión múltiple, podemos atender a cada una de las variables independientes individuales y probar si contribuye significativamente a la manera en que la regresión describe los datos (Levin, 1988).

11. Validación de las Tablas de Volumen

La estimación del volumen de madera en pie de un rodal es uno de los aspectos importantes en el proceso de ordenar y manejar el bosque con metas de producción. La estimación de la cantidad de madera es el resultado de un proceso de muestreo, y por definición habrá una diferencia entre el valor real y el valor estimado. Esta diferencia o error debe estar dentro de ciertos límites, el cual generalmente es aceptable dentro de un rango de 5-20% para un nivel de significancia de 0.05%. (Loetsch, Zohrer, Haller, 1973)

La metodología para estimar el volumen de madera en pie usa una serie de estimaciones cada una de las cuales lleva implícita un error, este error debe ser conocido y el objetivo es hacerlo mínimo; una de estas estimaciones es la tabla de volumen o ecuación de volumen general (Loetsch, Zohrer, Haller, 1973).

Debido al uso de las tablas de volumen en el proceso de la elaboración de planes de manejo es una necesidad prioritaria conocer la exactitud de ellas. El conocimiento objetivo de la exactitud de las tablas es la forma técnica correcta de poder establecer cual tabla es mas eficiente. Si se tiene alguna duda acerca de la eficiencia de la tabla no es correcto emitir juicios subjetivos respecto a la calidad, se debiera demostrar con cualquiera de los métodos estadísticos cual es la calidad y validez de una tabla de volumen (Haller, Loetsch, Zohrer, 1973).

Una tabla de volumen debe de ser validada por algún método estadístico para conocer si tiene sesgo o error y si lo tiene saber la magnitud de este. La utilidad de una tabla de volumen se mide por dos características importantes: sesgo y exactitud. Una tabla de volumen no tiene sesgo, si para cualquier tamaño de los árboles los volúmenes estimados son iguales a los volúmenes medidos; si la tabla muestra un sesgo, este se puede corregir aplicando una regresión que corrija los coeficientes de la ecuación de volumen. En la práctica un sesgo de 2-3% no vale la pena corregirlo, pero sí es recomendable hacerlos si es mayor de este valor (Loetsch, Zohrer, Haller, 1973).

Una prueba de sesgo se hace subdividiendo la población y examinando los desvíos entre los valores medidos (V_m) y los valores predcidos o estimados (V_e) dentro de cada subpoblación en forma separada. Una condición para esta prueba es que debe ser hecha con una muestra independiente y no solamente con los datos con que se ajustaron las ecuaciones de volumen (Loetsch, Zohrer, Haller, 1973).

Los valores de los volúmenes medidos deben ser cubicados exactamente en árboles apeados para este propósito. La prueba de t no es apropiada y no debiera ser usada. La

prueba de Chi cuadrado es mas apropiada que la prueba de t, porque mide el sesgo pero no toma en cuenta si el desvío es positivo o negativo. (Loetsch. Zohrer. Haller. 1973)

12. Prueba de sesgo

Mide la concordancia general entre los valores medidos y los valores estimados por la tabla de volumen y expresa la diferencia entre la suma del volumen medido y el volumen estimado como un porcentaje de la suma del volumen medido. El sesgo también indica en qué porcentaje la tabla sobrestima o subestima el volumen. (Loetsch. Zohrer. Haller. 1973)

$$S\% = ((\Sigma Ve - \Sigma Vm) / \Sigma Vm) * 100$$

Donde:

S% = sesgo en porcentaje

Vm = suma de volumen promedio medido

Ve = suma de volumen estimado por tabla de volumen

13. Prueba de Chi cuadrado

Fue propuesta por Frank Freese (1967) y se usa para medir la calidad de la tabla de acuerdo al grado de correspondencia entre los volúmenes estimados por la tabla y los volúmenes medidos (Haller, Loetsch, Zohrer, 1973).

$$E\% = \sqrt{\frac{Ve}{z^2 * \frac{\Sigma ((Vm-1)^2)}{Chi}}} * 100$$

Donde:

E% = exactitud en porcentaje

z = valor z para un nivel de significancia de 5%

Ve = volumen medido (promedio)

Vm = volumen estimado (promedio) por la tabla de volumen

Chi = valor de Chi-cuadrado

B. Marco Referencial

1. Descripción de la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical

□ *Localización y Extensión:*

Comprende una faja que va desde Mixco, en el departamento de Guatemala al noroeste del país pasando por San Juan, San Pedro Sacatepéquez, del Departamento de Guatemala; San Lucas Sacatepéquez, del Departamento de Sacatepéquez; San Martín Jilotepeque, Zaragoza, Santa Cruz Balanyá y San José Poaquil, del Departamento de Chimaltenango; Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, del Departamento de El Quiché; Momostenango, del Departamento de Totonicapán, y Huehuetenango hasta la frontera con México (Holdrige, 1982).

La superficie total de esta zona de vida es de 9,769 kilómetros cuadrados, lo que representa el 8.98% de la superficie total del país.

□ *Condiciones Climáticas*

El patrón de lluvias varía entre 1,057 mm y 1,588 mm con un promedio de 1,344 mm de precipitación anual. Las biotemperaturas van desde 15 grados a 23 grados C. La evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0.75 (Holdrige, 1982).

□ *Topografía y Vegetación*

Su topografía en general es plana y se usa para cultivos agrícolas. Sin embargo, las áreas accidentadas están cubiertas por vegetación (Holdrige, 1982).

La vegetación natural típica de la parte central del altiplano, está representada por rodales de Quercus spp. asociados generalmente con Pinus pseudostrobus y Pinus montezumae. Puede observarse en Uspantán Juniperus comitana en forma de individuos aislados. Alnus jorullensis, Ostrya spp. y Carpinus spp. son bastante frecuentes en esta formación (Holdrige, 1982).

Ocurren también como indicadores en esta zona Prunus capuli y Arbutus xalapensis (Holdrige, 1982).

□ *Consideraciones generales sobre su uso*

El uso apropiado para esta zona es fitocultural forestal, pues los terrenos planos pueden utilizarse para la producción de maíz, frijol, trigo, verduras y frutales de zonas templadas como: durazno, pera, manzana, aguacate y otros (Holdrige, 1982).

Los terrenos accidentados deben mantenerse cubiertos de bosques, para protegerlos y para que éstos satisfagan el consumo local, pues las existencias boscosas son limitadas, dada la densidad de la población (De la Cruz, 1982).

Cuando se tiene información acerca de dos o más variables relacionadas, es natural buscar un modo de expresar la forma de las relaciones funcionales, pero además de buscar la función matemática que nos diga la manera en que están relacionadas las variables, es necesario saber también la precisión con la que se puede predecir el valor de una variable si conocemos los valores de las variables asociadas. La técnica para lograr estos dos objetivos se conoce como método de regresión. El volumen de árboles en pie puede estimarse mediante la utilización de funciones volumétricas o del coeficiente mórfico. El volumen se determina de la relación entre los parámetros dendrométricos. Diámetro, altura y coeficiente mórfico son las variables independientes que se utilizan comúnmente para estimar el valor de la variable dependiente (volumen), y el resultado final se presenta en forma tabular o modelo matemático. La estimación de volumen está basada en medidas del árbol o características de masas (diámetro, altura, área basimétrica), y en relaciones volumétricas entre aquellas características y los volúmenes a estimarse.

Una acertada estimación del volumen total de un bosque es frecuentemente indispensable, antes del apeo, con el fin de preparar la ejecución de la corta, tal estimación

de volumen se realiza por porciones de bosque cuya delimitación obedece a las características de su vuelo en conjunto, de manera que éste sea homogéneo conforme a los criterios de especie y conformación individual, y en cuanto a dimensiones o tamaño de los árboles. La técnica fundamental de la estimación, desde los orígenes de la dasometría contempla dos magnitudes lineales de obligada medición, siendo éstas: El diámetro normal o DAP, que se toma en una sección del árbol a una altura de 1.30 mts del suelo y la longitud o altura total del tronco o fuste entre las secciones extremas que delimitan su posible aprovechamiento.

