

**CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y CÁLCULO DE FACTOR
DE FORMA (FF.) PARA DOS ESPECIES, TECA (*Tectona grandis*) Y MELINA
(*Gmelina arborea*) EN TRES PLANTACIONES DE LA EMPRESA
REYBANPAC CA. EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS.**

ARMIJOS GUZMAN DARWIN DAVID

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO
DE INGENIERO FORESTAL**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE: El trabajo de tesis titulado “CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y CÁLCULO DE FACTOR DE FORMA (FF.) PARA DOS ESPECIES, TECA (*Tectona grandis*) Y MELINA (*Gmelina arborea*) EN TRES PLANTACIONES DE LA EMPRESA REYBANPAC CA. EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS”, De responsabilidad del Señor egresado **Darwin David Armijos Guzmán**, ha sido minuciosamente revisado, quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Eduardo Cevallos

DIRECTOR.

.....

Ing. Norma Lara

MIEMBRO.

.....

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

Riobamba, Septiembre de 2013

DEDICATORIA.

El presente trabajo investigativo, lo dedico a Dios todo poderoso, Por haberme permitido llegar hasta este sitio, y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además por ser fuente de sabiduría y ciencia e infinita bondad.

A mi sublime familia. Mi querida esposa Alexandra Albán, a mis hijos Elián David y Alisson Alexandra, motor inspirador para culminar una etapa más en mi vida.

A mis padres. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis Hermanos, Klever, Esthelita, Lupita, Martín y en especial a mi hermano Carlos Manuel, por ser un pilar fundamental en el trayecto de mi carrera, a mi amiga y madre a la vez Andreita Parraga. Quienes siempre con amor y sacrificio supieron motivarme, para culminar mis estudios superiores.

A mis queridos suegros, Víctor y Fanny por ese apoyo incondicional y desinteresado en la culminación de mi carrera.

¡Gracias a ustedes!

Darwin David

AGRADECIMIENTO

Con mucha gratitud a Dios Padre por ser la guía fundamental de mi vida, y permitirme llegar a este sitio alcanzando un logro importante en mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal por la enseñanza impartida.

Al ingeniero Eduardo Cevallos, por haber dirigido la presente investigación en calidad de director e ingeniera Norma Lara, en calidad de miembro del tribunal, gracias por el apoyo absoluto, por su paciencia y entrega en todo el lapso de esta investigación, mi gratitud para ustedes.

A mi compañero y amigo Mario Cuví, gracias por su colaboración en esta investigación.

A la empresa Reybanpac CA, a su líder el Ingeniero Patricio Gonzales, gerente de la unidad de producción forestal, al Ingeniero Álvaro Barahona, jefe de estadísticas e inventarios forestales, por ser quienes permitieron el desarrollo de esta investigación y brindándome el apoyo incondicional.

Finalmente deseo expresar mi constancia de gratitud a mi esposa, hijos, mis padres y hermanos por todo el apoyo absoluto.

Muchas gracias...

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO	PÁG.
LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE TABLAS.....	ii
LISTA DE GRÁFICOS.....	iii
LISTA DE ANEXOS	iv
I. TEMA.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	1
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	37
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
VI. CONCLUSIONES.....	81
VII. RECOMENDACIONES	82
VIII. ABSTRACTO.....	83
IX. ABSTRACT.....	84
X. BIBLIOGRAFÍA	85
XI. ANEXOS.....	88

LISTA DE CUADROS

Nº	Descripción	Página
	Cuadro 1 Distribución de parcelas circulares en la plantación forestal.....	8
	Cuadro 2; Canales de distribución	32
	Cuadro 3; parámetros ambientales	34
	Cuadro 4; características físicas y químicas del suelo	34
	Cuadro 5; Ubicación geográfica.....	37
	Cuadro 6; Características climatológicas.....	37
	Cuadro7; Características edáficas	38
	Cuadro 8; Área de cada hacienda en estudio.....	38
	Cuadro 9; Descripción de los tratamientos	43
	Cuadro 10; Esquema del Análisis de Varianza	44
	Cuadro 11; Análisis estadístico del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)	45
	Cuadro 12; Análisis Estadístico Altura Comercial	46
	Cuadro 13; Análisis estadístico del volumen comercial.....	48
	Cuadro 14 Análisis Estadístico Volumen del Cilindro.....	49
	Cuadro 15; Análisis Estadístico del Factor de forma	51
	Cuadro 16; Resumen general y comparación de factor de forma para la hacienda Patolandia	52
	Cuadro 17; Regresión Ecuación # 1.....	54
	Cuadro 18; Regresión Ecuación # 2.....	55
	Cuadro 19; Regresión Ecuación # 3.....	55
	Cuadro 20 Análisis estadístico del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).....	58
	Cuadro 21; Análisis estadístico del volumen comercial.....	59
	Cuadro 22; Análisis estadístico del volumen del cilindro	61
	Cuadro 23; Análisis estadístico de la Altura Comercial	62
	Cuadro 24; Resumen general y comparación de factor de forma para la Hacienda Mulaute	63
	Cuadro 25; Regresión Ecuación # 1.....	65
	Cuadro 26; Regresión Ecuación # 2.....	66
	Cuadro 27; Regresión Ecuación # 3.....	66
	Cuadro 28; Análisis estadístico del Diámetro a la altura del pecho (DAP)	69
	Cuadro 29; Análisis estadístico del Volumen Comercial.....	70
	Cuadro 30; Análisis estadístico del Volumen del Cilindro	72
	Cuadro 31; Análisis estadístico de la Altura Comercial	73
	Cuadro 32; Análisis estadístico del Factor de Forma	74
	Cuadro 33; Resumen general y comparación de factor de forma para la Hacienda Mireya del Pilar (Teca)	76
	Cuadro 34; Regresión Ecuación # 1.....	78
	Cuadro 35; Regresión Ecuación # 2.....	78
	Cuadro 36; Regresión Ecuación # 3.....	79

