

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

**ELABORACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN PARA HUIE (*Quercus sapotaefolia* Liebm)
DENTRO DE LA ZONA DE VIDA BOSQUE MUY HUMEDO SUB-TROPICAL FRÍO, EN EL
DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ**

HECTOR ADILIO NUFIO REYES

Guatemala, octubre del 2002

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

**ELABORACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN PARA HUIE (Quercus sapotaefolia Liebm)
DENTRO DE LA ZONA DE VIDA BOSQUE MUY HUMEDO SUB-TROPICAL FRÍO, EN EL
DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ**

TESIS

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

**POR
HECTOR ADILIO NUFIO REYES**

**En el acto de Investidura como
INGENIERO AGRONO
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO**

Guatemala, octubre del 2002

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V.. LUIS ALFONZO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortíz
VOCAL CUARTO	Br. Wener Armando Ochoa Orozco
VOCAL QUINTO	Br. Axel Aureliano Herrera Pérez
SECRETARIO	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, octubre del 2002

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

Distinguidos miembros:

En cumplimiento con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**ELABORACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN PARA HUIITE (Quercus sapotaefolia Liebm)
DENTRO DE LA ZONA DE VIDA BOSQUE MUY HUMEDO SUB-TROPICAL FRÍO, EN EL
DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ**

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

En espera de su aprobación, presento mi agradecimiento y respeto.

Atentamente,

Héctor Adilio Nufio Reyes

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por guiarme y permitirme dar este paso

MIS PADRES: Guillermo Nufio Madrid (†)
Lucía Reyes Payes viuda de Nufio
Por sus esfuerzos en mi formación.

MIS HERMANOS: José Guillermo, Mario Roberto, Francisca Victoria, Mary Luz, Flor Marina, Lilian Beatriz y especialmente a Waldemar y Baltazar, por su apoyo incondicional.

MI ESPOSA: Reina Isabel Reyes Córdova de Nufio, por su amor y apoyo en todo momento.

MIS HIJOS: Flor de Lucía y Héctor Guillermo

MIS SUEGROS: Leandro Reyes
Graciela Córdova

MIS CUÑADOS: Job, Rony, Kary, Lety, Areli, Ramiro, Carlos, Omar y Geovanni.

MIS AMIGOS: Edwin Estuardo, Carlos Ernesto, Roberto Waldemar, Milton Goevanny, Carlos, Julio Geovany, Vinicio, Esteban, Israel, Elva, Carlos, Edgar Antonio, Marvin Aníbal, Mario Agustín, Fernando, Franz Roberto, Luis Francisco, Vidalia Dineth, Mauricio, Nery, Rosito, Gerónimo, Hermelindo, Elvín, Aníbal, Otto Waldemar, Roberto Ulises, Isauro, José Alberto, Gerardo, José Oswaldo, Lionel Caín, Modesto, entre otros; con quienes he compartido momentos muy memorables.

TESIS QUE DEDICO

A:

Mis Padres

Mis Hermanos y Hermanas

Mi Familia

Compañeros de Trabajo y Amigos

Guatemala

Escuela Nacional Central de Agricultura, especialmente a mis catedráticos del
Area Forestal

Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

AGRADECIMIENTO

A:

Mis Asesores: Ing. Agr. José Miguel Leiva y especialmente al Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes, por su confianza, asesoría y tiempo dedicado para la realización del presente trabajo

David Mendieta, por su colaboración en la identificación de la especie objeto de estudio.

Señor Arnulfo Córdova Tejeda y Erwin Córdova, por permitirme realizar el estudio en fincas de su propiedad, apoyo y colaboración prestada en desarrollo de la fase de campo.

Ing. Agr. Giovanni Reyes y Gerónimo Irungaray, por su apoyo en la compilación de los mapas que en este trabajo se incluyen.

CONTENIDO GENERAL

Titulo	Página
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Marco Conceptual	3
3.1.1. La Tabla de Volumen	3
3.1.1.1. Definición de Tablas de Volumen	3
3.1.1.2. Clasificación de Tablas de Volumen	4
3.1.1.3. Selección de las Entradas de una Tabla de Volumen	5
3.1.1.4. Selección de la Muestra para Construir una Tabla	5
3.1.1.5. Métodos Utilizados para la Elaboración de Tablas de Volumen	7
3.1.1.5.1. Método Gráfico	7
3.1.1.5.2. Método Analítico	7
3.1.1.5.3. Método Estadístico	8
3.1.1.5.3.1. Modelos Matemáticos	8
3.1.2. Análisis de Calidad de Ajuste	8
3.1.2.1. Análisis de Varianza	9
3.1.3. Elección del Modelo de Regresión	9
3.1.3.1. Simplicidad del Modelo.....	9
3.1.3.2. Coeficiente de Determinación (r^2)	10

3.1.3.3. Prueba de "F"	10
3.1.3.4. Prueba de "T"	11
3.1.3.5. Prueba de Chi Cuadrado	11
3.1.3.6. Prueba de Durbin-Watson	12
3.1.3.7. Prueba de Sesgo (Diferencia Agregada)	12
3.1.3.8. Desviación media (%)	13
3.1.3.9. Error o Desviación Estándar de la Estimación (Sxy)	13
3.1.3.9.1. Desviación Estándar como Porcentaje (sxy %)	14
3.1.3.10. Índice o Coeficiente de Furnival (C.F.)	14
3.1.4. Validación de las Tablas de Volumen.....	15
3.2. Marco Referencial	17
3.2.1. Antecedentes	17
3.2.2. Género Quercus	18
3.2.2.1. Usos más Comunes del Género Quercus	21
3.2.3. Determinación del Volumen por Árbol	22
3.2.4. Descripción de la Especie	24
3.2.5. Descripción de la Zona de Vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) bmh-S (f)	25
3.2.5.1. Localización y Extensión en el Departamento de Baja Verapaz	25
3.2.5.2. Condiciones Climáticas	25
3.2.5.3. Topografía y Vegetación	26
3.2.5.4. Consideraciones Generales sobre su Uso Apropriado	26
4. OBJETIVOS	28
4.1. Objetivo General	28
4.2. Objetivos Específicos	28

5. METODLOGIA	29
5.1. Muestreo e identificación de la especie	29
5.1.1. Ubicación del Area de Muestreo	29
5.1.2. Criterios para La Elección del Area de Muestreo	30
5.1.3. Distribución de la Muestra	31
5.1.4. Tamaño de la Muestra	31
5.1.5. Determinación de la Especie	32
5.2. Determinación de las Relaciones entre las Variables Diámetro, Altura y Volumen	32
5.2.1. Muestreo	32
5.2.2. Cubicación	33
5.2.2.1. Selección de la Formula para la Cubicación	33
5.2.2.2. Proceso de Cubicación	33
5.3. Evaluación y Comparación de Diferentes Modelos Matemáticos	34
5.3.1. Modelos Matemáticos	35
5.3.2. Discriminación de Variables en los Modelos	36
5.4. Selección de Modelos y Ecuaciones	36
5.5. Elaboración de Tablas de Volumen	36
5.6. Validación de Tablas de Volumen	36
5.6.1. Calculo de la Exactitud	36
5.6.1.1. Prueba de Sesgo (Desviación agregada)	37
5.6.1.2. Error o Desviación Estándar de la Estimación (Sxy)	37
5.6.1.3. Desviación Estándar como Porcentaje (sxy %)	38
5.6.1.4. Desviación Media (%)	38
5.6.1.5. Despliegue de tablas de volumen	38

5.7. Productos en porcentaje	38
6. RESULTADOS	39
6.1. Muestra	39
6.2. Determinación de Volumen	39
6.3. Relaciones entre diámetro, altura y volumen de Huite (<i>Quercus sapotaefolia Liebm</i>).....	39
6.4. Selección de modelos matemáticos que expresen la mejor relación entre las variables..	41
6.4.1. Discriminación de variables independientes y modelos	41
6.4.2. Modelos y ecuaciones que presentaron mejor calidad de ajuste	41
6.5. Validación de Tablas de Volumen con Pruebas de exactitud	43
6.5.1. Tablas de Volumen validadas con pruebas de exactitud	45
6.6. Productos en porcentaje	49
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES	51
9. BIBLIOGRAFIA	52
10. APÉNDICE	56

INDICE DE CUADROS

No.	Titulo	Página
1.	Análisis de varianza para un modelo de regresión múltiple	9
2.	Identificación, Localización, propiedad y Area de sitios de Muestreo	30
3.	Número de Arboles medidos por finca	31
4.	Distribución de Arboles por clase diamétrica	31
5.	Clasificación Botánica del Huite (<i>Quercus sapotaefolia Liebm</i>)	32
6.	Unidades de medida utilizadas en los parámetro evaluados	34
7.	Modelos matemáticos utilizados en el proceso de regresión	35
8.	Mejores modelos y ecuaciones con intercepto para la estimación de volúmenes de fuste, tunca, leña rolliza y total	41
9.	Mejores modelos y ecuaciones sin intercepto para la estimación de volúmenes del fuste, tunca, leña rolliza y total	42
10.	Modelos con y sin intercepto preseleccionados	43
11.	Modelos y ecuaciones por tipo de productos seleccionados para la construcción de tablas de volumen	44
12.	Tabla de volumen del fuste con corteza en metros cúbicos para árboles individuales de <i>Quercus sapotaefolia Liebm</i> , en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	45
13.	Tabla de volumen de Tunca con corteza en metros cúbicos para árboles individuales de <i>Quercus sapotaefolia Liebm</i> , en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	46

14.	Tabla de volumen de Leña Rolliza con corteza en metros cúbicos para árboles individuales de <i>Quercus sapotaefolia Liebm</i> , en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	47
15.	Tabla de volumen Total con corteza en metros cúbicos para árboles Individuales de <i>Quercus sapotaefolia Liebm</i> , en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	48
16.	Porcentaje de productos por DAP.	49
17.	Boleta de Campo	57
18.	Determinación del Volumen Real	58
19.	Resumen de árboles medidos	59
20.	Resumen de Datos Obtenidos con SAS para Modelos con Intercepto.....	60
21.	Resumen de Datos Obtenidos con SAS para Modelos sin Intercepto.....	61

INDICE DE FIGURAS

	Titulo	Página
1	<i>Quercus sapotaefolia</i> Liebm, Vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío)	24
2	Zonas de Vida Existentes en el departamento de Baja Verapaz	27
3	Ubicación de sitios de muestreo en la zona de vida bmh-S (f), Baja Verapaz.	27
4	Figura 4. Fuste, Tunca o Leña Rolliza de 45 cm. de Longitud	33
5	Distribución de volumen total (Real) de <i>Quercus sapotaefolia</i> Liebm, en función del DAP (Diámetro a la altura del pecho) en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	39
6	Distribución de volumen total (Real) de <i>Quercus sapotaefolia</i> Liebm, en función de la altura, en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	40
7	Distribución de volumen del fuste, tunca, leña rolliza y total (Estimado con los modelos y ecuaciones elegidos para generar las respectivas tablas de volumen) de <i>Quercus sapotaefolia</i> Liebm, en función del DAP., en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz	44

Elaboración de tablas de volumen para huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Sub-tropical Frío, en el departamento de Baja Verapaz, Guatemala.