V. METODOLOGIA

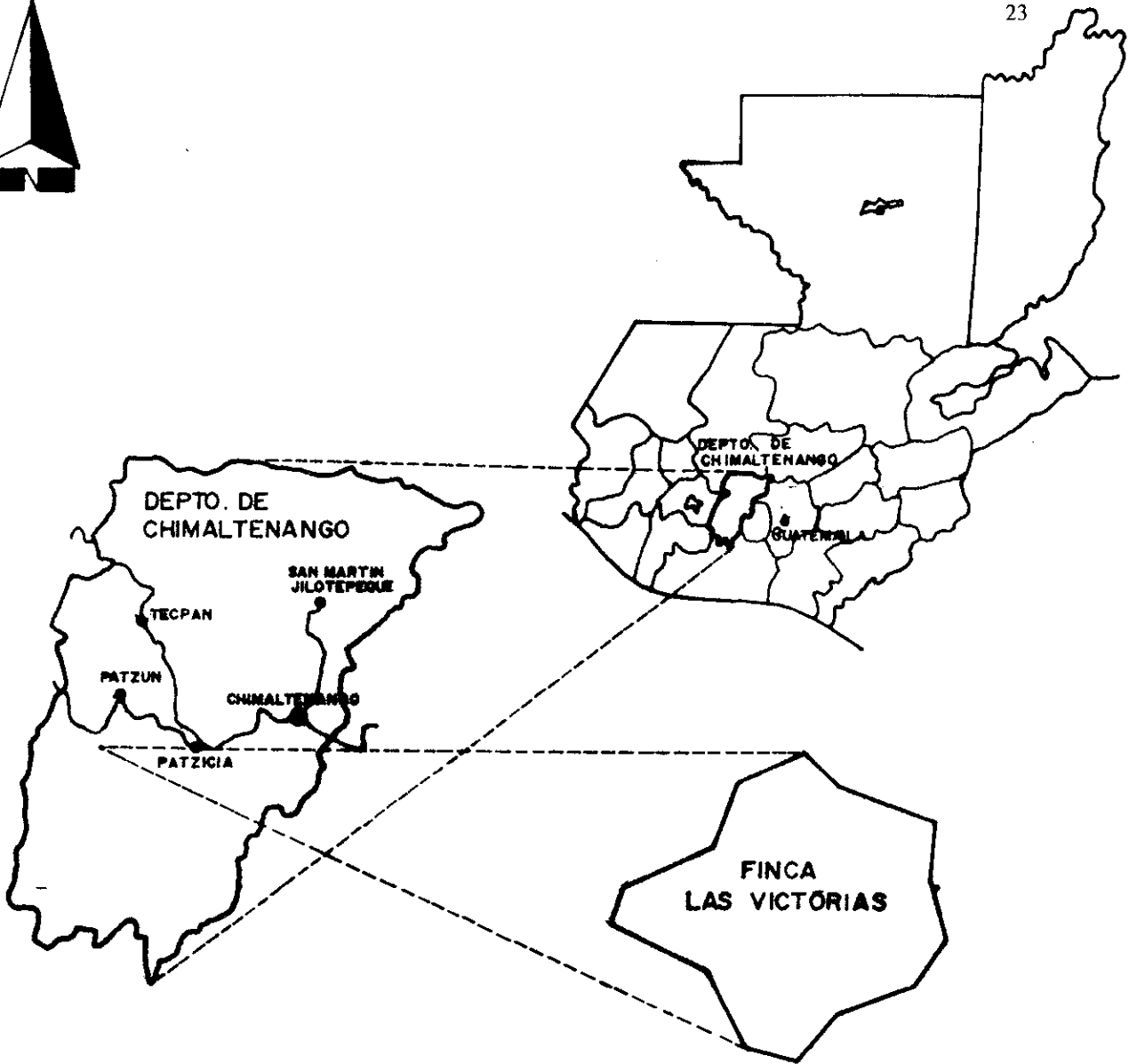
a. Selección del Área Estudiada

Se efectuó con base en los siguientes criterios:

- ❑ Ubicación de las fincas en las cuales existe autorización por parte del Instituto Nacional de Bosques (INAB) para aprovechamiento forestal, en el municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango.
- ❑ Esta es zona de alta importancia como generadora de productos relacionados con la actividad forestal, como el ecoturismo; la industria; así mismo con la explotación de maderas y derivados de las mismas como resinas y taninos.
- ❑ Importancia forestal de la zona: Esta es área que, a pesar de su gran riqueza forestal, está siendo explotada irracionalmente haciendo que se pierda sus recursos naturales, por lo que es necesario la recuperación y manejo sostenible de los mismos.

b. Localización del sitio de toma de datos

Este se encuentra en la Finca Las Victorias, cuya extensión es de 20 caballerías y está ubicada a 14° 38' 20" latitud Norte y 91° 02' 20" longitud Oeste a 2,220 msnm en la aldea Xetzitzi, municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango. Posee un promedio de pendiente de 35%, con calidad de sitio IV, suelos de tipo arcilloso poco profundos y no es usado para cultivos. Su ubicación se realizó con la ayuda de la hoja cartográfica 1:250,000 y el mapa de la finca (Figura 1).



LEYENDA

COORDENADAS GEOGRAFICAS

LATITUD | 14° 38' 20"

LONGITUD | 91° 02' 20"

Figura No. 1

**FINCA
LAS VICTORIAS**
PATZÚN — CHIMALTENANGO

**MAPA DE
UBICACION GEOGRAFICA
SITIO TOMA DE
DATOS**

El sitio se escogió con base en la disponibilidad de árboles de la especie Quercus acatenangensis Trel. que existían en los lugares de aprovechamiento forestal que están actualmente dentro del área de estudio y que están bajo la supervisión del Instituto Nacional de Bosques (INAB), es decir quedarán a consideración del plan de cortas que las fincas tienen autorizado.

c. Tamaño de la Muestra

Esta se definió de acuerdo al criterio establecido por la FAO y explicado en la metodología, es decir que el rango de la muestra fue de 80 árboles para una tabla de doble entrada, como la trabajada en la presente investigación.

d. Selección del Método de Cubicación

El método de cubicación fue el de Smalian. Se aplicó esta fórmula a secciones del tronco con espacios de 2 mts. para que exista mejor calidad y precisión en los datos obtenidos.

Fórmula Smalian

$$V = \frac{g_u + g_o}{2} * L$$

2

V = volumen

g_u = Area basal mayor

g_o = Area basal menor

L = Largo o altura

El rango de las clases diamétricas fue de 5 cm., lo cual dio una mayor precisión como si la amplitud fuera más grande. Esto nos dio como resultado 10 clases diamétricas tomando como diámetro base 10 cm y uno máximo de 59 cm.

e. Delimitación Geográfica de las Poblaciones en el Campo

Se delimitó geográficamente los Rodales de la especie bajo estudio, a través de los caminos, así como por cartografía y fotointerpretación.