LISTA DE TABLAS

Nº	Descripción	Página
	Tabla 1; Cálculo de intensidad de muestreo	7
	Tabla 2; Cálculo de intensidad de muestreo	39
	Tabla 3; formato de oficina 1	41
	Tabla 4; Formato de oficina 2	42
	Tabla 5; Especificaciones del campo del experimento	42
	Tabla 6; Tabla de Volumen de doble entrada – Hda Patolandia especie melina (<i>Gmelina arborea</i>)	57
	Tabla 7; Tabla de volumen de doble entrada – Hda Mulaute especie melina (<i>Gmelina arborea</i>)	68
	Tabla 8; Tabla de volumen de doble entrada – Hda MIREYA DEL PILAR Especie Teca (<i>Tectona grandis lf</i>)	80

LISTA DE GRÁFICOS

Nº	Descripción	Página
	Gráfico 1; Diámetro a la altura del pecho (DAP)	45
	Gráfico 2; Altura comercial	46
	Gráfico 3; Volumen comercial	48
	Gráfico 4; Volumen del cilindro	50
	Gráfico 5; Factor de forma	51
	Gráfico 6; Comparación de Volúmenes	53
	Gráfico 7; Representación gráfica de la tabla volumen	54
	Gráfico 8; Diámetro a la altura del pecho (DAP)	58
	Gráfico 9; Volumen comercial	60
	Gráfico 10; Volumen del cilindro	61
	Gráfico 11; Altura comercial	62
	Gráfico 12; Comparación de volúmenes	64
	Gráfico 13; Representación gráfica de la tabla de volumen	65
	Gráfico 14; Diámetro a la altura del pecho (DAP)	69
	Gráfico 15; Volumen comercial	71
	Gráfico 16; Volumen del cilindro	72
	Gráfico 17; Altura Comercial	73
	Gráfico 18; Factor de forma	75
	Gráfico 19; Comparación de volúmenes	76
	Gráfico 20; Representación gráfica de la tabla de volumen	77

LISTA DE ANEXOS

Nº	Descripción	Página
ANEXO 1;	Formato de campo y cálculo de volúmenes	88
ANEXO 2;	Formato para comparación de volúmenes y factor de forma.....	88
ANEXO 3;	Establecimiento de parcelas en los rodales de estudio	89
ANEXO 4;	Establecimiento de parcelas en los rodales de estudio	89
ANEXO 5;	Medición del (DAP) diámetro a la altura del pecho	90
ANEXO 6;	Tumba de árboles en estudio	90
ANEXO 7;	Medición de árboles para factor de forma	91
ANEXO 8;	Toma de datos	91
ANEXO 9;	Extracción de arboles	92

I. CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y CÁLCULO DE FACTOR DE FORMA (FF.) PARA DOS ESPECIES, TECA (*Tectona grandis*) Y MELINA (*Gmelina arborea*) EN TRES PLANTACIONES DE LA EMPRESA REYBANPAC CA. EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS.

II. INTRODUCCIÓN

El cálculo del volumen comercial de árboles en pie es un requisito básico de toda actividad forestal. La práctica requiere de un instrumento fácil, rápido y de exactitud suficiente para tal efecto. Los parámetros a medir deben ser de fácil levantamiento como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura comercial; El instrumento normalmente aplicado que cumple con estos requisitos es la tabla volumétrica o un factor adecuado de forma.

En Sudamérica hasta la fecha se utiliza un factor de forma de 0.65 (según Heinsdijk).

La aplicación generalizada del factor debe ser analizada y remplazada si fuera necesario por procedimientos más adecuados; El volumen del fuste comercial de un árbol está determinado por sus dimensiones (DAP y altura comercial) y, además, por su forma individual.

Si el fuste tuviera la forma de un cilindro su volumen comercial correspondería simplemente al producto del área basal (a la altura del pecho) y la altura comercial; Como normalmente los fustes tienen cierta conicidad, difiriendo más o menos de la forma del cilindro, es necesario considerar la forma como un tercer parámetro de estimación.

Para definir la forma del fuste comercial normalmente se refiere al factor de forma, o sea, al cociente del volumen real y el volumen del cilindro de referencia (producto del área basal y la altura comercial). El factor individual de forma varía con las dimensiones del fuste, con la especie y también difiere de árbol a árbol.

Para contrarrestar esta variabilidad hay que basarse en un número suficiente de árboles por especie de interés para poder calcular promedios del factor de forma estadísticamente confiables; Una vez realizados los cálculos hay que analizar una

posible agrupación de especies para reducir el número de factores a aplicarse en la práctica.

La misma base de datos utilizada para el cálculo de factores de forma también puede ser utilizada para la elaboración de tablas volumétricas. Estas normalmente se basan en funciones volumétricas con una variable dependiente (volumen comercial) y dos variables independientes (DAP y altura comercial).

Anteriormente se había dicho que la forma del fuste comercial varía con las dimensiones del mismo, con la especie y también difiere de árbol a árbol. La variación que se debe a las dimensiones del fuste en el caso de tablas volumétricas está explicada por las variables independientes (DAP y altura comercial) y sólo la variación de árbol a árbol queda como varianza residual.

Las funciones volumétricas deben ser derivadas para cada especie en forma individual y la posible agrupación de especies debe ser analizada en un paso posterior del estudio; Basándose en las funciones volumétricas anteriormente mencionadas se puede calcular las correspondientes tablas volumétricas de dos entradas. Estas tablas también se llaman tablas estándar o tablas generales por su aplicación general.

Se necesita un instrumento muy sencillo para calcular el volumen de cierto bosque puede basarse en funciones de solamente una entrada (normalmente el DAP). Las tablas así calculadas se llaman tarifas o tablas locales y son como dice su nombre de aplicación netamente local.

A. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de esta investigación se lo llevo a cabo, ya que en esta empresa y en la provincia no se cuenta con tablas volumétricas y factor de forma propia de la zona para estas dos especies, por lo tanto se hace necesario el estudio y la construcción de estas tablas para poder mitigar en gran parte el error que se tiene al estimar el volumen de estas dos especies, y sobre todo ayudar al técnico a estimar el volumen más rápido y con mayor exactitud.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Construir tablas volumétricas y calcular el factor de forma, para dos especies, Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*), en tres plantaciones de la empresa REYBANPAC. CA. En la provincia de los Ríos.

2. Objetivos específicos

- a. Determinar que factor de forma se debe aplicar para Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*) en estas haciendas.
- b. Comparar el factor de forma calculado, con el factor de forma utilizado por el MAE.
- c. Comparar tres modelos matemáticos para la construcción de tablas volumétricas

C. HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula

La determinación del factor de forma no influye directamente en la estimación de volumen comercial de un árbol.

2. Hipótesis alternante

La determinación del factor de forma influye directamente en la estimación de volumen comercial de un árbol.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. PROCEDIMIENTOS DEL INVENTARIO DE CAMPO

1. Mapa de la plantación

Para efectuar una adecuada evaluación de una plantación recién establecida, es necesario contar con un mapa o levantamiento del área plantada, que permita poder definir el número de parcelas e intensidad de muestreo a seguir, detalles de las distancias y rumbos de los transeptos y fajas de muestreo, así como la distancia entre parcelas. Detalles de cómo hacer un levantamiento de un área no serán discutidos en este artículo, pero se puede obtener información detallada en alguna de las referencias disponibles (Cordero 1993, Spitler 1995).

2. Estratificación de la plantación

Como primer paso se debe revisar la necesidad de estratificar la plantación en unidades más homogéneas de acuerdo con alguno de los siguientes criterios: diferencia en edad, en especies, en condiciones topográficas (sitios planos, laderas, cóncavos, etc.), en procedencia del material (vivero o procedencia geográfica), en categorías de pendiente, en el espaciamiento inicial, en el sistema de producción (bolsa, raíz desnuda, etc.), u otros criterios. Una adecuada estratificación permite obtener subdivisiones de una plantación en compartimentos más homogéneos, que permiten reducir la variabilidad total existente en la plantación y por tanto, permiten obtener mejores estimados con errores de muestreo más bajos. Detalles sobre una correcta estratificación pueden encontrarse en textos de inventarios forestales (Loetsch et al. 1973, Kramer y Akga 1995, Laar y Akga 1997).

3. Diseño de muestreo

En estadística se conoce como muestreo a la técnica para la selección de una muestra a partir de una población.

Al elegir una muestra se espera conseguir que sus propiedades sean extrapolables a la población. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados

parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un estudio de toda la población, cabe mencionar que para que el muestreo sea válido y se pueda realizar un estudio adecuado (que consienta no solo hacer estimaciones de la población sino estimar también los márgenes de error correspondientes a dichas estimaciones), debe cumplir ciertos requisitos. Nunca podremos estar enteramente seguros de que el resultado sea una muestra representativa, pero sí podemos actuar de manera que esta condición se alcance con una probabilidad alta.

a. Muestreo sistemático

Se utiliza cuando el universo o población es de gran tamaño, o ha de extenderse en el tiempo, esto quiere decir que si tenemos un determinado número de personas que es la población (N) y queremos escoger de esa población un número más pequeño el cual es la muestra (n), dividimos el número de la población por el número de la muestra que queremos tomar y el resultado de esta operación será el intervalo, entonces escogemos un número al azar desde uno hasta el número del intervalo, y a partir de este número escogemos los demás siguiendo el orden.

b. Muestreo estratificado

Consiste en la división previa de la población de estudio en grupos o clases que se suponen homogéneos con respecto a alguna característica de las que se van a estudiar. A cada uno de estos estratos se le asignaría una cuota que determinaría el número de miembros del mismo que compondrán la muestra. Dentro de cada estrato se suele usar la técnica de muestreo sistemático, una de las técnicas de selección más usadas en la práctica.

El inventario realizado fue levantado utilizando un diseño de muestreo de tipo sistemático estratificado.

4. Tamaño de parcelas

Se utilizó parcelas circulares de tamaño fijo de 12,62 m. ubicadas a lo largo de fajas de muestreo.

Con el fin de evitar el clásico problema de los diseños de muestreo sistemáticos, al no ser estos realmente aleatorios en la ubicación de sus unidades de muestreo, se inicia el trabajo de campo con la asignación de la primera parcela, en la primera faja, bajo algún método aleatorio. A partir entonces de esta primera parcela ubicada en forma aleatoria, se continúa con el resto del muestreo en forma sistemática (Kramer y Akga 1995).

Una vez definida la estratificación de la plantación, según sea requerido, se procede a determinar la ubicación de las parcelas y la intensidad de muestreo. Las parcelas circulares han demostrado su eficiencia (menor efecto de borde), facilidad de instalación y costos con respecto a otros tipos de parcelas (Akga 1993, Spitler 1995)

Las parcelas se ubican a lo largo de fajas o transeptos que atraviesan la plantación (Figura. La distancia entre estas parcelas dentro de las fajas, así como la distancia entre fajas debe ser la misma (Kramer y Akga 1995).

Parcelas de mayor tamaño tenderán a incluir dentro de ellas este nivel de micro variación y por lo tanto a reducir el error de muestreo. En forma general, en plantaciones forestales se ha encontrado una óptima relación entre eficiencia de muestreo y costos de instalación cuando la parcela incluye entre 15 y 20 árboles (Akga 1993).

5. Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo (PPM)

La utilización de parcelas permanentes de muestreo en los estudios de la vegetación busca promover la conservación de la diversidad de los diferentes tipos de vegetación y el uso sostenible de los recursos naturales, para lo cual es fundamental conocer cómo cambian estos complejos ecosistemas en el tiempo y en el espacio (Campbell et al. 2002).

El uso de parcelas permanentes permite detectar los cambios espaciales y temporales de la vegetación, así como describir detalladamente el hábitat dentro de un sitio particular, brindando información útil para predecir los cambios futuros a partir de la distribución actual de las especies. Así, estas parcelas proporcionan a las personas encargadas del manejo y la toma de decisiones, las herramientas necesarias para establecer áreas prioritarias de conservación, y para diseñar investigaciones futuras encaminadas hacia su protección o su recuperación (Kent y Cooker 1995).