Elaboration of volume tables for huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), in the subtropical very moist cold forest zone of life, in Baja Verapaz deparment, Guatemala.

RESUMEN

El recurso bosque ha sido disminuido con el paso del tiempo, tanto a nivel mundial, nacional y hasta el nivel del departamento de Baja Verapaz; para poder detener este proceso se ha desarrollado la silvicultura; por lo que técnicos, silvicultores, ecologistas, políticos e instituciones, han creado políticas y programas a todo nivel realizando aportes muy valiosos; pero insuficientes para detener la pérdida cobertura forestal. Dentro de las principales políticas esta el manejo de bosques naturales, desafortunadamente como en el presente caso, no existen suficientes estudios para la gran diversidad de especies con la que se cuenta en esta región. El *Quercus sapotaefolia Liebm* es una especie de abundancia en bosques mixtos y latifoliados que se usa como madera, durmientes, postes, leña y carbón de alta calidad; por lo que con la intención de facilitar una herramienta útil para la estimación de sus volúmenes tanto de fuste, tunca, leña rolliza y total; así como una mejor planificación de su manejo, se elabora las tablas de volúmenes para estimar los referidos productos.

Estas tablas de volumen permiten estimar el volumen de fuste, tunca, leña rolliza y total, partiendo de las relaciones entre volumen, diámetro y altura. Por lo que será suficiente conocer el DAP. (diámetro a la altura del pecho) y la altura total del árbol para estimar el volumen total o por cada tipo de productos.

1. INTRODUCCION

En general se puede decir que tanto a nivel nacional como mundial no existen estudios suficientes para estimar el volumen de especies del genero *Quercus*, realmente son pocos, aún si los comparamos con los estudios elaborados para las especies del genero *Pinus*;

Considerando que el 34.4 % del territorio nacional posee cobertura forestal, de esta 6.1 % de bosque de coníferas, 0.5 % de manglares, 3.4 % de bosque mixto y un 80.5 % bosques de latifoliadas, se puede deducir que los *Quercus* y específicamente Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), ocupa buena parte del 3.4 % del bosque mixto y una pequeña parte del 80.5 % del bosque de latifoliadas; por lo que se convierte en una especie de interés.

En el mercado se ha visto, como la utilización de madera de genero *Quercus* se hace cada vez más interesante, por ejemplo se hacen durmientes, tarimas, muebles y especial la demanda de leña y carbón que tiene mejores precios que cualquier otra especie en Guatemala.

Los productos que se pueden obtener del aprovechamiento de madera de Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), son: madera aserrada de fustes rectos y sin nudos, carbón de fustes torcidos y con nudos, leña rajada o tunca de sus ramas más gruesas y leña rolliza de las ramas secundarias; por lo que se generó ecuaciones y tablas de volumen del fuste, tunca, leña rolliza y volumen total en el presente documento.

Finalmente consideró que este tipo de investigación le dan al técnico y al silvicultor una herramienta útil en la planificación del manejo de bosques donde se encuentre presente el Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La elaboración de planes de manejo forestal y la ejecución de las actividades forestales, a menudo es deficiente, debido a que no se cuenta con las herramientas básicas que permitan estimar con exactitud el volumen y, menos el volumen por tipo de producto de especies latifoliadas incluyendo en estas al Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), que también tiene presencia en bosques mixtos.

Debido a la carencia de tablas de volumen y ecuaciones para la estimación de volumen por especies y tipo de producto para las especies del género *Quercus*, muchas veces se recurre a métodos de estimación que no han sido desarrollados específicamente para la especie.

Estimar el volumen de árboles individuales y con esto volúmenes de los rodales, es uno de los problemas mas grandes a resolver para plantear un adecuado manejo y, que éste responda a las necesidades de manejo del rodal o finca. Este es el caso de *Huite (Quercus sapotaefolia Liebm)*, por lo que es importante la generación de ecuaciones y tablas de volumen para apoyar a técnicos y silvicultores en el proceso de estimación de volúmenes, planificación y manejo del recurso bosque.

3. MARCO TEORICO

3.1. Marco Conceptual

3.1.1. La Tabla de Volumen

3.1.1.1. Definición de Tablas de Volumen

- A. Estas tablas se fundamentan en el principio de que los 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 (10).
- B. Una tabla de volumen se define como una tabulación, en la cual el diámetro a 1.3 m. (diámetro a la altura del pecho) y la altura, son las variables principales para determinar el volumen de un árbol (7).
- C. 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 (7).
- D. Las ecuaciones y tablas de cubicación permiten estimar los volúmenes en pie de las especies forestales en función de un número reducido de parámetros ostensibles con facilidad y economía en los árboles en pie. Son por ello una herramienta imprescindible en las técnicas actuales de inventariación forestal (3).
- E. 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 (18).

- F. Una tabla de volumen se define como una tabulación, en la cual el diámetro a 1.30 (DAP) y la altura, son las variables principales para determinar el volumen de un árbol (10).
- G. 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 puede ser una ecuación o fórmula o bien una relación obtenida por métodos gráficos, que en general reciben el nombre de Tablas de Volumen (7).
- H. Las tablas de volumen se construyen con el fin de cubicar rápidamente los árboles a base de las medidas que se toman en el terreno; pudiendo ser únicamente el diámetro, diámetro y altura o diámetro, altura y un factor de forma (21).
- I. El volumen por árbol se puede expresar en metros cúbicos, pies cúbicos, pies tablares, etc. Las tablas deben dar siempre volumen para árboles normales (sanos), lo que implica la realización de reducción necesaria por defecto en los arboles (25).

3.1.1.2. Clasificación de las Tablas de Volumen

Las tablas de volumen pueden ser de tres tipos:

- A. Tablas de volumen local o tablas de simple entrada: aquellas que utilizan únicamente el DAP, como variable independiente.
- B. Tablas de volumen general o tablas de doble entrada: aquellas que utilizan DAP y altura como variables independientes.
- C. Tablas de volumen con clase de forma: es una tabla de volumen general con la forma del árbol incorporada como variable (9).

3.1.1.3. Selección de las Entradas de una Tabla de Volumen

- A. Poco numerosas y fáciles de medir para que la tabla tenga una amplia gama de aplicación sea fácil de utilizar.
- B. Fuertemente correlacionadas con el volumen.
- C. Débilmente correlacionas entre sí, para que el poder explicativo de una variable persista cuando las otras se introduzcan al modelo (6).

3.1.1.4. Selección de la Muestra para Construir una Tabla

Para un rodal mono específico y homogéneo se puede considerar que se necesita de 50 a 100 árboles para tablas de una sola entrada y entre 80 y 150 para tablas de dos entradas (7).

La muestra de árboles que sirva de base para construir una tabla debe ser representativa de la población, para lo cual lo aconsejable es su selección al azar. El tamaño de la muestra o número de árboles a medir, depende básicamente del error que se considere aceptable en la tabla, a mayor número de árboles muestras, menor error en la estimación y viceversa. Sin embargo, una guía práctica para determinar el número de árboles es medir un mínimo de 10 árboles por clase diamétrica de 5 cm. (22).

El número de árboles no es el único criterio a considerar; es necesario escoger los rodales de donde se extraen los árboles y dentro de los rodales seleccionar los árboles de muestra (6). A continuación unas recomendaciones:

- A. Dividir la región para la cual se va a establecer la tabla en compartimentos homogéneos, considerando las condiciones del lugar, los tratamientos silviculturales, etc. (7).
- B. Dividir los compartimentos en clases diamétricas, según la siguiente regla:
 - a. En un compartimento, debe tomar el mismo número de árboles de muestra en cada clase de área basal (7).
 - b. 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 se divide en 10 clases iguales (7).
- C. En cada una de esas clases se tomará una muestra de unos 10 árboles, de acuerdo al diseño de muestreo que cubra toda el área. (7).
- D. No existe una regla para determinar el número de clase, solo se pueden dar algunas guías generales; por ejemplo que el número de clases deben estar entre 5 y 20 (9).

Mediante el empleo de tablas de cubicación, se pueden deducir los volúmenes en función de los diámetros y las alturas. El empleo de tablas para el uso general puede producir sesgo en los resultados al aplicarse a poblaciones distintas de las que sirvieron para calcular la tabla (6).

3.1.1.5. Métodos Utilizados para la Elaboración de Tablas de Volumen

3.1.1.5.1. Método Gráfico

El método gráfico es el más antiguo y requiere de pocos conocimientos matemáticos. La técnica consiste en una distribución adecuada de las observaciones en las diferentes clases diamétricas y de altura. Obteniendo como resultado una serie de curvas que representan el volumen en función del diámetro para diferentes clases de altura. La elaboración del método gráfico es el trazo de una línea, recta o curva, que a nuestro juicio sea la más aproximada a la tendencia de los puntos que representen los datos de volumen y diámetro. La desventaja en este tipo de método estriba en no poder calcular el error medio. Además, no reproduce una información exacta sobre la recabada, debido a que puede variar el volumen de los árboles en pie con sus valores correspondientes en la tabla de volumen (18).

3.1.1.5.2. Método Analítico

Se caracteriza por utilizar el método de los mínimos cuadrados en la estimación de los coeficientes de regresión. La ventaja radica en permitir el cálculo del error en la estimación, es decir, evalúa la bondad de ajuste de cualquier recta o curva, cuya ecuación sea conocida, a un conjunto de observaciones. Con la ayuda del método de los cuadrados mínimos se busca el mejor ajuste de una función a las observaciones mediante el cálculo de regresión. La meta de la regresión es obtener la relación cuantitativa entre la variable dependiente y la(s) variable(s) independiente(s) (regresión múltiple). El volumen o el coeficiente mórfico de un árbol (variable dependiente) se estiman de las variables independientes diámetro a 1.3 m. y altura total (18).