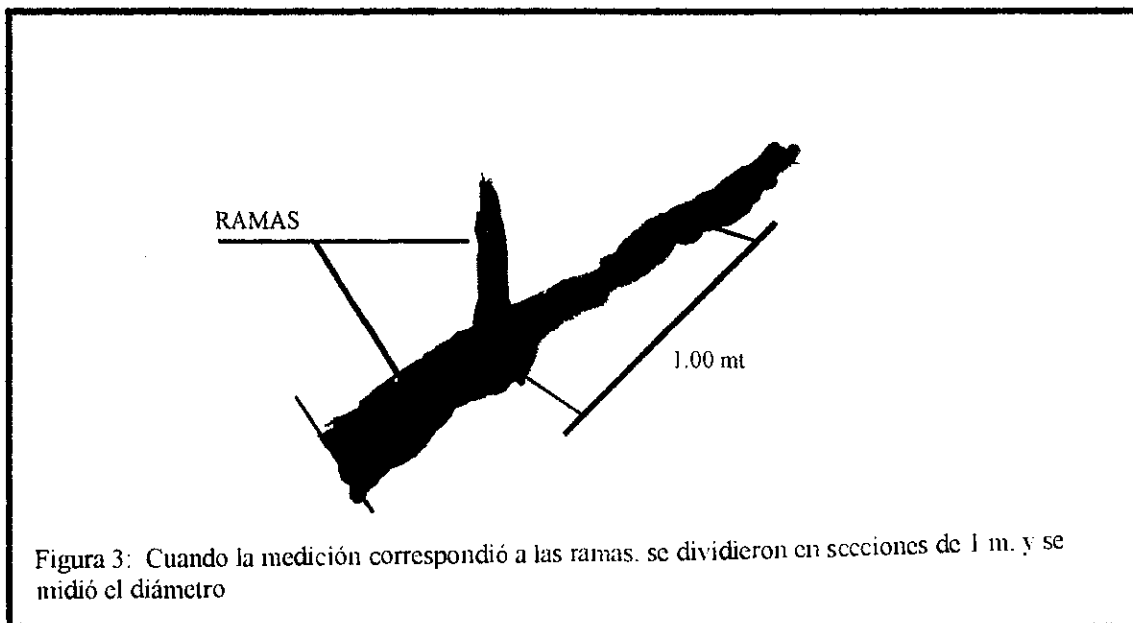
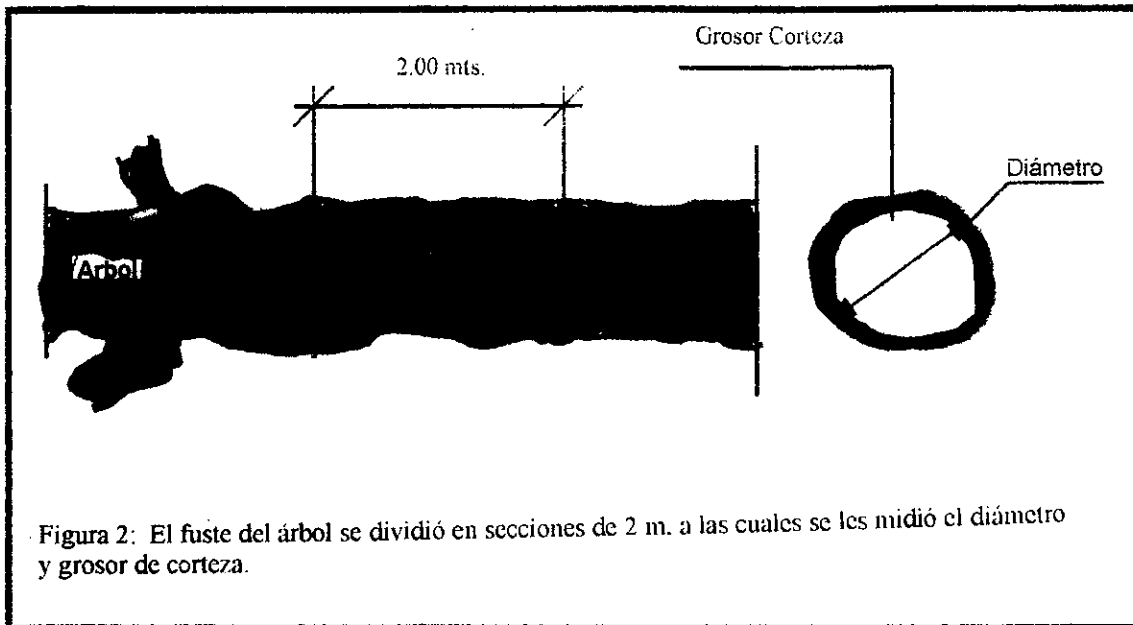
f. Proceso de Cubicación

Previo a apear los especímenes se les midió su DAP y grosor de corteza a esta misma altura, registrándose estos datos en un formulario respectivo. Apeado el árbol, se procedió a medir la longitud total, largo del fuste hasta el diámetro superior y largo de la copa. Anotados estos datos, se procedió a seccionar el árbol en cinco partes para medir el diámetro correspondiente y el grosor de corteza de cada una de las secciones (Figura 2).

Cuando la medición correspondía a las secciones con ramas, se procedió a tomar diámetros de cada una de éstas, excluyendo aquellas ramas con diámetros menores a los dos centímetros (Figura 3).

La longitud o altura total, largo del fuste aprovechable, altura del tocón y las secciones fueron medidas con cinta métrica, hasta aproximar el dato inmediato superior. Los diámetros a 1.30 mts y en las diferentes secciones se midieron con forcípula. La corteza se midió con un calibrador especial para corteza graduado en milímetros.

De acuerdo con las normas dendrométricas se tomaron todos los datos de las variables necesarias para obtener los volúmenes madereros y de corteza.



g. Análisis Estadístico

El procesamiento de la información de los diferentes volúmenes se llevó a cabo a través de un análisis de regresión múltiple, que permite hacer predicciones del volumen de un árbol con base en las medidas de su altura y DAP, y de la relación entre la altura del árbol y el DAP del mismo mediante un modelo o ecuación matemática que exprese cómo cambia una variable en función del cambio de la(s) variación(es) de la(s) otra(s) variable(s).

El proceso consiste en utilizar el método de regresión múltiple o lo que se da por llamar también Análisis de Varianza.

El proceso mecánico de cálculo de las variables de las ecuaciones propuestas, se realizó a través del programa computarizado S.A.S., y se obtuvo los coeficientes estadísticos ya mencionados, que definieron el modelo o ecuación matemática que mejor se ajuste al comportamiento de las variables bajo estudio y que determinan en forma más exacta el volumen de los árboles.

h. Definición del Modelo Estadístico a Usar

Hoy en día, no se cuenta con literatura que indique cuáles son los mejores modelos estadísticos a usar, por lo que se utilizaron modelos ya empleados en trabajos similares que han dado buenos resultados.

Con una colección de datos que relacionen el DAP, altura total y el volumen, se sometieron al proceso estadístico de regresión múltiple, y se usó el modelo que más se ajustó; además se hizo el cálculo de las ecuaciones a través de S.A.S.

De acuerdo a los coeficientes de correlación y análisis de varianza, así como las pruebas de validación, se definirá un modelo que represente el comportamiento de las variables en el cálculo del volumen de los árboles.

A partir del modelo se elaboraron las tablas de volumen y se auxilió de hojas electrónicas como EXCEL, en la cual se procesaron los datos correspondientes a DAP, altura y volumen con el modelo de regresión seleccionado por la especie.

Las tablas desplegadas corresponderán a: volumen total sin corteza, volumen total con corteza, volumen utilizable en metros cúbicos sin corteza y volumen cúbico en pies madereros sin corteza. Esto último debido a la unidad volumétrica de medida que más comúnmente se usa en la industria maderera en nuestro país.

i. Validación de la Tabla de Volumen

Se realizó a través de los análisis estadísticos "Prueba de sesgo" y "prueba de "Chi-cuadrado", los cuales se consideran los más adecuados para validar esta clase de estudios.

VI. Presentación de la información

Se presentó la fórmula más ajustada de acuerdo a los indicadores estadísticos pertinentes y que mejor explique el volumen. Se harán las gráficas correspondientes y las tablas definitivas.

VII. Cronograma de actividades

La etapa de gabinete se llevó a cabo en los meses de febrero y marzo. La etapa de identificación de las áreas de aprovechamiento se efectuó de abril a junio. El trabajo de campo se realizó en los meses de mayo y junio. La sistematización de la información se llevó a cabo durante el mes de julio y la presentación de la información se hizo en agosto.

VIII. RESULTADOS

Se obtuvo la tabla de volumen para la especie Quercus acatenangensis Trel. para la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical en el municipio de Patzún, departamento de Chimaltenango.

Se seleccionó el área debido a la alta incidencia de árboles de esta especie y a la existencia de una licencia de aprovechamiento forestal de encino para la zona. El área seleccionada es la Fca. Las Victorias ubicada a $14^{\circ}38'20''$ latitud Norte y $91^{\circ}02'20''$ longitud Oeste. Su ubicación se realizó con la ayuda de la hoja cartográfica de Guatemala escala 1:250,000 y el mapa de la finca (Fig. 1).