Sin embargo, además del inventario inicial de la vegetación obtenido en las parcelas es necesario cuantificar los cambios que ocurren a largo plazo para identificar los vacíos de conocimiento y las estrategias que se deben seguir para cubrirlos. Esto se puede lograr por medio del monitoreo de aspectos como la composición, la estructura, el crecimiento, la mortalidad y la supervivencia de las especies, de uno o varios sitios determinados (Comiskey et al. 1999)

6. Intensidad de muestreo, para la evaluación de plantaciones forestales

Tabla 1; Cálculo de intensidad de muestreo

Tamaño del estrato o plantación (ha)	Intensidad de muestreo (% del área neta)	Número de parcelas por ha.	Distanciamiento entre parcelas y fajas (m) ¹
1 a 3	5	5.0	45
3.1 a 6	4	4.0	50
6.1 a 10	3	3.0	60
10.1 a 20	2	2.0	70
20.1 a 50	1.5	1.5	80
> 51	1	1.0	100

(Metodología tomado de Spitler, 1995)

En plantaciones o estratos muy pequeños (1 a 3 ha) el tamaño del error de muestreo es normalmente muy alto, y se requiere entonces de un número mayor de parcelas para lograr estimaciones adecuadamente representativas, tal y como se sugiere en la (Tabla1)

7. Importancia de la evaluación

De acuerdo con la FAO 2006, (Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación) “Evaluación es el proceso de contextualización de los datos del inventario y de asignación de valores al recurso”. Esto quiere decir que la evaluación de los recursos forestales va más allá de la simple toma de datos o mediciones; implica todo el análisis de estos datos a la luz de una situación económica, ecológica y social en que se encuentre el desarrollo del recurso.

Se dice que las evaluaciones de los recursos naturales son costosas y requieren una justificación objetiva, que suele abarcar la función económica y ecológica de los recursos, el uso potencial de la información y los usuarios potenciales de la misma (Klein, 2000).

La evaluación se vale de la medición para obtener los datos necesarios para el análisis. Medición es el arte y la ciencia de localizar, medir y calcular la longitud de líneas, el área de planos y el volumen de sólidos. Esta determinación se hace con relación a algún estándar observado (por ej. metro, kilogramo, segundo) o alguna medida derivada de estas unidades básicas.

La medición forestal se concentra en árboles y bosques. La evaluación forestal también incluye la medición y cálculo del crecimiento y cambio en árboles y bosques. Podemos definir la Medición Forestal como el arte y la ciencia de proporcionar información cuantitativa acerca de los árboles y rodales forestales, necesaria para el manejo, la planeación y la investigación forestal; La evaluación de los recursos forestales es importante por tres razones:

Los recursos forestales a pesar de ser un recurso natural renovable tienen un ritmo de crecimiento que puede ser superado por la tasa de aprovechamiento de los mismos.

La cuantificación de los recursos forestales permite la toma de decisiones en cuanto a la optimización del uso de suelo, incluida en los planes de manejo forestal.

El conocimiento de los recursos forestales permite definir planes de desarrollo regional integrales que incluyen el crecimiento en el sector industrial forestal y de infraestructura productiva y apoyo a las comunidades rurales (camino forestales y caminos rurales).

8. Descripción y estratificación del área del inventario

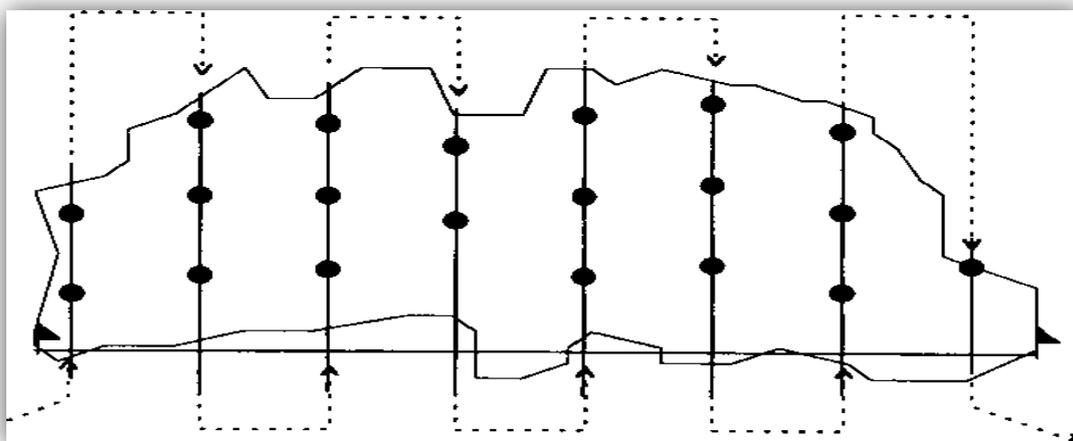
Antes de realizar el inventario es necesario obtener una idea bastante precisa del área, esto se puede lograr mediante revisión de material cartográfico, imágenes de satélite e incluso un reconocimiento del sitio. Es necesario señalar claramente en un mapa las áreas con y sin bosque. Dentro de las primeras se deben diferenciar, cuando sea posible, los bosques de producción y los de protección.

Una vez identificadas las áreas de bosque de producción (área efectiva de manejo), estas deben clasificarse por tipo de bosque o estratos, si es que hay diferencias marcadas que así lo ameriten. Se hace notar que puede haber casos en que exista un solo tipo de bosque.