3.1.1.5.3. Método Estadístico

En el método estadístico se utiliza el Análisis de Regresión, siendo el método más utilizado, pues con el desarrollo de las computadoras ha disminuido el inconveniente de los cálculos (7).

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 conocen los valores de las variables asociadas. La técnica para lograr estos dos objetivos se conoce como método de regresión (18).

3.1.1.5.3.1. Modelos Matemáticos

El volumen de árboles en pie puede estimarse en forma exacta, 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). El resultado final se presenta en la forma tabular o modelo matemático (18).

3.1.2. Análisis de Calidad de Ajuste

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 (22).

$$a = (n_{\phi} XY - (\phi X)(\phi Y)) / ((n_{\phi} X^2 - (\phi X)^2)$$

$$b = (\phi Y - a_{\phi} X) / n$$

3.1.2.1. Análisis de Varianza

El procedimiento de análisis de varianza trata de eliminar la variación de una respuesta y de asignar porciones de ésta, a cada variable de un conjunto de variables independientes (9).

La calidad del ajuste se puede medir mediante un análisis de varianza de la regresión. Los parámetros estadísticos utilizados para el efecto se encuentran resumidos en el cuadro 1 (13).

Cuadro 1. Análisis de Varianza para un Modelo de Regresión Múltiple

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F
Regresión	K	$\xi_{b_i x_i y}$	S. C. Reg / k	C.M.Reg/C.M.Error
Error	n-1-k	S.C. total – S.C. Reg	S.C.Error / (n-k-1)	
Total	n-1	$\xi_{y_i}^2 - (\xi Y_i)^2 / n$		

Fuente: Hoel, 1988 (13).

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 (18).

3.1.3. Elección del Modelo de Regresión

A continuación algunos puntos importantes a considerar:

3.1.3.1. 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 el volumen en función de las entradas (7).

3.1.3.2. Coeficiente de Determinación r^2 (%)

Indica el porcentaje de variación en “Y” debido a su asociación con “X”. Su valor se obtiene

simplemente elevando el coeficiente de correlación “r” al cuadrado y multiplicado por 100.

En el análisis de varianza el coeficiente de determinación es calculada por: (13).

$$\text{Coeficiente de Determinación } (r^2) = (\xi_{XY})^2 / \xi_{X^2Y^2}$$

Una hipótesis estadística es un supuesto referente a algún parámetro. Para determinar si la regresión es precisa y expresa la relación entre las variables, debe formularse la hipótesis de que no hay correlación entre las dos variables y que la aparente relación se debe simplemente a la casualidad, esta recibe el nombre de hipótesis nula (H_0).=0). Si esta hipótesis fuese verdadera (H_a no es igual a cero) (9).

El coeficiente de determinación tiene una amplitud de 0 a 100 %, esta amplitud permite concluir que tan bueno es el ajuste. La diferencia de $100\% - r^2$, es una buena medida del error

expresado en porcentaje que se cometió al ajustar los valores muestrales al modelo en cuestión.

3.1.3.3. Prueba de “F”

La distribución muestral teórica, denominada Distribución de “F”, permite realizar pruebas estadísticas acerca de la diferencia entre dos varianzas, así también permite investigar sobre las diferencias entre las medias de un grupo de muestra. En el análisis de varianza, cuando la “F calculada” es mayor que la “F tabular”, la regresión se acepta cómo significativa (13).

$$F \text{ Calculada} = \text{Varianza de la Regresión} / \text{Varianza Residual}$$

3.1.3.4. Prueba de “T”

Aplicando la prueba de “t” se evalúan las posibilidades de que dos medias son significativamente diferentes (13).

$$S_{xy} = \sqrt{\sum (y_{ei} - Y_i)^2 / (n - 1)}$$

De donde:

Y_i = Valores estimados

Y_{ei} = Valores reales

n = número de datos

Sxy = Error o desviación estándar de la estimación.

3.1.3.5. Prueba de Chi Cuadrado

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 medios (9).

$$E \% = \sqrt{\left[\frac{(z^2) * \xi(Ve / Vm- 1)^2)}{Chi} \right]} * 100$$

Donde:

E% = Exactitud en porcentaje

Z = Valor "Z" para un nivel de significancia de 5%

Ve = Volumen estimado (promedio)

Vm = Volumen medido (promedio)

Chi = Valor de Chi-cuadrado

3.1.3.6. Prueba de Durbin-Watson

Durbin y Watson establecieron valores estadísticos que pueden describir si existe o no independencia entre los errores aportados por las variables independientes y si estos errores están o no correlacionados entre sí (9).

Cuando el Valor "D" tiende a ser muy pequeño o cero es por que existe una casi perfecta o positiva correlación entre los errores aportados por las variables independientes del modelo. Si el valor tiende a ser dos es por que existe una total independencia de errores aportados por las

variables independientes. Y finalmente cuando el valor tiende a ser cercano a cuatro es por que las variables están correlacionadas negativamente (9).

La prueba de “t” no es apropiada y no debería de ser usada. La prueba de chi cuadrado es más apropiada que la prueba de “t”, porque mide el sesgo pero no toma en cuenta si el desvío es positivo o negativo; así también se utiliza la Prueba de Durbin-Watson , se consideran más apropiadas la prueba de Sesgo o diferencia agregada, Desviación Media, Error o desviación estándar de la estimación y Desviación Estándar como Porcentaje (20).

3.1.3.7. Prueba de Sesgo (Diferencia agregada)

Mide la concordancia general entre los valores medios y los valores estimados por la tabla de volumen y expresa la diferencia entre la suma del volumen medio y el volumen estimado como un porcentaje de la suma del volumen medio. El sesgo también indica en que porcentaje la tabla sobrestima o subestima el volumen (20).

$$S\% = ((\xi_{VR} - \xi_{VE}) / \xi_{VE}) * 100$$

Donde:

S% Sesgo en porcentaje

ξ_{VR} = Suma de volumen promedio medio

ξ_{VE} = Suma de volumen estimado por tabla de volumen

3.1.3.8. Desviación Media (%)

Se define como el cociente de la sumatoria de la diferencia entre 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 % (20).

$$\text{Desviación Media (\%)} = (\sum(VR - VE) / VE) / n * 100$$

Donde:

VR = Volumen real en m³

VE = Volumen estimado en m³

n = Número de árboles muestra

3.1.3.9. Error o Desviación Estándar de la Estimación (Sxy)

Es la media de las desviaciones cuadradas de los volúmenes reales y estimados (20).

$$S_{xy} = \sqrt{\sum(VR-VE)^2 / (n-1)}$$

Donde:

VR = Volumen real en m³

VE = Volumen estimado en m³

n = Número de árboles muestra

Sxy = Error o desviación Estándar de la estimación

3.1.3.9.1. Desviación Estándar como Porcentaje (sxy %)

$$S_{xy} \% = (S_{xy}/VM) * 100$$

VM =Volumen medio

3.1.3.10. Índice o Coeficiente de Furnival (C.F.)

Otra manera de comparar las ecuaciones es el Índice de Furnival, un menor valor del índice indica un mejor ajuste, este índice puede ser considerado como una desviación estándar, transformado a unidades de volumen. Las ecuaciones ajustadas por ejemplo las Logarítmicas y Combinadas, las variables dependientes son diferentes y las desviaciones estándar están expresadas en diferentes unidades, por lo que no pueden compararse de forma directa, sino a través del índice de Furnival.

$$C.F. = CME * \text{Antilogaritmo} ((\xi \text{ LN } (V))/n) * ((\text{Log}_{10} * e)-1$$

3.1.4. 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% (20).

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 (20).

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 de la forma técnica correcta de poder establecer cual tabla es más eficiente. Si se tiene alguna duda acerca de la eficiencia de la tabla no es correcto emitir juicios objetivos respecto a la calidad, se debiera demostrar con cualquiera de los métodos estadísticos cual es la calidad y validez de una tabla de volumen (20).

Una tabla de volumen debe ser válida 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, éste 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 si es recomendable hacerlos si es mayor de éste valor. Una prueba de sesgo se hace subdividiendo la población y examinando los desvíos entre los valores medios (V_m) y los valores predecidos o estimados (V_e) dentro de cada sub población en forma separada. Una condición para ésta prueba es que debe ser hecha con una muestra independiente y no solamente con los datos con que se ajustaron las ecuaciones de volumen (20).

3.2. Marco Referencial

3.2.1. Antecedentes

Las investigaciones encaminadas a la generación de ecuaciones y las consecuentes tablas de volumen para la cubicación de árboles en pie, son pocas para Guatemala, dentro los estudios más importantes se puede mencionar el realizado por el departamento de inventarios forestales, del Instituto Nacional Forestal (1970), elaboró ecuaciones y tablas de volumen comercial para las

especies latifoliadas del bosque húmedo de El Petén, desarrollando tres ecuaciones de acuerdo a la forma del fuste que presentan las especies de estos bosques. La primera ecuación fue elaborada para árboles sin gambas, la segunda para árboles con gambas aprovechables y la tercera para árboles con gambas no aprovechables (16).

Considero que a la fecha el estudio más completo es el elaborado por Roland Peters (1977) por medio de la FAO y el servicio forestal de del país en ese tiempo. conocidas como "Tablas de Volumen para las especies de coníferas de Guatemala", donde se evalúan las siguientes ocho especies: *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus ayacahuite* Enrenberg, *Pinus caribaea* Morelet, *Pinus montezumae* Lambert, *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus pseudostrobus* Lindley, *Pinus rudis* Endl y *Pinus tenuifolia* Benth. Resultados de la medición de 1316 árboles de muestra, midiendo 105 árboles como mínimo en el caso *Pinus caribaea* y 269 árboles para *Pinus oocarpa*. El resultado fueron ecuaciones y tablas para volumen total en metros cúbicos sin corteza, para volumen con índices de utilización fijo de 10, 15, 20 y 25 cm. para cada especie, para pies madereros con los mismos índices de utilización y para volumen sin corteza de madera para pulpa en la copa de los árboles sobre un índice de utilización fijo de 15, 20 y 25 cm. (24).