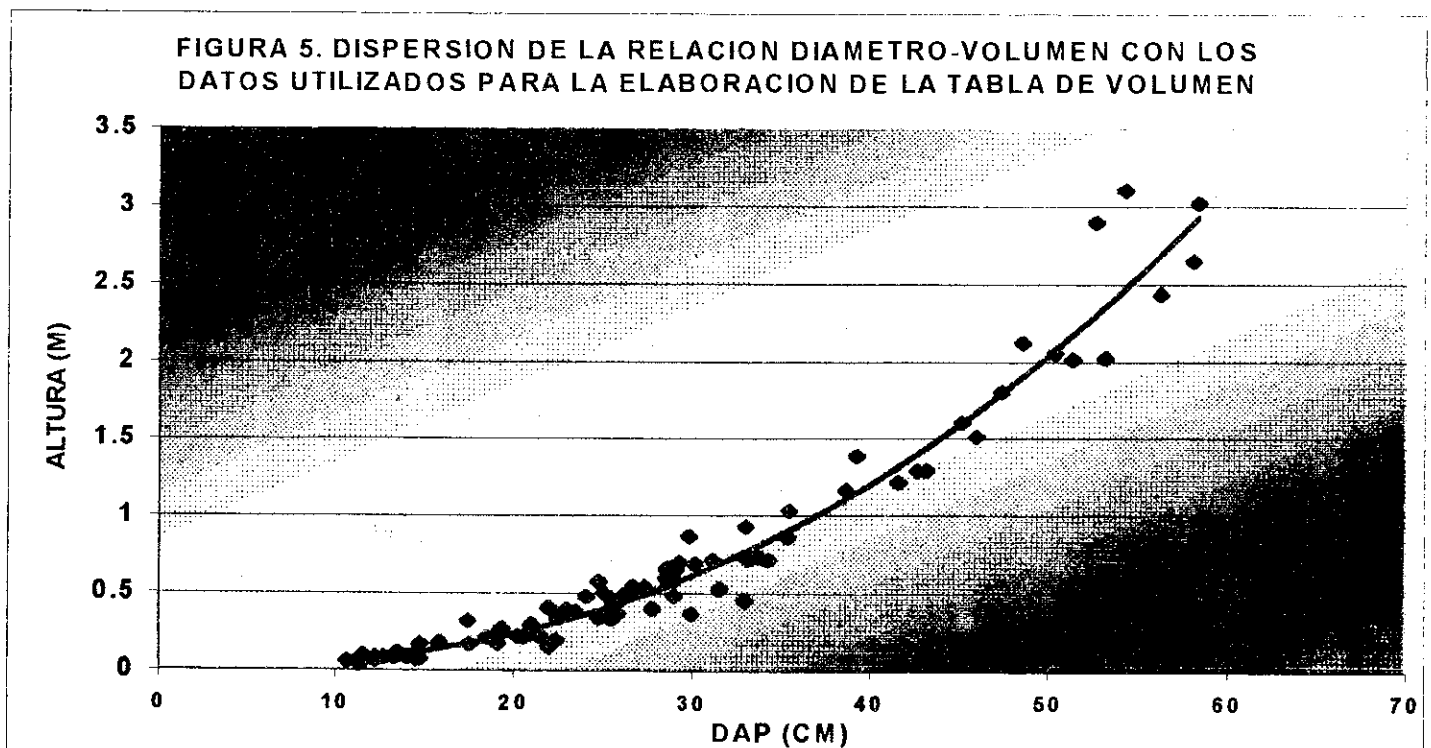
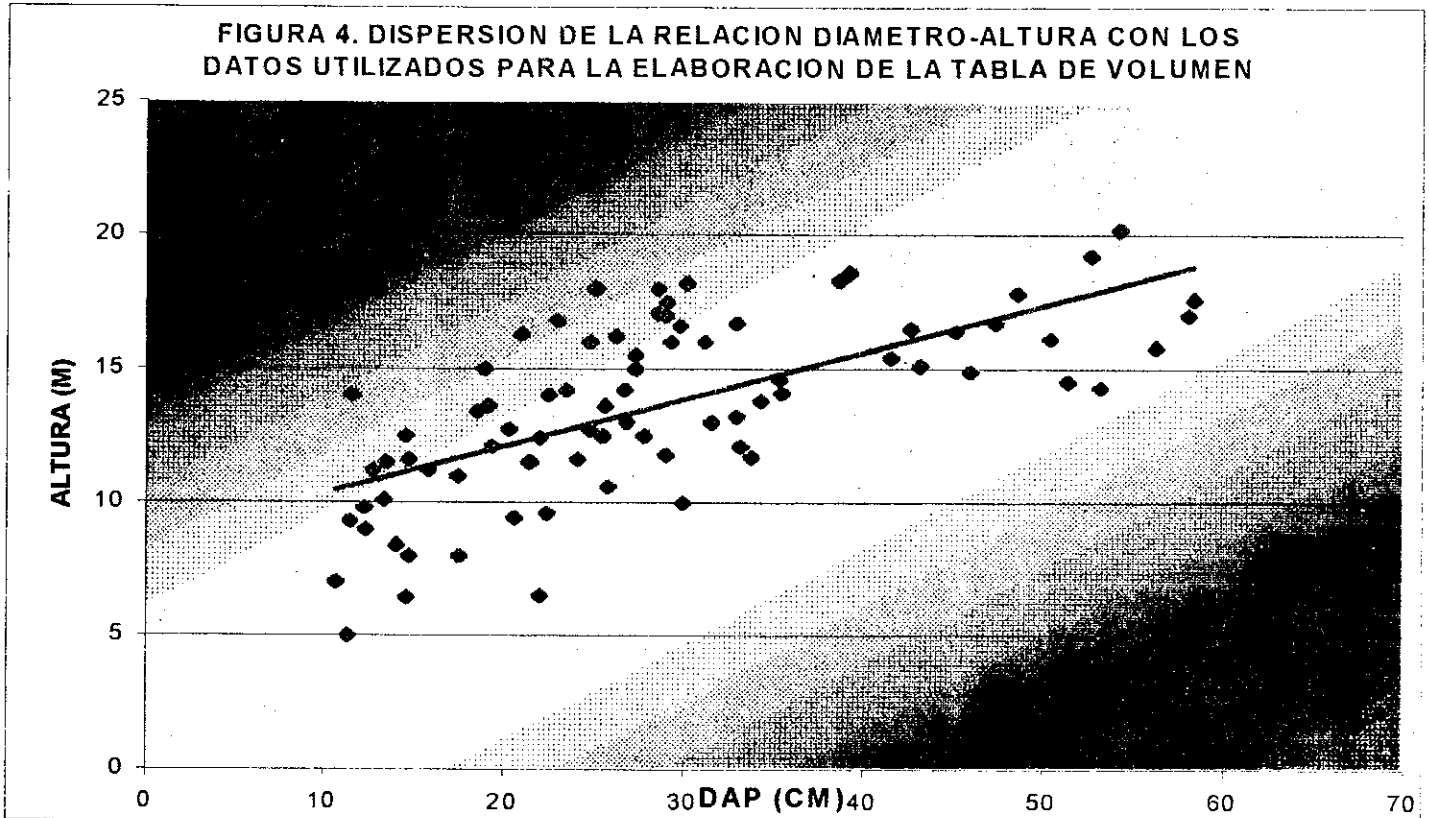
Para la elaboración de la tabla de volumen se utilizaron 80 árboles de muestra (Tabla 1), siendo este tamaño escogido con base en los criterios establecidos por la FAO (Sección 4.1.7). Los árboles que fueron escogidos como muestra se encontraban distribuidos dentro de la superficie de la finca.

La cubicación de los árboles se llevó a cabo por medio del método de Smalian, en donde se dividió el tronco del árbol en secciones de 2m de largo determinándose las áreas basales de los extremos de cada sección y dividiéndolas dentro de 2 a efectos de determinar un promedio del área basal de cada sección, para luego multiplicarlo por la altura total y obtener el volumen.