En general, no es conveniente diferenciar más de cuatro o cinco estratos ya que su diferencia no sería pronunciada (Dauber, 1995). Como se mencionó anteriormente, en el caso de las concesiones se recomienda utilizar la clave propuesta por (Malleux (1982) la cual ha demostrado ser eficiente

9. Ubicación de las parcelas

Cuadro 1 Distribución de parcelas circulares en la plantación forestal



(Tomado de Spitler, 1995)

Distribución de parcelas circulares en la plantación forestal, en un sistema de muestreo sistemático para la evaluación de una plantación.

a. Distanciamiento entre parcelas

Para la determinación del distanciamiento entre parcelas se utilizó la siguiente fórmula

$$\text{Distanciamiento (m)} = \frac{\sqrt{\text{area del terreno en m}^2}}{\text{numero de parcelas}}$$

10. Altura dominante, índice dendrométricos de productividad

La altura de un rodal uniforme a una edad dada, es un buen indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en ese sitio particular. Por eso, la construcción de curvas altura/edad para diferentes clases de sitio, es el primer paso en la construcción de modelos de crecimiento y rendimiento (Alder, 1980).

Según Halaj (1978), la altura es la magnitud que más se utiliza para referirse a la calidad del sitio en bosques homogéneos, según las siguientes razones:

El crecimiento en la altura del rodal es prácticamente independiente del tipo de Intervención a que sea sometida. Se puede decir que las diferencias de alturas son insignificantes para iguales edad y sitio, para rodales sometidos a distintas intervenciones de aclareo, a menos que sean extremadamente fuertes. Aún en los casos que esto sea un punto en discusión, puede asegurarse que es la magnitud que menos resulta influida por las intervenciones.

La altura del rodal se relaciona muy estrechamente con la calidad de los sitios. Las curvas de crecimiento en altura de los rodales para los mejores (o peores) sitios, son sistemas de coordenadas con la edad, en los que la altura para determinada edad será la más alta o la más baja.

La altura del rodal depende sólo de forma insignificante del estado de espesura, en comparación con otras magnitudes del rodal como el diámetro medio, el volumen y área basal por hectárea.

La estrecha correlación de dependencia entre la altura y la producción total en volumen hacen de la altura el indicador más exacto de la calidad del sitio. Esta correlación es tan significativa que mediante la altura se puede hacer el cálculo indirecto de la producción en volumen, lo que no es posible con otros indicadores.

Todos esos beneficios trae acarreado a la altura como indicador del índice de sitio, sin embargo, la altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva no solo a la edad y a la clase de sitio, sino también a la densidad del rodal, por consiguiente, se usa

normalmente la altura dominante en la definición de la altura del rodal. La altura del rodal es un caso insensible a las diferencias de densidad de los rodales (Alder, 1980).

La altura dominante llamada también altura tope puede definirse de varias maneras, pero la definición más ampliamente aceptada, es la de altura promedio de los 100 árboles más gruesos en una hectárea (Halmintont, 1975; Alder, 1980; Parde y Bouchon, 1988).

La altura dominante fue usada por primera vez como magnitud de la calidad de sitio por (Baur 1879), con vistas a la construcción de tablas de producción, es desde entonces que se usa como un requisito indispensable en la modelación del crecimiento y rendimiento.

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su respectivo desarrollo, es decir, por el aumento en sus dimensiones: altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, considerado en un período de tiempo determinado se denomina incremento, el cual representa un aumento en la cantidad de tejido acumulado de floema y xilema en forma de corteza y madera respectivamente (Klepac, 1983)

En general, los modelos de crecimiento y rendimiento son modelos simbólicos que representan procesos de la realidad. En manejo forestal, se elaboran con la finalidad de estimar la producción futura, determinar el turno óptimo, realizar análisis financieros, estimar el crecimiento bajo condiciones donde no existen datos, comparar alternativas de manejo para analizar las mejores opciones de uso de la tierra, simular prácticas silviculturales y sintetizar hipótesis, conocimientos y datos experimentales a una expresión entendible del comportamiento de los bosques (Dykstra, 1984)

B. CUBICACIÓN DE MADERA

1. Definición de cubicación de madera

La cubicación de madera en rollo o transportada no es más que la medición de la misma, dentro de los lugares de procesamiento, en vehículos de transporte, o en lugares de venta por parte de personas relacionadas con actividades forestales, se determinan varios métodos para la cubicación de madera en sus distintas presentaciones (madera en rollo, madera procesada, leña, etc.), de una forma sencilla y rápida para aquellos casos en los cuales se necesita obtener una aproximación del lote de madera que se está midiendo.

Los procedimientos que se sugieren, se basan en criterios técnicos sencillos, sin discriminar la especie de la cual procede la madera. Además se ha incorporado información base sobre unidades de medida como de factores de conversión para realizar los cálculos necesarios para estimar el volumen de la madera.

El propósito de la estandarización de unidades de medida y cálculo de volúmenes de madera está relacionado al adecuado uso y manejo de las guías de transporte de madera en rollo y específicamente en el detalle del inventario físico de la madera transportada.

2. Medición forestal

La medición forestal o dasometría implica la determinación del volumen de árboles completos y de sus partes, las existencias de maderas en rodales, la edad y el incremento de árboles individuales y de rodales completos, así como la magnitud y volumen de sus productos (Pineda. 1994)

Medir correctamente la madera es fundamental en todo proceso de elaboración y de comercialización, un técnico maderero calificado debe dominar estos conceptos, ya que los encontrara en todas las etapas productivas, desde la recepción de las materias primas hasta el despacho del producto terminado, pasando por todos los procesos intermedios de elaboración.

En las empresas, la medición y cubicación de madera se la realiza para: verificar el volumen recibido e indicado en la factura o quía de despacho, programar la producción, medir la producción (ya sea de una máquina o de una línea de producción), elaborar un producto, controlar la calidad, despachar productos, entre otros. Para esto se emplean diferentes instrumentos de medición, siendo los más utilizados la huincha y el pie de meto.

La huincha métrica sirve para medir las longitudes y está compuesta por una carcasa metálica o plástica, en cuyo interior se encuentra enrollada la huincha, la cual tiene inscrita la escala de medición dividida y expresada en pulgadas y milímetros.