Para el caso del género *Quercus* se tienen ecuaciones en Argelia y Africa, elaboradas por Cuevas (1996). Elaboró ecuaciones de cubicación y crecimiento para el roble andaluz (*Quercus canariensis* Willd.), la muestra fue de 120 árboles apeados, para volumen del fuste con corteza, volumen del fuste sin corteza, volumen total con corteza, el volumen de las ramas con corteza y el volumen del crecimiento del fuste en los últimos diez años (3).

En Guatemala se conocen dos estudios sobre tablas de volumen del género *Quercus*, William Melgar (1999). Elaboró tablas de volumen y biomasa para *Quercus peduncularis* Née, en el oriente de Guatemala. $Volumen = 0.02882823 * D^2.24237 * H^{0.74475}$ (22).

José Rodas (1999). elabora tabla de volumen local para *Quercus acatenangensis* (Trel.) en el municipio de Panzún, Chimaltenango, proponiendo el siguiente modelo:

$$Volumen = -0.015644 + 0.000049636 * D^2 * H \quad (25).$$

Actualmente en Guatemala, para la cubicación de árboles del género *Quercus* se utiliza un factor de forma que varía entre 0.60 y 0.65, este factor se viene aplicando desde hace algunos años, desconociendo la base de su fundamento (22).

3.2.2. Género *Quercus*

Según Standley (1952), “Los árboles del género *Quercus* son 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 más 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 más o menos un periancio copular encerrado 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 una 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, estos marcados ventralmente hacia el ápice dilatado, la fruta es la bellota, con 1 célula y 1 semilla, los otros cinco óvulos estériles adheridos a la semilla desarrollada; la semilla se encuentra encerrada dentro de un caparazón y acomodada en una cúpula, esto se forma a partir de numerosas hojas rudimentarias pequeñas imbricadas, la cúpula envuelve toda la nuez una parte de ésta, o solo su base” (27).

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 “mas 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 (27).

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 en 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 una gran cantidad de superficie 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 direcciones. La mayoría de los árboles son 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, extendidos desde las planicies hasta los más altos picos de la 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” (27).

Según Standley (1952) “ los encinos son encontrados a menudo donde no hay árboles de pino, y frecuentemente ocurre en asociaciones de bosques mixtos. En Cobán el lugar habitual de los encinos está usurpado en áreas por árboles de Liquidambar, pero no muy lejos de Cobán existen varios rodales de encino, y en las montañas secas de Baja Verapaz probablemente está 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 en *Quercus skinneri*. Las montañas secas de Quetzaltenango y San Marcos, de medias a grandes elevaciones, también existen grandes 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 Pocomchí, para los encinos es “ pitan “ y “zinuh”, y el nombre “ tus “ 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 éstos nombres, ni a las diferentes especies, hasta donde se ha

observado. El término “encinaladas”, es el más comúnmente aplicado a los bosques de encino, al menos en la región central (27).

3.2.2.1. Usos más Comunes del Género Quercus

Como fuente de maderas y tablas, el género Quercus es uno de los más importantes entre 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 éste propósito en España, Portugal y África del Norte (27).

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 obtiene 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 los materiales para el tratamiento de cueros. Para éste 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 en los árboles son ricas en taninos, y muchos países han sido 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 (27).

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 (27).

Las semillas de todos los encinos son comestibles, pero en la mayoría de las especies éstas son muy amargas. Las de algunos encinos blancos son relativamente dulces y con un sabor agradable. Las bellotas eran una comida importante en algunas comunidades indígenas de Norte América. No se tiene información acerca de éste uso en Centro América, pero no hay duda que las bellotas hayan sido comidas en Guatemala, al menos en tiempo de hambre, como las que han ocurrido en años recientes, cuando las cosechas de maíz se pierden (27).

3.2.3. 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 permita aplicarles la fórmula de volumen correspondiente al largo total o a secciones del árbol (6). El volumen puede calcularse para trozas o secciones de roncós con fórmulas específicas como:

Formula Huber: $V = g_m * L$

Formula Smalian: $V = ((g_u + g_o)/2) * L$

Formula Newton: $V = ((g_u + 4g_m + g_o)/6) * L$

De donde:

V = volumen

g_u = Area basal mayor

g_m = Area basal media

g_o = Area basal menor

L = Largo o Altura.

Una buena 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 (parte del bosque que crece) en conjunto, de manera que éste sea homogéneo conforme a los criterios de especies 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 m. del suelo y la longitud o altura total del tronco o fuste entre las secciones extremas que delimitan su posible aprovechamiento (20).

La estimación del volumen maderable de un bosque es de suma importancia para la producción forestal, ya que de ésta estimación se obtiene la cantidad de volumen que se puede utilizar para los distintos usos industriales (20).

3.2.4. Descripción de la Especie

La especie *Quercus sapotaefolia* Liebm, es conocida como “huite” en el departamento de Baja Verapaz, pertenece a la familia Fagaceae. Es un árbol que puede medir 24 metros de altura, su fuste es recto generalmente (cuando se desarrolla en rodales densos), siendo poco frecuentes individuos de diámetros mayores de 55 cm. de D.A.P. Se desarrolla en laderas húmedas, crece en rodales casi puros generalmente y se puede encontrar asociado con pino, roble y encino, formando lo que se conoce como los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas de la zona de Vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) bmh-S (f) (figura 1).



Figura 1. *Quercus sapotaefolia* Liebm, Zona de Vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío)

3.2.5. Descripción de la Zona de Vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) bmh-S (f):

3.2.5.1. Localización y Extensión en el Departamento de Baja Verapaz

Formación ecológica que representa un segmento del muy húmedo subtropical, representandoce con una “(f)” para la zona de mayor altura, donde las temperaturas medias son iguales a las biotemperaturas (5).

Esta zona de vida abarca una faja muy angosta que viene de la Unión Barrios hacia la cumbre de Santa Elena. De ahí una faja un poco más ancha la encontramos rumbo oeste sobre la sierra de Chuacús, pasando por la cumbre de El Chol. Luego sigue una faja más ancha siempre al oeste, abarcando la mayor parte de la sierra Chuacús (5).

La superficie total de esta zona de vida es de 566.20 kilómetros cuadrados, lo que representa el 18.12 % de la superficie total del departamento de Baja Verapaz (5).

3.2.5.2. Condiciones Climáticas

Para esta zona de vida no se obtuvieron datos climatológicos, pero el régimen de lluvia, es de mayor duración que la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical (templado), lo que influye mucho en el desarrollo de la vegetación (5).

El patrón de lluvias se puede estimar entre 2,000 y 2,500 mm. De precipitación total anual. Las Biotemperaturas van de 16° a 23° C (5).

La relación de evapotranspiración potencial puede estimarse en 0.10 (5).

3.2.5.3. Topografía y Vegetación

La topografía es generalmente ondulada llegando en algunos casos a ser accidentada. La elevación varía de 1,560 a 1,700 m.s.n.m. (5).

La vegetación natural está representada por: *Liquidambar styraciflua*, “liquidambar”, “quiramba”, *Pinus tenuifolia*, “pino candelillo”, “pino blanco” “Chaj Xac”, *Persea doneell smithii*, “aguacatillo”, “hoj”, “amax”, “aguacate de mico”, *Pinus pseudostrobus*, “pino triste”, *Cedrella pacayana*, “cedro de tierra fría”, *Salix chilensis*, “sauce” (5).

3.2.5.4. Consideraciones Generales sobre su Uso Apropiado

Esta formación esta siendo utilizado tanto para agricultura como para la explotación de bosques (5).

Además del cultivo tradicional del maíz y el frijol, se cultiva café para subsistencia, caña de azúcar, pacaya, papas, árboles frutales como: aguacate, chupte, injerto, durazno, granadillas, etc. (5).

Las especies forestales más explotadas son: *Pinus tenuifolia*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus sp.* (5).

En lo sucesivo deberá tomarse muy en cuenta la protección y manejo de los bosques para mantener el equilibrio, ya que los suelos no son del todo de vocación agrícola (5).