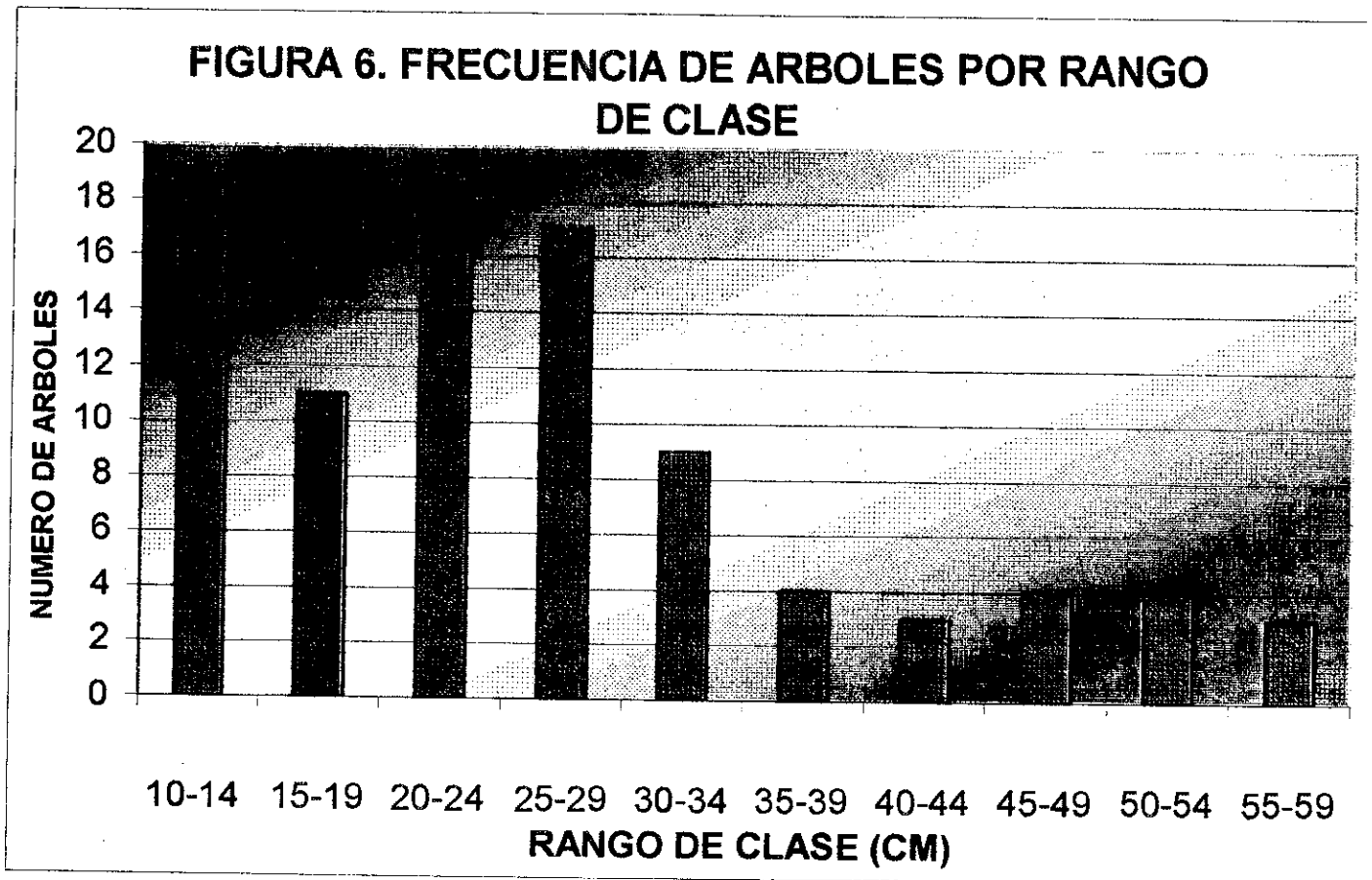
Tabla 1: Datos de los árboles seleccionados para la elaboración de la tabla.

| Numero de árbol | DAP (cm) | Altura (m) | Volumen | Número de árbol | DAP (cm) | Altura (m) | Volumen (m ³) |
|-----------------|----------|------------|----------|-----------------|----------|------------|---------------------------|
| 1 | 17.6 | 8 | 0.166778 | 41 | 14.6 | 6.4 | 0.07271 |
| 2 | 22 | 6.5 | 0.152978 | 42 | 20.3 | 12.7 | 0.220347 |
| 3 | 13.5 | 11.5 | 0.111925 | 43 | 14.6 | 12.5 | 0.100671 |
| 4 | 31.6 | 13 | 0.52618 | 44 | 12.8 | 11.2 | 0.08093 |
| 5 | 14.8 | 8 | 0.074461 | 45 | 28.6 | 17.1 | 0.599182 |
| 6 | 21.5 | 11.5 | 0.222331 | 46 | 21 | 16.3 | 0.296979 |
| 7 | 26.7 | 14.2 | 0.540092 | 47 | 29.1 | 17.5 | 0.653685 |
| 8 | 33 | 13.2 | 0.452779 | 48 | 23 | 16.8 | 0.3951 |
| 9 | 15.9 | 11.2 | 0.17707 | 49 | 29 | 17 | 0.580188 |
| 10 | 18.6 | 13.4 | 0.211478 | 50 | 17.5 | 11 | 0.317086 |
| 11 | 25.6 | 13.6 | 0.437226 | 51 | 12.3 | 9.8 | 0.065199 |
| 12 | 24.8 | 16 | 0.572265 | 52 | 30.2 | 18.2 | 0.687937 |
| 13 | 35.5 | 14.1 | 1.033988 | 53 | 14.1 | 8.4 | 0.086777 |
| 14 | 21.4 | 11.5 | 0.237369 | 54 | 31.2 | 16 | 0.713157 |
| 15 | 42.7 | 16.5 | 1.290676 | 55 | 27.3 | 15.5 | 0.511168 |
| 16 | 50.4 | 16.1 | 2.056092 | 56 | 39.3 | 18.6 | 1.383253 |
| 17 | 45.2 | 16.4 | 1.606909 | 57 | 19.4 | 12.1 | 0.268704 |
| 18 | 33 | 16.7 | 0.927419 | 58 | 13.4 | 10.1 | 0.086877 |
| 19 | 38.7 | 18.3 | 1.166574 | 59 | 26.2 | 16.2 | 0.486556 |
| 20 | 52.7 | 19.2 | 2.894939 | 60 | 11.5 | 9.3 | 0.060754 |
| 21 | 30 | 10 | 0.366719 | 61 | 12.3 | 9 | 0.081927 |
| 22 | 24.8 | 12.7 | 0.342359 | 62 | 35.4 | 14.6 | 0.861184 |
| 23 | 23.5 | 14.2 | 0.379178 | 63 | 25.1 | 18 | 0.499557 |
| 24 | 33.8 | 11.7 | 0.730787 | 64 | 10.7 | 7 | 0.05824 |
| 25 | 51.4 | 14.5 | 2.013318 | 65 | 19.2 | 13.6 | 0.17321 |
| 26 | 27.8 | 12.5 | 0.400822 | 66 | 22.5 | 14 | 0.343408 |
| 27 | 25.8 | 10.6 | 0.36955 | 67 | 11.6 | 14 | 0.091354 |
| 28 | 14.8 | 11.6 | 0.16825 | 68 | 19 | 15 | 0.216519 |
| 29 | 33.2 | 12.1 | 0.716895 | 69 | 27.3 | 15 | 0.539744 |
| 30 | 46 | 14.9 | 1.512349 | 70 | 29.3 | 16 | 0.696856 |
| 31 | 48.6 | 17.8 | 2.125802 | 71 | 28.6 | 18 | 0.656699 |
| 32 | 29 | 11.8 | 0.48115 | 72 | 26.8 | 13 | 0.506518 |
| 33 | 54.3 | 20.2 | 3.101634 | 73 | 34.3 | 13.8 | 0.714662 |
| 34 | 58.1 | 17 | 2.648183 | 74 | 11.4 | 5 | 0.039886 |
| 35 | 29.8 | 16.6 | 0.866173 | 75 | 43.2 | 15.1 | 1.294664 |
| 36 | 24.1 | 11.6 | 0.477453 | 76 | 56.3 | 15.8 | 2.433493 |
| 37 | 22.4 | 9.6 | 0.193655 | 77 | 41.6 | 15.4 | 1.220752 |
| 38 | 22 | 12.4 | 0.405741 | 78 | 58.4 | 17.6 | 3.024018 |
| 39 | 25.5 | 12.5 | 0.333976 | 79 | 47.4 | 16.7 | 1.798009 |
| 40 | 20.6 | 9.4 | 0.214777 | 80 | 53.2 | 14.3 | 2.023875 |

Basados en la Tabla 1, se presentan a continuación las gráficas de dispersión de datos, relacionando las variables de diámetro-altura (Figura 4) y diámetro-volumen (Figura 5)



A continuación se muestra la Figura 6, en la cual se presenta la frecuencia de los individuos utilizados para la Elaboración de la tabla agrupados en clases diamétricas con intervalos de 5 cms.



El análisis estadístico se llevó a cabo por medio del programa computarizado SAS (Statistical Analysis System), al cual se le ingresaron 5 modelos estadísticos diferentes (Tabla 2) que se sometieron al análisis para la elección del modelo a utilizar.