Seleccionar el instrumento adecuado dependerá del tamaño, forma y de la precisión que se desee obtener la medida. Para medidas superiores al rango del pie metro, por ejemplo el largo de una moldura, solo se podrá utilizar la huincha métrica.

3. Determinación del Volumen de Madera en Pie

En la actividad forestal con frecuencia se requiere conocer la cantidad de árboles en pie de una superficie determinada. Es imposible medir dicho volumen directamente, por lo que su cálculo se debe hacer en forma indirecta. Por eso, es importante conocer los métodos más usados para su determinación. Por cierto, el método más sencillo para determinar el volumen de madera en pie de un rodal es el cálculo "a ojo"; pero los valores obtenidos por esta vía no tienen respaldo técnico.

4. Métodos más usados en nuestro medio

El mecanismo básico para estimar el volumen en pie de los árboles consiste en convertir a volumen algunas características del árbol, medibles a campo. Por lo tanto, es razonable establecer alguna relación entre esas características del árbol y su volumen. Los dos métodos más difundidos en nuestro país son el método del Factor de Forma o Coeficiente Mórfico y el método de las ecuaciones o Tablas de Volumen.

Existen tres formas para determinar el volumen de una troza, a partir del diámetro:

Diámetro tomado en cuenta el extremo menor de la troza

Diámetro promedio de ambos extremos (Smalian)

Diámetro en el medio de la troza (Huber)

En los tres casos anteriores, el diámetro se puede medir con la cinta diamétrica o con la forcípula, es común que utilicen cintas métricas, en este caso debe de medir en cada uno de los extremos de la troza y se obtiene un promedio del diámetro.

a. **Volumen a partir del diámetro menor**

$$V = (D.\text{menor})^2 * 3.1416 * L / 4$$

Dónde:

V= Volumen, m³ SCC (metros cúbicos sólidos con corteza)

D.menor: Diámetro, extremo menor de la troza, en m.

L: Longitud de la troza, en m.

b. **Volumen a partir de diámetros extremos (Smalian)**

$$V = (D.\text{menor} + D.\text{mayor})^2 * 3.1416 * L$$

Dónde:

$$\Pi = 3.1416$$

L = Largo de la troza

c. **Volumen a partir del diámetro en el medio de la troza (Huber)**

$$V = (D \text{ med})^2 * 3.1416 * L / 4$$

Dónde:

V: Volumen, m³ SCC (metros cúbicos sólidos con corteza)

Dmed: Diámetro en el extremo medio de la troza, en m.

L: Longitud de la troza, en m.

5. Parámetros básicos de medición

a. Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

Medición tomada a una altura normal de 1.30 m sobre el nivel del suelo (Inab, 1999).

Pero si los árboles presentan deformaciones a esta altura, entonces se mide el diámetro donde termina la deformación.

Se usan varios instrumentos para medir el diámetro de los árboles, las ventajas de cada uno de ellos depende de varias circunstancias, como la posición y el estado de la parte del árbol que vaya a medirse, el grado de precisión requerido y la facilidad de transporte del instrumento. La medición se efectúa directamente en centímetros. Para tener un alto grado de precisión, se acostumbra a registrar las mediciones en decímetros.

Si la bifurcación (puente en que se divide el duramen) comienza por debajo de 1,30 m de altura teniendo cada tronco el diámetro requerido será considerado, como un árbol. La medición del diámetro de cada tronco se tomará a 1,30 m de altura.

Si la bifurcación comienza más arriba de 1,30 m, el árbol se contará como uno solo, la medición del diámetro se realiza por tanto por debajo del punto de intersección de la bifurcación. Los brotes de montes bajos se originan entre el nivel del suelo y 1,30 m sobre el tronco de un árbol muerto o cortado. Los brotes de monte bajo que se originan por debajo de 30 cm se miden a 1,30 m sobre el terreno, los que se originan entre 30 cm y 1,30 m o miden a 1.00 m del punto en que se origina.

Los árboles con base de tronco ensanchada o árbol con contrafuertes (gambas) la medición del diámetro se realiza a 30 cm por encima del ensancho o anchura principal de los contrafuertes. En el caso de árboles con raíces aéreas la medición del diámetro se realiza a 30 cm sobre estas raíces.

En el caso de fustes irregulares situados a 1,30 m los árboles con protuberancias, heridas, huecos, ramas, etc., deben medirse por encima del punto irregular. En el caso de un árbol caído, la medición del diámetro se realizará a 1,30 m desde el punto de transición entre el tronco y la raíz.

b. Altura del árbol

Distancia vertical entre el nivel del suelo y la punta más alta del árbol. Cuando se trata de árboles plantados o establecidos en ladera se mide a partir del punto más elevado del terreno, aunque algunas veces este concepto se modifica, por ejemplo si se toma el nivel medio del suelo (Inab, 1999)

c. Altura total

Distancia vertical entre el nivel del suelo y la yema terminal del árbol (Inab, 1999). Para la medición de la altura de un árbol se utilizan varios aparatos forestales, entre los que son los más utilizados los denominados hipsómetros, que mediante una escala de medición y situándose a una distancia conocida del árbol lanzan una visual al ápice de la copa y la base del árbol, obteniéndose así la medida de la altura del árbol.

d. Altura comercial

Es la medida entre el suelo y el punto donde el fuste tiene un diámetro comercial definido.

e. Altura del tocón

Es la medida entre el suelo y la base del primer trozo.

f. Área basal

El área de la sección transversal del árbol aislado a 1,30 m de altura es designada como área basal del árbol o área del círculo, esto a pesar de que la sección transversal de los árboles no siempre es de forma completamente circular. El área basal de un árbol es un componente para el cálculo del volumen también es indicador dasométrico importante para definir el estado y la capacidad del rendimiento. El área basal es importante por mostrar la densidad del rodal o un bosque, la dominancia de las especies y la calidad del sitio.