ZONAS DE VIDA DEL DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ

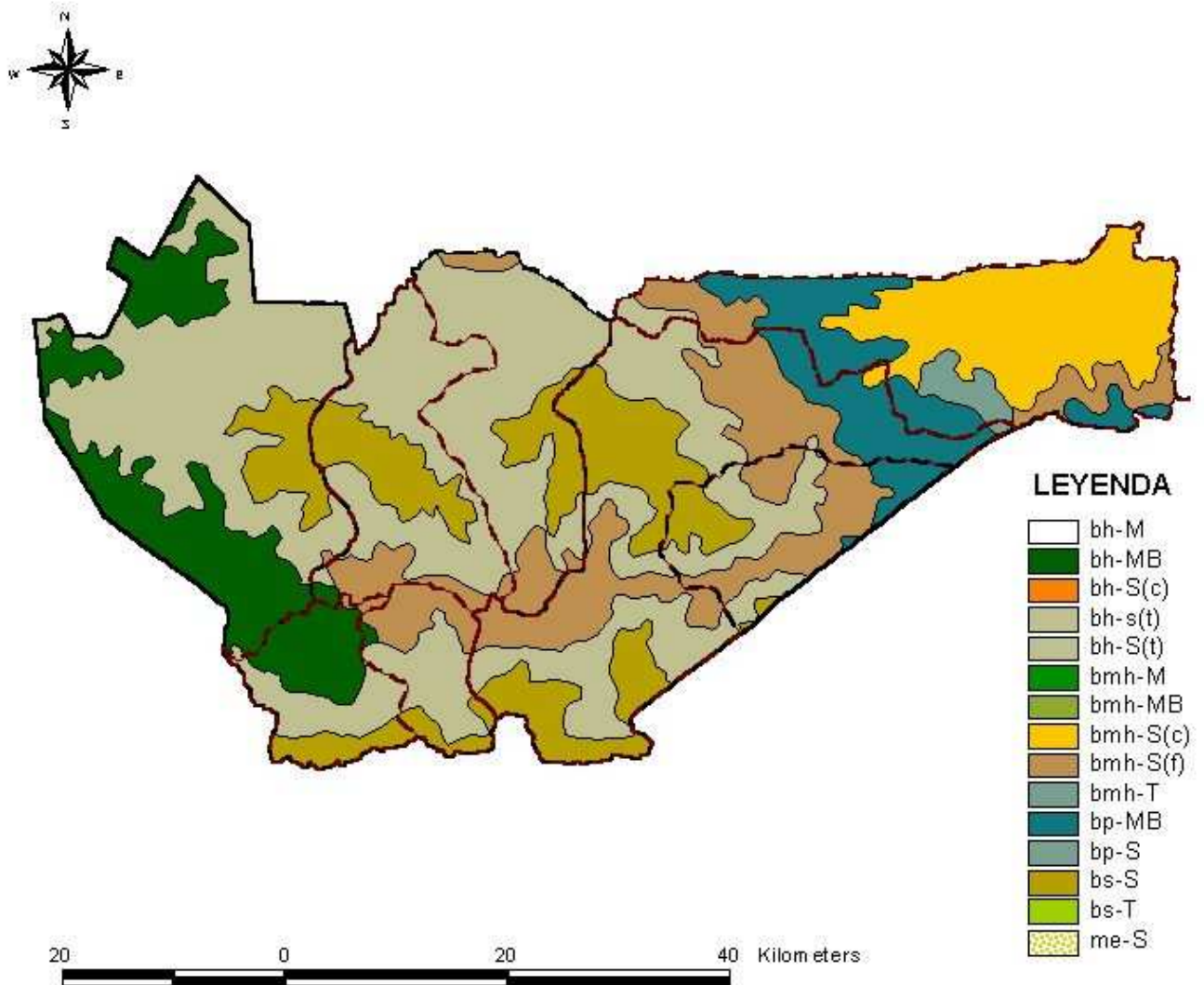


Figura 2. Zonas de Vida Existentes en el departamento de Baja Verapaz

Fuente: Ministerio de Agricultura, ganadería y Alimentación, 2001 (17).

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Elaborar tablas de volumen para Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) bmh-S (f), en el departamento de Baja Verapaz; como una herramienta para técnicos forestales y silvicultores en la estimación de volúmenes por tipo de producto.

4.2. Objetivos Específicos

- 4.2.1. Elegir una apropiada ubicación, distribución y tamaño de la muestra e identificación de la especie.
- 4.2.2. Determinar volúmenes de madera de Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), a partir del diámetro a la altura del pecho y de la altura del árbol.
- 4.2.3. Evaluar y comparar diferentes modelos matemáticos de ecuaciones de volumen del fuste, tunca, leña rolliza y volumen total; para predecir con mayor precisión el volumen de árboles de Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*).
- 4.2.4. Seleccionar modelos y ecuaciones para estimar volumen del fuste, tunca, leña rolliza y volumen total de Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*).
- 4.2.5. Elaborar tablas de volumen para estimar volumen de fuste, tunca, leña rolliza y volumen total de Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*).
- 4.2.6. Validar las ecuaciones y tablas desarrolladas para Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*).
- 4.2.7. Elaborar una tabla de productos en porcentaje para Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*).

5. METODOLOGÍA

5.1. Muestreo e identificación de la especie

5.1.1. Ubicación del Area de Muestreo

La muestra fue tomada en la sierra de Chuacús, en áreas de las comunidades del Apazote y Pacoc del municipio de Santa Cruz El Chol y Limítrofe con el municipio de Rabinal, cercanos al lugar denominado la cumbre del Chol, del departamento de Baja Verapaz (figura 3).

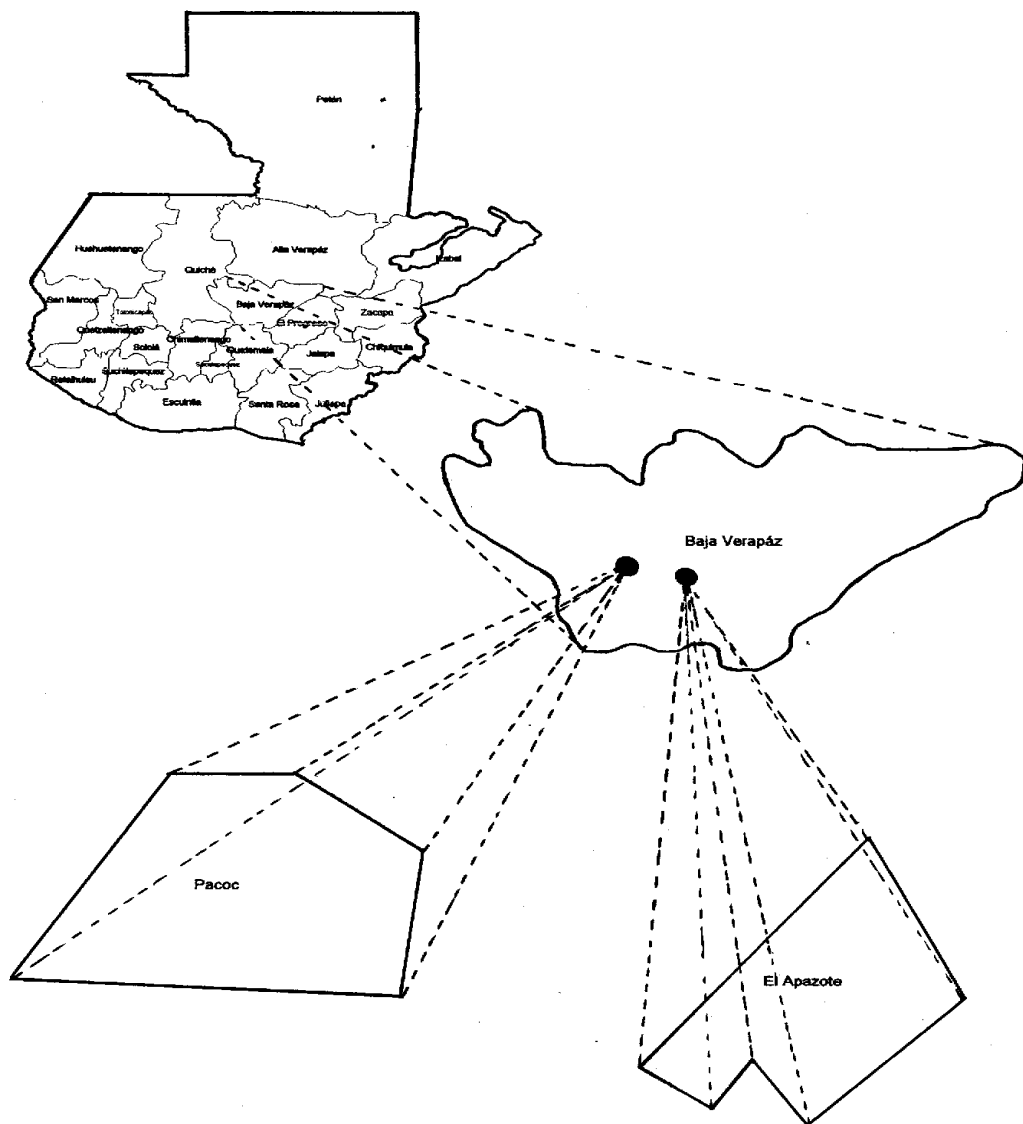


Figura 3. Ubicación de sitios de muestreo en la zona de vida bmh-S (f), Baja Verapaz.

Criterios para La Elección del Area de Muestreo

- A. La investigación se realizó en 2 fincas forestales; poseían licencias forestales para su manejo y respectivo aprovechamiento, basados en la información proveniente del Instituto Nacional de Bosques –INAB-.
- B. Las fincas se encuentran dentro de la zona de vida bosque muy húmedo sub-tropical frío (bmh-S-f), (De La Cruz, 1982), la finca ubicada en la aldea Pacoc se encuentra a una altitud de 1,850 m.s.n.m y la finca ubicada en la aldea El Apazote se encuentra a una altitud de 1,750 m.s.n.m. Con una topografía ondulada montañosa. Con temperatura promedio entre 16° c a 25° c, con precipitación promedio de 2,400 mm. Anuales, donde se desarrolla naturalmente el Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*) (cuadro 2).
- C. Las dos fincas fueron seleccionadas tomando en consideración aspectos propios de los rodales existentes de Huite (*Quercus sapotaefolia Liebm*), con dominancia de esta especie, puros y considerados poco o no intervenidos.

Cuadro 2. Identificación, Localización, propiedad y Area de sitios de Muestreo

Registro General de la Propiedad				Propietario	Ubicación	Coordenadas UTM	Area Total Hectáreas
No.	Folio	Libro	Departamento				
110 6	90	38	Baja Verapaz	Erwin Donald y Héctor Aurelio Córdova Morales	Aldea Pacoc, Santa Cruz El Chol	770069- 1660518	21.57 has.
19	19	53	Baja Verapaz	Arnulfo Córdova Tejeda	Aldea El Apazote, Santa Cruz El Chol	772397-1659700	4.50 has.

5.1.5. Determinación de la Especie

Se tomaron muestras florísticas de los dos sitios (Pacoc y El Apazote), en rodales monoespecíficos, para su determinación botánica en el Herbario de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La especie fue determinada utilizando los descriptores que elaboraron Standley y Steyermarck (27) (cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación Botánica del Huite (*Quercus sapotaefolia* Liebm)

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-clase	Hamamelidae
Orden	Fagales
Familia	Fagaceae
Genero	Quercus
Especie	<i>Quercus sapotaefolia</i> Liebm

5.1. Determinación de las Relaciones entre las Variables Diámetro, Altura y Volumen

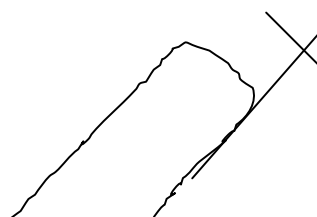
5.2.1. Muestreo

Se utilizó muestreo al azar para cada clase diamétrica, ya que previamente se definió el número de clases e individuos por clase diamétrica como se puede observar en el cuadro 4. (Distribución de árboles por clase diamétrica). Obteniendo un total de 132 muestras, según criterio utilizado por Rolan Peters, 1977 (24); el número de muestras se encuentra en un rango de 80 y 150 árboles.

5.2.2. Cubicación

5.2.2.1. Selección de la Formula para la Cubicación

La forma de cubicación elegida fue la fórmula Huber, que calcula el volumen en base a la formula $V = Gm * L$, aplicada a la forma cilíndrica mostrada en la figura 4.