TABLA 2: MODELOS ESTADISTICOS INGRESADOS A SAS

| NUMERO | MODELO | TIPO |
|--------|------------------------|------------|
| 1 | $V = a + bD + cH$ | Lineal |
| 2 | $V = a + b(D^2 * H)$ | Cuadrático |
| 3 | $V = a + b(D^2 * H^2)$ | Cuadrático |
| 4 | $V = a + b(D * H)$ | Cuadrático |
| 5 | $V = a + b(D * H^2)$ | Cuadrático |

Luego del corrimiento de SAS, los resultados obtenidos para cada modelo fueron sometidos a un análisis estadístico para determinar cuál de estos era el que más se ajustaba a las condiciones de la investigación. A continuación, en la Tabla 3 se puede ver el resultado del análisis de los modelos que se llevó a cabo con el programa SAS.

Tabla 3: Resultados del análisis realizado por el programa computarizado SAS.

| NUMERO | MODELO | C.V. | C.M.E. | r^2 | F |
|--------|------------------------|----------|---------|--------|----------|
| 1 | $V = a + bD + cH$ | 34.38093 | 0.06138 | 0.8944 | 325.983 |
| 2 | $V = a + b(D^2 * H)$ | 11.79743 | 0.00723 | 0.9874 | 6113.093 |
| 3 | $V = a + b(D^2 * H^2)$ | 16.80928 | 0.01467 | 0.9744 | 2971.605 |
| 4 | $V = a + b(D * H)$ | 30.64772 | 0.04878 | 0.9150 | 839.372 |
| 5 | $V = a + b(D * H^2)$ | 35.65284 | 0.06601 | 0.8849 | 599.881 |

El modelo utilizado en el presente trabajo fue el número 2. Para la selección del modelo a utilizar se estudiaron los resultados del análisis estadístico siendo escogido el modelo que presentó un menor cuadrado medio del error y un R^2 más cercano a la unidad, siendo 0.00723 y 0.9874, respectivamente.

El modelo escogido fue $V = -0.015644 + 0.000049636 * D^2 * H$.

El modelo seleccionado fue ingresado a una hoja electrónica para la generación de la tabla de volumen de dos entradas, que se presenta a continuación en la tabla 4.

Para la validación de la tabla de volumen se midieron 10 árboles dentro de la misma región y se compararon los datos de volúmenes medidos y estimados. La comparación de estos datos se llevó a cabo por medio de las pruebas de sesgo y de Chi-cuadrado, siendo los valores de éstas -3.05% y 5.01% respectivamente, los cuales fueron comparados con otros valores obtenidos de estas mismas pruebas para otras tablas de volumen. A continuación, en la Tabla 5, se presentan los datos que se utilizaron para la validación.

Tabla 5: Cálculos y datos para la prueba de sesgo y Chi-cuadrado

| Número de árbol | DAP | Altura | Volumen medido | Volumen estimado | $\Sigma(Ve/Vm-1)^2$ |
|-----------------|------|--------|----------------|------------------|-------------------------|
| 1 | 22.0 | 7.0 | 0.152978 | 0.152522 | 8.8853×10^{-6} |
| 2 | 13.5 | 11.5 | 0.111925 | 0.088386 | 0.0442304 |
| 3 | 14.8 | 8.0 | 0.074461 | 0.071334 | 1.7636×10^{-3} |
| 4 | 18.6 | 13.4 | 0.211478 | 0.214461 | 1.9896×10^{-4} |
| 5 | 11.2 | 12.0 | 0.061655 | 0.059072 | 1.7551×10^{-3} |
| 6 | 25.6 | 13.6 | 0.437226 | 0.426756 | 5.7343×10^{-4} |
| 7 | 23.5 | 14.2 | 0.379178 | 0.373599 | 2.1648×10^{-4} |
| 8 | 48.6 | 17.8 | 2.125802 | 2.071196 | 6.5983×10^{-4} |
| 9 | 29.0 | 11.8 | 0.48115 | 0.476933 | 7.6815×10^{-5} |
| 10 | 20.6 | 9.6 | 0.214777 | 0.186565 | 0.017254 |
| Total | | | 4.25063 | 4.120824 | 0.0667375 |
| Promedio | | | 0.425063 | 0.412082 | |

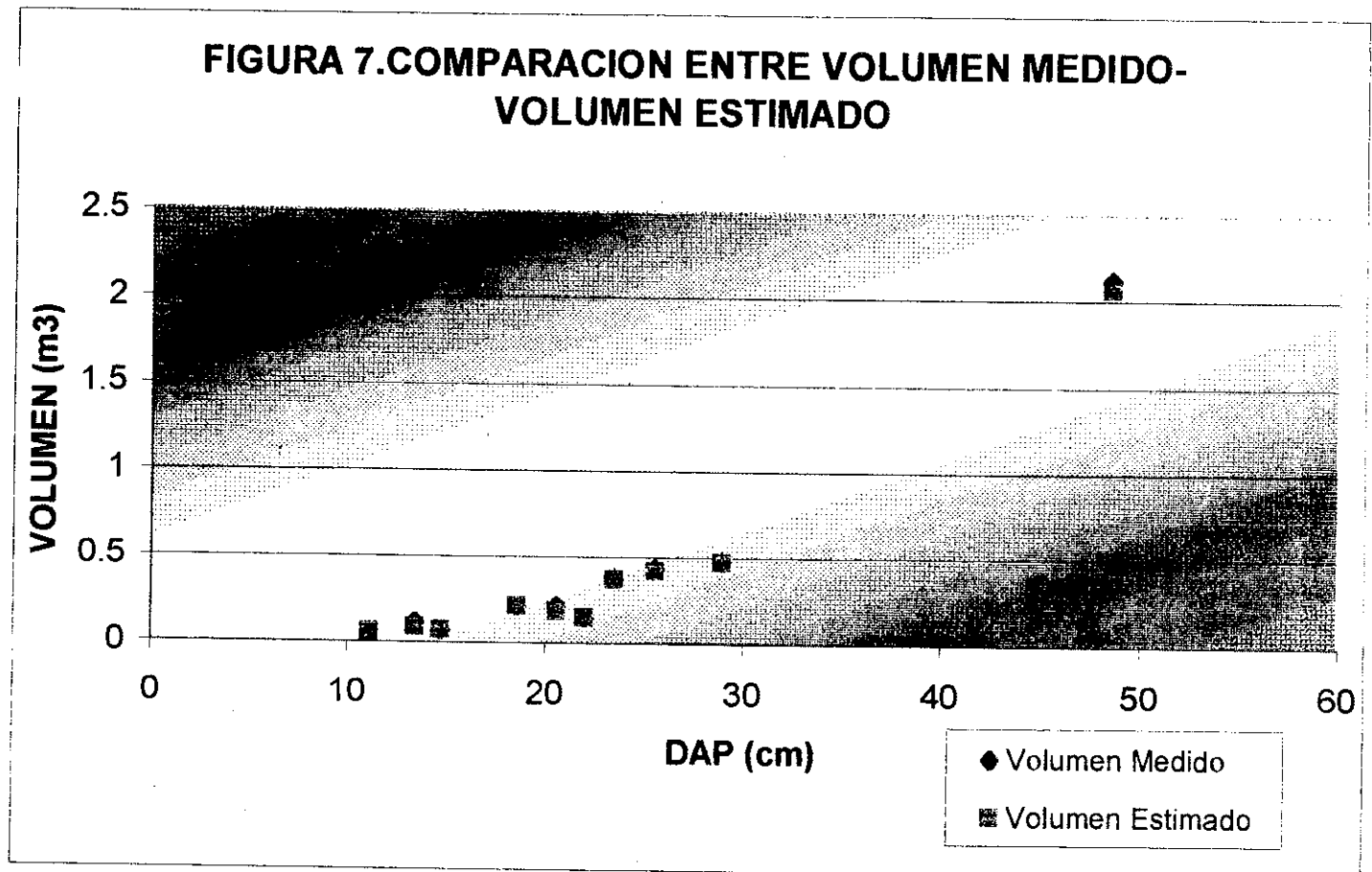
Sesgo:

- 3.05 %

Chi-cuadrado:

5.01 %

De la tabla anterior se despliega la siguiente figura comparativa:



IX. DISCUSION

Para la realización de la tabla, se midió un total de 90 árboles, de los cuales 10 fueron utilizados para la validación de la tabla y 80 para la elaboración de la misma. Se pudo observar que se encontró una mayor cantidad de individuos con clases diamétricas menores a los 25 cm de DAP (Figura 6) lo cual nos indica el mal manejo a que han sido sometidos los bosques de Guatemala, en el que se eliminaron así los árboles maduros de diámetros mayores a los 30 cm de DAP que son los portadores del germoplasma vital para la regeneración natural de la especie. Esto indica que la tabla de volumen (tabla 4) es más exacta para la estimación de los volúmenes menores a los de 40 cm de diámetro.