Todo esto llevará a determinar la distribución del número de árboles por clase diamétrica y así comprender la importancia del área basal.

$$AB = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (1)$$

g. Área basal por hectárea

El área basal es definida como la suma por unidad de superficie de todos los fustes a nivel del DAP, es otra expresión combinada de DAP y Número de árboles. Del área

¹ Fórmula para calcular el área basal

basal y el número de árboles por unidad de superficie es directamente deducible el diámetro cuadrático medio.

Las dos expresiones - área basal y diámetro medio cuadrático son equivalentes y se utilizan como índices de densidad (Husch, 2001).

Para quienes tienen suficiente experiencia en terreno, el área basal es una medida directa de la densidad, para un sitio y edad dada. Quienes todavía no la tienen pueden usar su equivalente - diámetro medio cuadrático y número de árboles por hectárea - ya que permite ilustrar la densidad del rodal como una agregación de N árboles en la superficie de un DAP promedio.

h. Volumen de árboles en pie

Se define como la cantidad de madera estimada en m³ a partir del tocón hasta el ápice del árbol. El volumen puede ser total o comercial, sin incluir las ramas. Depende a partir de que se tomen las alturas, si es altura comercial, o altura total. En latifoliadas normalmente se calcula el volumen comercial del fuste.

En plantaciones forestales se pueden hacer estimaciones del volumen en pie, aprovechable o remanente a una edad determinada, o bien en una eventual venta de la plantación, pero es en los raleos y cosecha final donde los árboles cortados producen gran cantidad de trozas que serán comercializadas y por tanto se deben cubicar (Cailleux, F.1980).

Este caso se da cuando el árbol aún se encuentra en pie. Entonces se utiliza la siguiente fórmula Smalian:

$$V = \frac{3.1416 \times (\text{DAP})^2 \times h \times \text{ff}}{4} \quad (2)$$

Dónde:

V = Volumen de la madera en metros cúbicos

DAP = Diámetro del árbol a la altura del pecho en metros

h = Altura comercial del árbol en metros

ff = factor de forma calculado para la especie in situ

Esta fórmula será de mucha ayuda si quieres saber la cantidad de madera que podrás obtener de los árboles en pie que hay en la plantación. Debemos saber que la medida del DAP (diámetro a la altura del pecho) se debe tomar a 1.30 m de altura de la base. Para aplicar la fórmula también se necesita la altura comercial (hc) del árbol, es decir la altura hasta donde el fuste esté recto y que sea comercial.

² Fórmula para estimar el volumen de árboles en pie

6. Factor de forma

Es un factor de reducción, porque el árbol no tiene la forma de un cilindro. Su volumen siempre es menor al de un cilindro. La obtención de dicho factor se efectúa tomando el volumen real y dividiéndolo entre el volumen de un cilindro con el diámetro medido a una altura de 1.30 metros en el árbol.

El factor de forma (ff) es una característica que tiene cada especie, pero, por convenio, se utiliza el valor de 0.70 para todas las especies.

Cada especie tiene su característico factor de forma que también varía durante el tiempo de crecimiento. El factor de forma lleva también el nombre de factor mórfico. Como no existe mucho conocimiento sobre el F de las diferentes especies, se recomienda la reducción del cilindro por $F = 0.65$ (según Heinsdijk).

a. **Recolección de datos**

Los datos fueron recabados durante las actividades de aprovechamiento de rodales pertenecientes a la empresa. Los parámetros necesarios para la elaboración de tablas volumétricas y para el cálculo de factor de forma, fueron medidos en todas las trozas aprovechadas de las dos especies.

En conjunto se midieron 1082 individuos de Melina (*Gmelina arborea*) y 331 individuos de Teca (*Tectona grandis*) durante los trabajos de aprovechamiento, los variables que fueron medidos para cada individuo son:

DAP (Diámetro a la altura del pecho)

Largo de la troza

Número de la troza por árbol

Diámetro (D.may) en la base de la troza (media de dos mediciones en Forma de cruz)

Diámetro (D.men) en la punta de la troza (media de dos mediciones en Forma de cruz)

Longitud comercial hasta un diámetro mínimo de 13 cm

Esta longitud también la obtenemos de la sumatoria de cada sección o troza del fuste, hasta el diámetro mínimo antes mencionado.

En el caso de madera aprovechable, los diámetros fueron medidos con corteza y con un diámetro mínimo de 13 cm, todos los datos obtenidos, fueron a partir del primer inventario forestal general de esta empresa forestal realizado en el año 2011.

b. **Cubicación de trozas**

El volumen de un árbol se obtiene al sumar los volúmenes de todas sus trozas. En el presente trabajo, el volumen de un árbol se define como la masa de madera que aflora

sobre la tierra. Según esta definición el volumen de un árbol puede incluir al volumen de trozas no aprovechables.

Para calcular el volumen de una troza se usa la siguiente fórmula (Smalian)

$$V/\text{troza} = L * 0,7854 \frac{(d1^2 + d2^2)}{2}$$

Dónde:

V= Volumen de la sección

L= Largo de la sección

d1= Diámetro inferior de la sección

d2= Diámetro superior de la sección

7. Elaboración de tablas volumétricas

Para elaborar tablas volumétricas o calcular factores de forma se necesita una muestra Suficientemente grande por especie de interés.

a. Sugerencias para la toma de datos de campo

La toma de datos puede ser realizada en árboles cortados o en árboles en pie utilizando un instrumento óptico en este caso (relascopio de Bitterlich) o a su vez con el (clinómetro de sunto) para las alturas.

De cada árbol muestra se necesita el DAP, la altura comercial y el volumen del fuste comercial.

El DAP, que es el diámetro de referencia se mide a la altura del pecho (1.30m), desde el suelo o del lado más alto en caso de pendientes. Si hay deformaciones o aletones se mide encima de estos, anotando también la altura de medición en este caso.

La altura comercial es el largo del fuste desde el tocón hasta la primera bifurcación o si no hubiera bifurcación hasta un diámetro límite de 20 cm. En el caso de árboles en pie la altura del tocón está definida como 30 cm.