Donde:

V = Volumen

Gm = Area basal media

L = Largo

D² = Diámetro al cuadrado

0.7854 = Constante

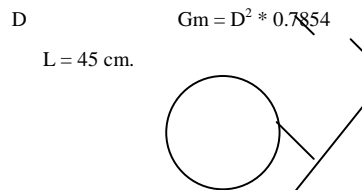


Figura 4. Fuste, Tunca o Leña Rolliza de 45 cm. de Longitud

5.2.2.2. Proceso de Cubicación

Previo a apear los especímenes se le midió el DAP. (Diámetro a la altura del pecho), apeado el árbol se procedió a medir su longitud o altura total, anotando estos datos en el formulario respectivo; de la misma manera se separó el árbol en fuste principal (hasta donde se bifurcaba o ramificaba el árbol, ramas gruesas o tunca de las ramas mayores o igual a 10 cm. de diámetro y ramas delgadas o leña rolliza, para ramas menores de 10 cm. de diámetro, todas las secciones antes mencionadas se dividieron en trozos o leños de 45 cm. cortándolos y midiendo cada pieza por separado por medio de la formula Huber, que se basa en medir el diámetro medio de la pieza y su longitud para estimar el volumen. Las Longitudes se midieron con cinta métrica y los diámetros de las diferentes secciones se midieron con forcípula. Cada pieza de fuste, tunca y leña rolliza; se anotaron en el formulario de campo respectivo (Ver en apéndice cuadro 17).

Posterior a la recopilación de los datos de campo, se procedió a ingresar estos a una hoja electrónica, donde automáticamente fue calculado el volumen de cada árbol y separó los volúmenes por tipo de producto (fuste, tunca y leña rolliza), basado a que se utiliza el fuste como troza, la tunca como leña rajada y la leña rolliza como tal, teniendo distintos precios en el mercado (ver en apéndice cuadro 18). Estas medidas se utilizaron para tener una mejor precisión y a la vez facilidad de registros de las dimensiones de los parámetros evaluados (cuadro 6).

Cuadro 6. Unidades de Medida Utilizadas en los Parámetro Evaluados

Parámetro	Unidad de medida
Diámetro a la altura del pecho (DAP)	Milímetros
Altura total	Centímetros
Largo de cada sección	Centímetros
Diámetro de cada sección	Milímetros

5.2. Evaluación y Comparación de Diferentes Modelos Matemáticos

El procesamiento de la información de las diferentes variables se llevó a cabo a través del Análisis de Regresión Múltiple del programa computarizado SAS. (Statistical Analysis System), tomando en cuenta la base de datos generada a partir de las cubicaciones de la etapa de campo. Este análisis permite hacer predicciones del volumen de un árbol en base a la altura y el DAP., con base en la relación entre la altura del árbol y del diámetro a la altura del pecho del mismo árbol, mediante el modelo o ecuación matemática expresa como varía una variable en función del cambio de la(s) otra(s) variable(s).

5.3.1. Modelos Matemáticos

De fuentes bibliográficas forestales consultadas (7, 8 y 9), se obtuvieron algunas fórmulas para calcular las variables dependientes (Volumen Fuste, Tunca, Leña Rolliza y Volumen Total) en función de las variables independientes “diámetro”, “altura” y “factores de forma” (cuadro 7).

Cuadro 7. Modelos Matemáticos Utilizados en el Proceso de Regresión

No.	Modelo con Intercepto	Modelo sin Intercepto
1	$V = a + bDH^2 + cD^2$	$V = bDH^2 + cD^2$
2	$V = a + bDH + cH + dD^2H$	$V = bDH + cH + dD^2H$
3	$V = a + bD^2H$	$V = bD^2H$
4	$V = a + bD^2 + cDH + dD^2H$	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$
5	$V = a + b \ln D + c \ln H$	$V = b \ln D + c \ln H$
6	$V = a + bD^2 + cH + dD^2H$	$V = bD^2 + cH + dD^2H$
7	$V = a + b \ln H + cD + dH$	$V = b \ln H + cD + dH$
8	$V = a + bD + c \ln D + d \ln H$	$V = bD + c \ln D + d \ln H$
9	$V = a + bD^2H + cD^2$	$V = bD^2H + cD^2$
10	$V = a + bH + cHD^2$	$V = bH + cHD^2$
11	$V = a + bD^2H + cD^3$	$V = bD^2H + cD^3$
12	$V = a + bDH^2 + cDH + dD^2$	$V = bDH^2 + cDH + dD^2$
13	$V = a + bDH + cD^2$	$V = bDH + cD^2$
14	$V = a + b(D/(d + 10))$	$V = b(D/(d + 10))$
15	$V = a + b(0.7854D^2 * H^{0.60})$	$V = b(0.7854D^2 * H^{0.60})$

16	$V = a + b(0.7854D^2 \cdot H^{0.61})$	$V = b(0.7854D^2 \cdot H^{0.61})$
17	$V = a + b(0.7854D^2 \cdot H^{0.62})$	$V = b(0.7854D^2 \cdot H^{0.62})$
18	$V = a + b(0.7854D^2 \cdot H^{0.63})$	$V = b(0.7854D^2 \cdot H^{0.63})$
19	$V = a + b(0.7854D^2 \cdot H^{0.64})$	$V = b(0.7854D^2 \cdot H^{0.64})$
20	$V = a + b(0.7854D^2 \cdot H^{0.65})$	$V = b(0.7854D^2 \cdot H^{0.65})$

De Donde: V = Volumen estimados

H = Altura Total

D = Diámetro a la altura del pecho

LN = Logaritmo Natural

a, b, c y d = Parámetros de regresión

5.3.2. Discriminación de Variables en los Modelos

Se sometieron al Análisis de varianza incluyendo el proceso "Stepwise" del Programa SAS, los 20 modelos matemáticos con y sin intercepto para descartar variables de los modelos probados. Este procedimiento se aplicó a los modelos con mas de una variable, su aplicación es para discriminar aquellas variables que no influyen estadísticamente en la generación de los modelos probados.

5.3. Selección de Modelos y Ecuaciones

Por medio de los estimadores (C.V., R² y F), obtenidos como resultado del análisis de varianza del Programa SAS, se eligieron tres mejores modelos con y sin intercepto, por cada tipo de producto (ver en apéndice cuadro 20 y 21).

5.4. Elaboración de Tablas de Volumen

Por medio de hojas electrónicas del programa Microsoft Excel, se elaboraron tablas de volumen para fuste, tunca, leña rolliza y volumen total; de los tres mejores modelos con y sin intercepto para cada tipo de producto (ver resultados cuadro 12, 13, 14 y 15).

5.5. Validación de Tablas de Volumen

5.6.1. Calculo de la Exactitud

Después de haber aplicado el primer filtro a la totalidad de 20 modelos con y sin intercepto en el paso anterior, se procederá a someter a análisis estadísticos “Prueba de Sesgo”, “Error o Desviación Estándar” y “Desviación Media de la Estimación”, a las 3 ecuaciones por tipo de producto (fuste, tunca, leña rolliza y volumen total), con intercepto.

Para el calculo de exactitud se tomaron la totalidad de los árboles (132) para definir cual de los modelos eran los apropiados (ver en apéndice cuadro 19).

5.6.1.1. Prueba de Sesgo (Desviación agregada)

Se midió la concordancia general entre los valores medios y los valores estimados de volumen para las ecuaciones preseleccionadas; expresa la diferencia entre la suma del volumen medio y el volumen estimado (20).

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

Donde:

S% Sesgo en porcentaje

ΣVm = Suma de volumen promedio medio

ΣVe = Suma de volumen estimado por las ecuaciones

5.6.1.2. Error o Desviación Estándar de la Estimación (Sxy)

Se determinó la media de las desviaciones cuadradas de los volúmenes reales y estimados

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

Donde:

V_r = Volumen real en m³

V_e = Volumen estimado en m³

n = Número de árboles muestra

$S_{xy} (\%)$ = Error o desviación Estándar de la estimación en porcentaje

5.6.1.3. Desviación Estándar como Porcentaje ($s_{xy} \%$)

Se calculó el porcentaje de la desviación estándar, con la fórmula siguiente :

$$S_{xy} \% = (S_{xy} / \text{Volumen promedio}) * 100$$

5.6.1.4. Desviación Media (%)

Es el cociente de la sumatoria de la diferencia entre los volúmenes reales y los estimados (no se tomó en cuenta el signo) y la suma de los volúmenes estimados expresados en porcentaje. Y muestra la variabilidad esperada de los datos utilizados,

$$\text{Desviación Media (\%)} = ((\sum (V_r - V_e) / \sum V_e) / n) * 100$$

Donde:

V_r = Volumen real en m³

V_e = Volumen estimado en m³

n = Número de árboles muestra

5.6.1.5. Despliegue de tablas de volumen

Las tablas generadas corresponden a: Volumen del fuste, volumen de tunca, volumen de leña rolliza y volumen total en metros cúbicos (ver en resultados cuadro 10).

5.6. Productos en porcentaje

Se procedió a realizar un análisis de regresión, para estimar la altura en base al DAP.; probando para ello los modelos lineal y logarítmico, seguidamente se construyó una tabla donde se calculo el volumen por producto para los distintos DAP; finalmente se calculo el porcentaje de productos por DAP (ver en resultados cuadro 16).

6. RESULTADOS

6.1. Muestra

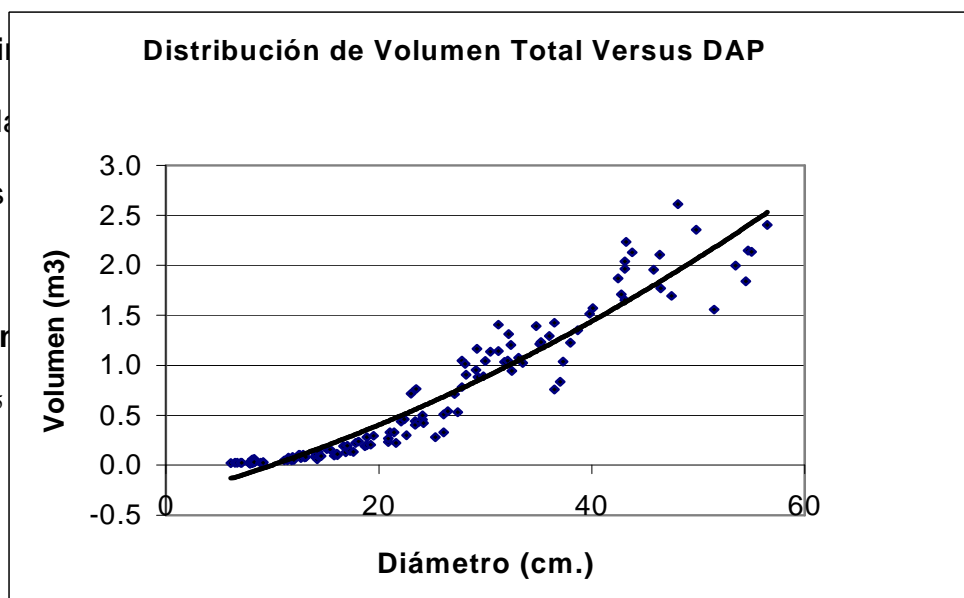
Se tomó una muestra de 132 árboles (ver en apéndice cuadro 19), en dos sitios de muestreo en la sierra de Chuacús en la zona de Vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) bmh-S (f), identificando debidamente al Huite como la especie *Quercus sapotaefolia Liebm* (ver figura 1).