Con base en las mediciones hechas a los árboles, se puede observar en la figura 4 que el crecimiento en diámetro está relacionado suavemente con la altura, sin embargo el coeficiente de correlatividad (r) que fue de 0.9874 indica la tendencia lineal de la gráfica. Como se observa en la figura 5, la altura y el diámetro son directamente proporcionales al volumen, es decir que al aumentar la altura y el diámetro, crece el volumen.

El modelo estadístico que se seleccionó es del tipo cuadrático, siendo $V = a + b(D^2H)$ debido a que era el modelo que más se ajustaba al fenómeno de estudio, y a que tiene el r cuadrado más cercano a 1 (0.9874), lo que nos indica el alto grado de influencia que tiene las variables independientes (DAP-altura) con respecto a la dependiente (volumen) el cual es de un 98 %. Además, el cuadrado medio del error es el más pequeño entre todos los modelos escogidos (0.00723) e indica que también el modelo describe el fenómeno. El cuadrado medio del error debe ser lo menor posible, ya que indicará la cercanía entre el modelo y el fenómeno de estudio. Los anteriores parámetros fueron los que determinaron qué modelo se ajustaría más.

Para la validación de la tabla se utilizó la prueba de sesgo, con el objeto de encontrar el porcentaje de concordancia entre los valores medidos en el campo y los estimados por la tabla, además de indicar en cuánto la tabla subestima o sobrestima el volumen. La prueba de Chi-cuadrado se usó con el objeto de medir la calidad de la tabla de

acuerdo al grado de correspondencia entre los volúmenes estimados y los medidos. Se hizo ambas pruebas porque hay necesidad de una confirmación ya que un método (Chi-cuadrado) contiene más elementos que la prueba de sesgo. La prueba de sesgo dio como resultado que la tabla subestima el volumen en un 3.05 %, porcentaje que, al compararlo con otras tablas de volumen realizadas que se mencionan en el documento de Oscar Ferreira (1995) como la del proyecto INFONAC (-0.14%), Zona Central (2.6%), FAO (-7.7%) y Reid & Collins (-9.1%), se puede observar que es aceptable.

La prueba de Chi-cuadrado dio como resultado que la tabla tiene exactitud de 5.01 %, porcentaje que, al compararlo con las tablas de INFONAC (10.9%), Zona Central (8.8%), FAO (14.4%) y Reid & Collins (15.3%), es aceptable.

Estos porcentajes indican que la tabla es bastante precisa, ya que para estos trabajos se acepta hasta un 10% en las pruebas de validación (Ferreira, 1995).

La necesidad de realizar las dos pruebas es para confirmar los datos que se están evaluando, es como tener dos opiniones distintas acerca del mismo fenómeno. Se escogió llevar a cabo la prueba de Chi-cuadrado, ya que ésta incluye más elementos que la prueba de sesgo, por lo que cumple con el objetivo de confirmar la certeza de los datos.

Se puede observar que el valor entre el volumen medido y el volumen estimado es exacto y preciso debido a que los puntos se encuentran cercanos entre sí y próximos al valor real (ver tabla 5 y figura 7). Además, se puede observar que no existen grandes diferencias entre los volúmenes medidos y estimados, ya que los valores son casi los mismos y se puede apreciar en la figura 7 que los valores se traslapan demostrando así su cercanía. El error existente en las mediciones se debió a diferentes factores, tales como incertidumbre del equipo de medición, errores del operador, topografía del terreno (el terreno presentaba altos grados de pendientes), follaje de las ramas, etc.

El modelo utilizado para este trabajo se basó en el análisis de los parámetros anteriores y se tuvo como resultado la siguiente ecuación:

$$V = - 0.015644 + 0.000049636 (D^2)(H).$$

Al comparar los valores experimentales obtenidos a través de la tabla de volumen (tabla 4) con el factor de 0.64 utilizado por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) para la obtención del volumen de especies coníferas, se observa que los resultados difieren únicamente por cifras decimales, lo que hace notar la exactitud de la tabla realizada.

La tabla de volumen es una herramienta que simplifica la cuantificación de las masas boscosas, pero es necesario que se cuente con una cantidad de tablas que abarquen todas las especies existentes en Guatemala, además de todas las zonas de vida con las que se cuenta en el país para tener una cuantificación más precisa de los bosques.

Es necesario que los bosques de Guatemala sean cuantificados mediante el uso de herramientas que fueron elaboradas con información obtenida dentro del país para tener una mayor precisión en los datos que se obtengan en el campo.

Mediante el uso de estas tablas, los profesionales del área podrán llevar a cabo la cuantificación de la volumetría de un bosque determinado con una mayor facilidad, y de ésta forma se fomentará la elaboración de planes de manejo, beneficiándose así el sector.

En cuanto a la zona de aplicación de la presente tabla de volumen, se debe tener en cuenta el área que abarca la zona de vida de Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical y no los límites políticos del departamento ni mojones del sitio de toma de datos, ya que la zona de vida abarca más que estos límites.

Es importante que cualquier tipo de información referente al sector forestal de Guatemala se encuentre al alcance de todos los que necesiten hacer uso de ésta y que no se les niegue el acceso a esta información.

Este tipo de trabajo debe ser apoyado por la institución forestal, en coordinación con propietarios de bosque, para que en un futuro se integre toda la información y se tengan tablas de volumen a nivel nacional.

X. CONCLUSIONES

- El objetivo general se cumplió al haber generado la tabla local de doble entrada para la especie Quercus acatenangensis Trel.

- El modelo estadístico que más se ajustó dentro de los cinco ensayados, fue:
 $V = - 0.015644 + 0.000049636 (D^2)(H)$. La precisión de este modelo fue comprobada mediante las pruebas estadísticas coeficiente de variación, cuadrado medio del error, coeficiente de correlatividad y la constante de Fischer.

XI. RECOMENDACIONES

- Fomentar este tipo de trabajos en otros sitios para que en el futuro se integre la información y generar una tabla a nivel nacional.

- Buscar sitios donde existan árboles de diámetros mayores y obtener una tabla con mayor representatividad.

- Probar con una mayor cantidad de modelos estadísticos y encontrar el modelo más exacto posible.

- Utilizar esta tabla para diámetros menores a 40 cm., ya que de lo contrario puede haber sesgos en los resultados.

XII. LITERATURA CITADA

1. Camacho, M.P.; Murillo, G.O. 1986. Algunos resultados preliminares de la epidemiología del Jaul: *Alnus acuminata* (HBK) O. Kuntze. Cartago, C.R., Instituto Tecnológico de Costa Rica, Facultad de ingeniería Forestal. 110 pp.
2. Cruz S., J.R. De La. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 pp.
3. FAO. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; Estimación del Volumen. FAO. Roma. vol 1 y 2. 92 pp.
4. FAO. 1974. Manual de Inventario Forestal con especial referencia a los bosques tropicales. FAO. Roma. 111 pp.
5. Ferreira, O. 1995. Validación de Tablas de volumen.
6. Fresse, F. 1967. Métodos estadísticos elementales para técnicas forestales. Manual de agricultura 317. Publicidad litográfica. México. 104 pp.
7. Guatemala. Instituto Geográfico Militar. 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. Tomo 1. pp 275-290.
8. Hoel, P. 1988. Estadística elemental. CECSA. México. 388 pp.
9. Holdrige, L.R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Humberto Jiménez Saa. San José, C.R., IICA. 216 pp.

10. Jiménez, P. 1988. Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de Volumen. Reporte Científico Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 43 pp.
11. Lemus Arana, R. A. 1997. Elaboración de tablas de Volumen de Pinus maximinoi H.E. MOORE, en los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 59 pp.
12. Levin, R. 1988. Estadística para Administradores. Prentice-Hall Hispanoamérica. Traducido de la 4a. ed. en inglés de Statistics for Management. México. 940 pp.
13. Loetsch. Zohrer. Haller. 1973. Forest Inventory. Vol II. Editorial BLV. Munchen, Alemania. 469 pp.
14. Morales, R. 1987. Distribución Ecológica, Identificación y Manejo Silvicultural de las Especies del Género Quercus en Guatemala. Trabajo preparado para Curso Regional Manejo de Vegetación Secundaria Antigua Guatemala, 3-7 Agosto. USAC. Centro Universitario del Nor Occidente. 20 pp.
15. Ramírez Anleu, C. E. 1996. Elaboración de tablas de Volumen local para tres especies forestales latifoliadas con alto valor comercial. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 90 pp.
16. Standley, P; Steyermark, J. 1952. Flora of Guatemala. Volume #24, Part III. Chicago Natural History Museum. U.S.A. 432 pp.