6.2. Determinación

La fórmula
y en apéndices

6.3. Relación

En las figuras 5



(ver figura 4

lia Liebm)

Figura 5. Distribución de volumen total (Real) de *Quercus sapotaefolia* Liebm, en función del DAP (Diámetro a la altura del pecho) en la zona de vida Bosque Muy Húmedo (frío), en el departamento de Baja Verapaz

Subtropical

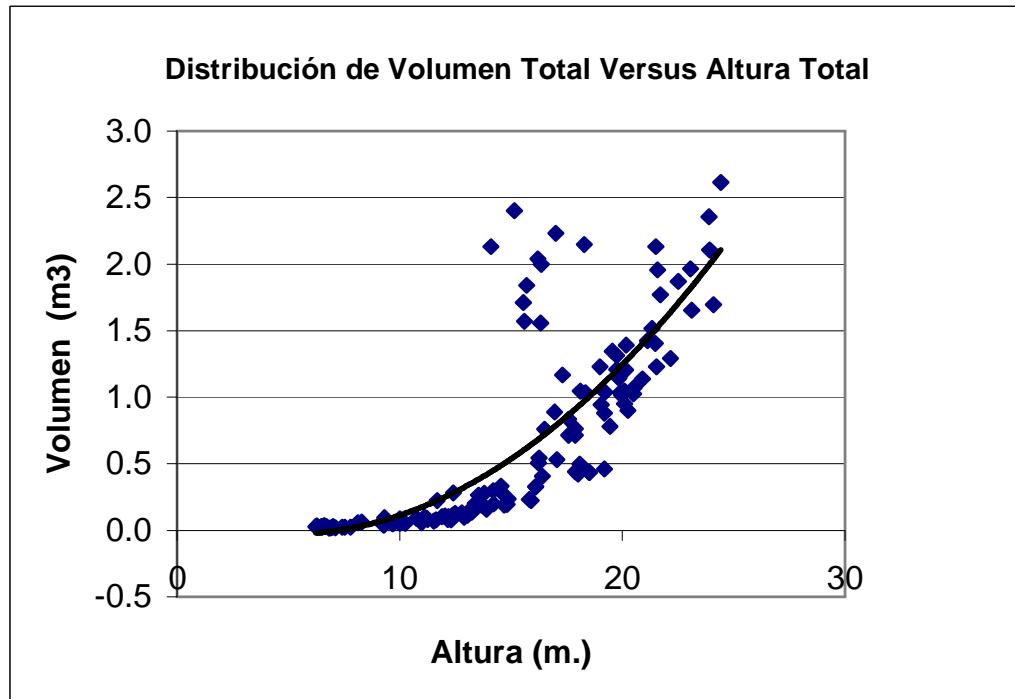


Figura 6. Distribución de volumen total (Real) de *Quercus sapotaefolia* Liebm, en función de la altura, en la zona de vida Bosque Muy Húmedo (frío), en el departamento de Baja Verapaz

Subtropical

Es importante observar el comportamiento de las variables en las gráficas, que es de tipo cúbico para los valores de volumen en relación a las variables diámetro y altura total, por lo que los modelos de variables combinadas cúbicas propuestos son buenas opciones.

Se debe considerar que el presente estudio no consideró la incidencia de la calidad de sitio sobre el desarrollo volumétrico de los árbol, por considerarse que no era objeto de la investigación: sin embargo sería interesante realizar estudios que tuvieran por objetivo principal investigar la

incidencia de los índices de sitio sobre el rendimiento volumétrico y de esta manera poder desarrollar ecuaciones y tablas específicas.

6.4. Selección de modelos matemáticos que expresen la mejor relación entre las variables

6.4.1. Discriminación de variables independientes y modelos

Como se puede ver en apéndices, los cuadros 20 Y 21, algunos modelos matemáticos probados se transformaban al discriminar variables independientes por no ser estadísticamente significativas, esta discriminación se observa en los resultados de Stepwise de SAS.

6.4.2. Modelos y ecuaciones que presentaron mejor calidad de ajuste

En los cuadros 8 y 9 se presentan los tres mejores modelos con y sin intercepto y, sus respectivas ecuaciones que presentaron mejor calidad de ajuste, según C.V. R² y F (ver en apéndice cuadro 20 y 21).

Cuadro 8. Mejores modelos y ecuaciones con intercepto para la estimación de volúmenes de fuste, tunca, leña rolliza y total

Producto	No	Modelos	Ecuaciones
Volumen del Fuste	1	$V = a + bDH + cD^2H$	$V = -0.04521152 + 0.00067917*DH + 0.00001004*D^2 H$
	2	$V = a + bH + cD^2H$	$V = -0.12819076 + 0.01581166*H + 0.00001927*D^2 H$
	3	$V = a + bDH^2 + cD^2$	$V = -0.01330282 + 0.00003334*DH^2 + 0.00018155*D^2$
Volumen de Tunca	1	$V = a + bD + c LN D$	$V = 0.46467828 + 0.03115429 * D - 0.34580069 * LN D$
	2	$V = a + b LN H + cD + dH$	$V = 0.82293596 - 0.63548868*LN H + 0.01929657*D + 0.03748184*H$
	3	$V = a + bDH^2 + cD^2$	$V = -0.05477636 + 0.00000625*DH^2 + 0.00023827*D^2$
Volumen de Leña Rolliza	1	$V = a + bD^2 + cDH + dD^2H$	$V = -0.04525236 + 0.00025761*D^2 + 0.00031841*DH - 0.00001208*D^2H$
	2	$V = a + bD^2 + cH + dD^2H$	$V = -0.07769042 + 0.00025880*D^2 + 0.00684119*H - 0.00000767*D^2H$
	3	$V = a + b LN H + cD$	$V = 0.03534213 - 0.05691805*LN H + 0.00945728*D$
Volumen Total	1	$V = a + bDH^2 + cD^2$	$V = -0.05986354 + 0.00003936*DH^2 + 0.00056134*D^2$
	2	$V = a + bD^2 + cDH$	$V = -0.15273851 + 0.00043815*D^2 + 0.00116709*DH$
	3	$V = a + bDH + cH$	$V = 0.28011030 + 0.00302273*DH - 0.05822986*H$

Cuadro 9. Mejores modelos y ecuaciones sin intercepto para la estimación de volúmenes del fuste, tunca, leña rolliza y total

Producto	No	Modelos	Ecuaciones
Volumen del Fuste	1	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$	$V = -0.00011962 * D^2 + 0.00049175 * DH + 0.00001922 * D^2 H$
	2	$V = bDH + cH$	$V = 0.00135934 * DH - 0.01268943*H$
	3	$V = bDH^2 + cD^2$	$V = 0.00003258 * DH^2 + 0.000175959 * D^2$
Volumen	1	$V = bD^2 + cH + dD^2 H$	$V = 0.00015356 * D^2 - 0.00305671 * H + 0.00000744* D^2 H$

de Tunca	2	$V = bD^2H + cD^3$	$V = 0.00000949 * D^2H + 0.00000175 * D^3$
	3	$V = bD^2 + cD^2H$	$V = 0.00012779 * D^2 + 0.00000689 * D^2H$
Volumen de Leña Rolliza	1	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$	$V = 0.00021176 * D^2 + 0.00012238 * DH - 0.00000649 * D^2H$
	2	$V = b LN H + cD$	$V = -0.04085093 * LN H + 0.00915158 * D$
	3	$V = bD + c LN H$	$V = 0.00915158 * D - 0.04085093 * LN H$
Volumen Total	1	$V = bDH^2 + cDH + dD^2$	$V = 0.00005184 * DH^2 - 0.00043392 * DH + 0.00060968 * D^2$
	2	$V = bDH^2 + cD^2$	$V = 0.00003595 * DH^2 + 0.00055252 * D^2$
	3	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$	$V = 0.00022877 * D^2 + 0.00045787 * DH + 0.00002291 * D^2 H$

V= Volumen D= Diámetro H= Altura N= Logaritmo Natural a, b, c, y d= Parámetros de regresión estimados

Como se puede observar en los cuadros 8 y 9, las tres ecuaciones con mejores indicadores estadísticos son en su mayoría las variables combinadas de tipo polinomial en tercer grado y semi-logarítmico, por lo consiguiente el comportamiento de los volúmenes por tipo de producto en relación a las variables independientes (diámetro y altura) es polinomial a semi-logarítmico.

6.5. Validación de Tablas de Volumen con Pruebas de exactitud

En los cuadro 10 y 11 se pueden observar los resultados de las pruebas de exactitud.

Cuadro 10. Modelos con y sin intercepto preseleccionados (* Modelo seleccionado)

Producto	No	Modelos	PRUEBAS DE EXACTITUD				
			DA (%)	DM(%)	Sxy (m ³)	Sxy (%)	R ²
Volumen del Fuste Con Intercepto	1	$V = a + bDH + cD^2H$	0.01502	-107.63119	0.14893	39.45638	0.85520
	2	$V = a + bH + cD^2H$	0.00052	-34.46700	0.14978	39.68059	0.85350
	3	$V = a + bDH^2 + cD^2$	0.00059	15.07406	0.14999	39.73693	0.85310

Volumen del Fuste Sin Intercepto	1	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$	-1.15879	-9.18548	0.14854	39.35344	0.92560
	2	$V = bDH + cH$	0.61442	-60.67877	0.14991	39.71600	0.92430
	3	$V = bDH^2 + cD^2$ *	-0.86171	-6.67810	0.15031	39.82298	0.92390
Volumen de Tunca Con Intercepto	1	$V = a + bD + cLN D$	0.00004	-47.64294	0.16652	95.20419	0.64530
	2	$V = a + bLN H + cD + dH$	-0.00002	-50.12790	0.16741	95.71515	0.64150
	3	$V = a + bDH^2 + cD^2$	0.01029	-49.70278	0.16821	96.17267	0.63810
Volumen de Tunca Sin Intercepto	1	$V = bD^2 + cH + dD^2 H$	-0.81706	-46.44389	0.16863	96.40809	0.73292
	2	$V = bD^2H + cD^3$ *	-4.42847	-47.45503	0.17072	97.60493	0.73260
	3	$V = bD^2 + cD^2H$	-10.04527	-51.10820	0.17085	97.68047	0.83220
Volumen de Leña Rolliza Con Intercepto	1	$V = a + bD^2 + cDH + dD^2H$	-0.02139	-37.97229	0.05587	48.64768	0.80000
	2	$V = a + bD^2 + cH + dD^2H$	-0.06088	-47.84652	0.05717	49.77834	0.79000
	3	$V = a + bLN H + cD$	0.00010	-10.07121	0.05952	51.82222	0.77000
Volumen de Leña Rolliza Sin Intercepto	1	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$ *	-5.86252	-25.44103	0.05871	51.11724	0.88000
	2	$V = bLN H + cD$	0.36683	-50.99809	0.05964	51.93143	0.88000
	3	$V = bD + cLN H$	0.36683	-50.99809	0.05964	51.93143	0.88000
Volumen Total Con Intercepto	1	$V = a + bDH^2 + cD^2$	0.00144	16.44671	0.16578	24.84718	0.94480
	2	$V = a + bD^2 + cDH$	0.00012	-32.70534	0.16759	25.11802	0.94360
	3	$V = a + bDH + cH$	-0.00003	-11.47146	0.16888	25.31155	0.94280
Volumen Total Sin Intercepto	1	$V = bDH^2 + cDH + dD^2H$ *	-1.62226	-12.38768	0.16832	25.22772	0.97010
	2	$V = bDH^2 + cD^2$	-3.93830	-20.60298	0.17069	25.58298	0.96820
	3	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$	-2.78850	-19.11902	0.17350	26.00298	0.96820

Cuadro 11. Modelos y ecuaciones por tipo de productos seleccionados para la construcción de tablas de volumen

Volumen por Producto	MODELO	ECUACION
Olumen del Fuste	$V = bDH^2 + cD^2$	$V = 0.00003258 * DH^2 + 0.000175959 * D^2$
Volumen de Tunca	$V = bD^2H + cD^3$	$V = 0.00000949 * D^2H + 0.00000175 * D^3$
Volumen de Leña Rolliza	$V = bD^2 + cDH + dD^2H$	$V = 0.00021176 * D^2 + 0.00012238 * DH - 0.00000649 * D^2H$

Cuadro 16 Porcentaje de productos por DAP.

DAP cm.	PRODUCTOS (%)		
	FUSTE	TUNCA	LEÑA ROLLIZA
6	60	9	31
7	59	10	31
8	59	11	30
9	58	12	30
10	58	13	29
11	58	13	29
12	58	14	28
13	57	15	28
14	57	16	27
15	57	16	27
16	57	17	26
17	57	18	26
18	57	18	25
19	56	19	25
20	56	19	24
21	56	20	24
22	56	20	23
23	56	21	23
24	56	22	23
25	56	22	22
26	56	23	22
27	56	23	21
28	56	24	21
29	56	24	20
30	55	25	20
31	55	25	20

DAP cm.	PRODUCTOS (%)		
	FUSTE	TUNCA	LEÑA. ROLLIZA
32	55	25	19
33	55	26	19
34	55	26	18
35	55	27	18
36	55	27	18
37	55	28	17
38	55	28	17
39	55	28	17
40	55	29	16
41	55	29	16
42	55	30	15
43	55	30	15
44	55	30	15
45	55	31	14
46	55	31	14
47	55	31	14
48	55	32	13
49	55	32	13
50	55	32	13
51	55	33	13
52	55	33	12
53	55	33	12
54	55	34	12
55	55	34	11
56	55	34	11
57	55	35	11

7. CONCLUSIONES

- 7.1. Las ecuaciones matemáticas que representan en mejor forma las relaciones entre las variables: volumen (V), diámetro (D) y altura (H), para la especie de *Quercus sapotaefolia* Liebm, en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz

Volumen del Fuste

$$V = 0.00003258 * DH^2 + 0.00017599 * D^2$$

Volumen de Tunca	$V = 0.00000949 * D^2H + 0.00000175 * D^3$
Volumen de Leña Rolliza	$V = 0.00021176 * D^2 + 0.00012238 * DH - 0.00000649 * D^2H$
Volumen Total	$V = 0.00005184 * DH^2 - 0.00043392 * DH + 0.00060968 * D^2$

- 7.2. Se elaboraron las tablas de volumen para fuste, tunca, leña rolliza y volumen total en función del diámetro entre el rango de 6 – 57 cm. y la altura entre 6 – 25 m. *para Quercus sapotaefolia Liebm.*
- 7.3. Con base en los indicadores estadísticos, “error estándar de la estimación”, “diferencia agregada”, “desviación media”, “coeficiente de determinación” y a la comparación de los valores estimados con los reales, se puede concluir que las ecuaciones elegidas y las tablas de volumen generadas son confiables y pueden ser usadas satisfactoriamente bajo condiciones ecológicas similares a las áreas de estudio.
- 7.4. Las tablas de volumen de fuste, tunca y leña rolliza al ser sumadas también estiman el volumen total que se aproxima satisfactoriamente al volumen estimado con la ecuación generada para estimarlo directamente.
- 7.5. Con ayuda de los modelos generados se elaboró tabla de productos para estimar estos a partir del volumen total, sin necesidad de utilizar las ecuaciones.

8. RECOMENDACIONES

- 7.1. Utilizar tablas de volumen de la especie de *Quercus sapotaefolia Liebm*, en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío), en el departamento de Baja Verapaz o en lugares donde la especie se distribuye naturalmente.
- 7.2. Realizar validaciones de las tablas de volumen de *Quercus sapotaefolia Liebm*, para volumen de fuste, tunca, leña y total.
- 7.2. Realizar estudios complementarios para *Quercus sapotaefolia Liebm*, a diferentes calidades de sitio para establecer el efecto del mismo en el desarrollo volumétrico de la especie y construir tablas de volumen más específicas.
- 7.3. Realizar más estudios sobre especies del genero *Quercus*.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. CORRAL, G. 1981. Anatomía de la madera de siete especies del género *Quercus*. México D. F., Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico No. 72. 55 p.

2. CUEVAS, J. M. 1995. Ecuaciones de cubicación para el alcornoque del este de Argelia. Argel, Argelia, Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales. p. 119 – 126.
3. _____. 1996. Ecuaciones de cubicación y crecimiento para roble andaluz (*Quercus Canariensis* Wild.). Argel, Argelia, Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales, p. 307 – 316.
4. CRUZ, S., J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional forestal. 42 p.
5. _____. 1983. Clasificación de zonas de vida a nivel de semidetalle del Departamento de Baja Verapaz. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 14 p.
6. FAO. 1974. Manual de inventario forestal con especial referencia a los bosques tropicales. Italia, FAO. 95 p.
7. _____. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; estimación del volumen. Italia, FAO. v.1, 92 p.
8. FERREIRA ROJAS, O. 1994. Manual de Inventarios Forestales. 2 ed. Honduras, Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria forestal. 103 p.

9. _____. 1996. **La ciencia y la estadística: validación de tablas de volumen.**
Honduras,
Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria forestal. 131 p.
10. FRESSE, F. 1967. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. México, Publicidad Litográfica. 104 p.
11. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1970. Mapa básico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000.
12. _____. 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. v.1, p. 275 – 290.
13. HOEL, P. 1988. Estadística elemental. México, editorial CECSA. 388 p.
14. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. 1999. Manual técnico forestal. Guatemala. 110 p.
15. _____. DEPARTAMENTO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN. 2000. Mapa de cobertura forestal del departamento de Baja Verapaz.. Guatemala. Esc. 1:250,000.
16. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. DEPARTAMENTO DE INVENTARIOS FORESTALES. 1970. Inventario forestal del departamento de Petén; proyecto FAO-

FYDEP. Guatemala. 52 p.

17. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACIÓN. UNIDAD DE POLÍTICA E INFORMACIÓN ESTRATÉGICA. 2001. Mapa de Zonas De Vida de Baja Verapaz. Guatemala. Esc. 1:250,000.
18. JIMENEZ, P. 1988. Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de volumen; reporte científico. México, Universidad Autónoma de Nuevo León. 43 p.
19. LEVIN, R. 1988. Estadística para administradores. 4 ed. México, editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. 940 p.
20. LOETSCH, F.; ZOHRER, H.; HALLER, M. 1973. Forest inventory. Munchen, Alemania. v.2, 469 p.
21. LOJAN, L. 1966. Apuntes del curso de dasometría. Costa Rica, IICA. Pte 1, 106 p.
22. MELGAR SALGUERO, W.R. 1999. Elaboración de tabla de volumen y de biomasa para *Quercus peduncularis* Née en el oriente de Guatemala. Tesis Ingeniero Forestal. Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 51 p.
23. PAZ, C., DE LA. 1982. Estructura anatómica de cinco especies del género *Quercus*. México

D. F., Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín Técnico No. 88. 63 p.

24. PETERS, R. 1977. Tablas de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. Documento de Trabajo No. 17. 162 p.
25. RODAS, J. R. 1999. Tabla local para el cálculo volumétrico de árboles de encino (*Quercus Acatenangensis trel.*), municipio de Patzún Chimaltenango. Tesis de Ingeniero Forestal. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades. 43 p.
26. ROJAS, A.M. 1977. Dasometría práctica. Colombia, Universidad de Tolima, Facultad de Ciencias Forestales. 165 p.
27. STANDLEY, P; STEYERMARK, J. 1952. Flora of Guatemala. Chicago, E.E.U.U., Chicago Natural History Museum. Fieldiana Botany. v.24, pte 3, 432 p.

10. APENDICES