VII ANEXOS

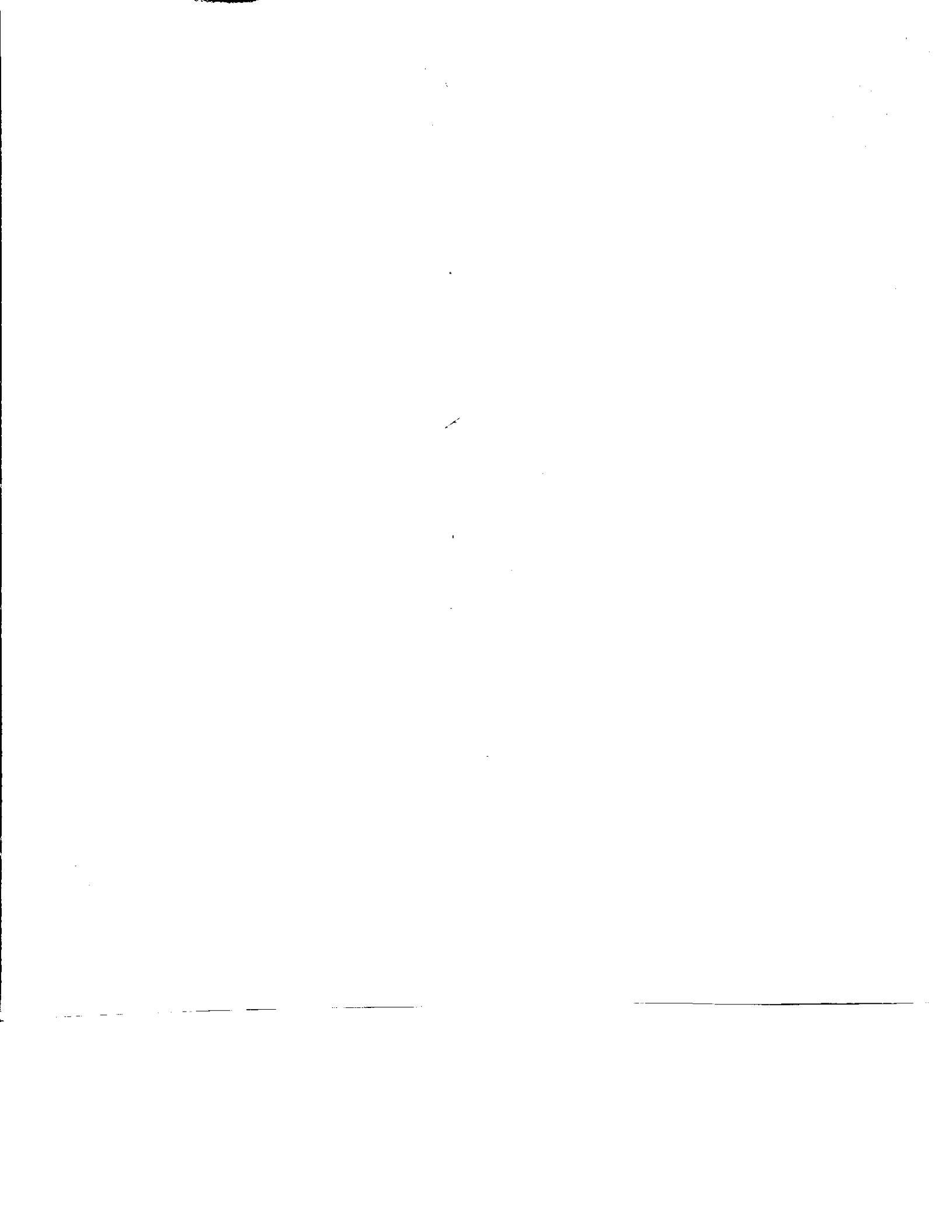
Model: MODEL1
 Dependent Variable: VCC

Analysis of Variance

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|----------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 2 | 40.02029 | 20.01014 | 325.983 | 0.0001 |
| Error | 77 | 4.72658 | 0.06138 | | |
| C Total | 79 | 44.74686 | | | |
| Root MSE | | 0.24776 | R-square | 0.8944 | |
| Dep Mean | | 0.72063 | Adj R-sq | 0.8916 | |
| C.V. | | 34.38093 | | | |

Parameter Estimates

| Variable | DF | Parameter Estimate | Standard Error | T for H0: Parameter=0 | Prob > T |
|----------|----|--------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| INTERCEP | 1 | -0.929893 | 0.11855866 | -7.843 | 0.0001 |
| D | 1 | 0.055643 | 0.00297031 | 18.733 | 0.0001 |
| H | 1 | 0.004781 | 0.01126760 | 0.424 | 0.6725 |



Model: MODEL1
 Dependent Variable: VCC

Analysis of Variance

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|----------|----|----------------|-------------|----------|--------|
| Model | 1 | 44.18311 | 44.18311 | 6113.093 | 0.0001 |
| Error | 78 | 0.56375 | 0.00723 | | |
| C Total | 79 | 44.74686 | | | |
| Root MSE | | 0.08502 | R-square | 0.9874 | |
| Dep Mean | | 0.72063 | Adj R-sq | 0.9872 | |
| C.V. | | 11.79743 | | | |

Parameter Estimates

| Variable | DF | Parameter Estimate | Standard Error | T for H0: Parameter=0 | Prob > T |
|----------|----|--------------------|----------------|--------------------------|-----------|
| INTERCEP | 1 | -0.015644 | 0.01337994 | -1.169 | 0.2459 |
| D2H | 1 | 0.000049636 | 0.00000063 | 78.186 | 0.0001 |



Model: MODEL1
 Dependent Variable: VCC

Analysis of Variance

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|----------|----|----------------|-------------|----------|--------|
| Model | 1 | 43.60237 | 43.60237 | 2971.605 | 0.0001 |
| Error | 78 | 1.14449 | 0.01467 | | |
| C Total | 79 | 44.74686 | | | |
| Root MSE | | 0.12113 | R-square | 0.9744 | |
| Dep Mean | | 0.72063 | Adj R-sq | 0.9741 | |
| C.V. | | 16.80928 | | | |

Parameter Estimates

| Variable | DF | Parameter Estimate | Standard Error | T for H0: Parameter=0 | Prob > T |
|----------|----|--------------------|----------------|--------------------------|-----------|
| INTERCEP | 1 | 0.076907 | 0.01796823 | 4.280 | 0.0001 |
| D2H2 | 1 | 0.000002748 | 0.00000005 | 54.512 | 0.0001 |



Model: MODEL1
 Dependent Variable: VCC

Analysis of Variance

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|----------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 1 | 40.94224 | 40.94224 | 839.372 | 0.0001 |
| Error | 78 | 3.80462 | 0.04878 | | |
| C Total | 79 | 44.74686 | | | |
| Root MSE | | 0.22086 | R-square | 0.9150 | |
| Dep Mean | | 0.72063 | Adj R-sq | 0.9139 | |
| C.V. | | 30.64772 | | | |

Parameter Estimates

| Variable | DF | Parameter Estimate | Standard Error | T for H0: Parameter=0 | Prob > T |
|----------|----|--------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| INTERCEP | 1 | -0.465742 | 0.04781767 | -9.740 | 0.0001 |
| DH | 1 | 0.002862 | 0.00009880 | 28.972 | 0.0001 |



Model: MODEL1
 Dependent Variable: VCC

Analysis of Variance

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|----------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 1 | 39.59809 | 39.59809 | 599.881 | 0.0001 |
| Error | 78 | 5.14877 | 0.06601 | | |
| C Total | 79 | 44.74686 | | | |
| Root MSE | | 0.25692 | R-square | 0.8849 | |
| Dep Mean | | 0.72063 | Adj R-sq | 0.8835 | |
| C.V. | | 35.65284 | | | |

Parameter Estimates

| Variable | DF | Parameter Estimate | Standard Error | T for H0: Parameter=0 | Prob > T |
|----------|----|--------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| INTERCEP | 1 | -0.201138 | 0.04734433 | -4.248 | 0.0001 |
| DH2 | 1 | 0.000147 | 0.00000598 | 24.492 | 0.0001 |