Para poder calcular el volumen del fuste comercial éste debe ser dividido en secciones del mismo largo (2m). Empezando con la primera sección (que se encuentra al lado del tocón) se mide los diámetros al principio y al final de cada sección hasta llegar a la última sección, cuyo largo también hay que anotar si fuera diferente del estándar establecido.

La medición del DAP y de los diámetros de cada sección, en el caso de árboles cortados, debe ser realizada con el mismo instrumento (forcípula o cinta). En el caso de

forcípula es recomendable basarse en dos mediciones en forma de cruz (diferenciándose por un ángulo de 90°).

Si las mediciones se realizan en árboles en pie, hay que utilizar un instrumento óptico para la medición de los diámetros de secciones.

Utilizando el relascopio de Bitterlich éste debe ser colocado de forma estable (utilizando Trípode) a una distancia fija del árbol (se recomienda 10 m). Empezando en 2.30 m de altura se realiza una medición del diámetro cada 2 m hasta llegar al final del fuste comercial.

En este punto, adicionalmente al diámetro también hay que medir la altura comercial.

El DAP y el diámetro en la altura del tocón (30 cm) en el caso de mediciones de árboles en pie se miden con forcípula.

b. Ecuaciones y tipos de tablas volumétricas

Una ecuación de volumen es una fórmula matemática que predice el volumen de un árbol a partir de ciertas características o variables que se pueden observar y tomar en ese árbol.

Cuando los valores que predice la ecuación se disponen en forma de tabla, hablamos de tabla de volumen.

Las características observables del árbol que históricamente se han usado son el DAP, la altura y la forma; el DAP y la altura pueden medirse, pero no la forma. Según sean de cuáles de estas características se emplean, se reconocen tres tipos de tablas de volumen:

b.1 Ecuaciones

El más simple corresponde a una ecuación de volumen local, y es el siguiente:

$$\text{Volumen} = a + b D^2$$

Dónde:

D = el diámetro a la altura del pecho

V = el volumen

a y **b** son constantes del modelo.

Un ejemplo numérico es: $V \text{ (m}^3\text{)} = - 0,037 + 9,12. D^2$; con D en metros.

b.2 Tipos de tablas de volumen

- Locales o simple de una entrada: predicen el volumen a partir del DAP.
- Estándar o de doble entrada: predicen el volumen a partir del DAP y la altura.
- De Forma: predicen el volumen a partir del diámetro, la altura y algún indicador de forma.

Las tablas de uso más frecuente son las Locales y las Estándar. En teoría, cualquier fórmula matemática podría usarse para expresar una ecuación de volumen, aunque hay modelos que se han difundido y son aceptados a nivel internacional.

Ventajas de las tablas volumétricas

Son sistemas simples de aplicar y relativamente precisos.

Una vez que se desarrolló una tabla de volumen estándar para una región y especie, teóricamente sirve para siempre.

Contar con una tabla local tiene la ventaja de eliminar la necesidad de medir alturas, procedimiento lento, fastidioso y muchas veces poco exacto.

8. Procesamiento de Datos e Instrumentos Estadísticos

a. Cálculos Preliminares

El cálculo de factores de forma y/o tablas volumétricas como anteriormente indicado está basado en el DAP, la altura comercial y el volumen comercial de cada árbol muestreado.

a.1 El DAP.- forma parte de los datos de levantamiento.

a.2 La altura comercial.- se obtiene sumando los valores del largo de cada sección que normalmente es de 2 m. Solamente en el caso de la última sección puede diferir de este valor.

a.3 El volumen comercial.- se obtiene sumando el volumen de cada sección, el cual se calcula con la fórmula de Smalian.

Midiendo el DAP y la altura de un árbol y conociendo su factor de forma, podemos determinar el volumen de ese árbol. Sin embargo, hay un problema y es que el factor de forma de un árbol recién se conoce cuando se conoce su volumen. Obviamente, no tiene sentido medir el volumen de un árbol para calcular su factor de forma, para luego determinar el mismo volumen que ya se conoce, por lo que es necesario determinar un valor promedio del coeficiente aplicable a todos los árboles de interés.

a.3 Factor de forma.- Para su cálculo se selecciona una muestra de árboles del conjunto de interés, a cada uno se le mide el DAP, la altura y el volumen, y con esos datos se estima el (FF) promedio.

Finalmente, se aplica este promedio a todos los árboles de interés. En consecuencia, una vez determinado el (FF) promedio, la fórmula a aplicar es:

$$V_i = g_i \times h_i \times FF$$

Dónde:

V_i = es el volumen promedio de todos los árboles que tengan área basal (**g_i**) y altura (**h_i**).

Sin embargo, el método tiene algunos inconvenientes que hacen que su aplicación no sea tan confiable. El primero de ellos es que no siempre se estima el valor promedio de (ff), sino que se le asigna un valor arbitrario, usualmente cercano a 0,74 y desconocemos si ese valor sobreestima o subestima al verdadero.

El segundo es que (FF) disminuye a medida que el árbol crece.

Ej. Si el productor tiene hoy un rodal con árboles de 20 cm de DAP, el (FF) sería 0,467; cuando el rodal tenga árboles de 40 cm y calcule el volumen con el mismo (FF), estará sobrestimando su volumen en un 15 por ciento.

En consecuencia, utilizar en el futuro un coeficiente o (FF) promedio calculado hoy resulta erróneo y arriesgado.

La primera pregunta que surge es; **¿Conviene usar una tabla local o una tabla estándar?**

Lo razonable es la siguiente secuencia:

Desarrollar una tabla estándar para una especie y una determinada región.

Para un rodal en particular de esa especie y situada dentro de una región - derivar y aplicar una tabla local. Trabajar a nivel regional implica cubrir simultáneamente un muy alto número de plantaciones de dueños distintos y éstos rara vez se ponen de acuerdo para financiar este tipo de trabajo, por lo tanto, la tabla estándar regional suele no existir en nuestro medio. (Aldana Et Al, 1994)

Una vez realizado las respectivas toma de datos de campo y calculados los valores del volumen comercial, se calcula el factor de forma como cociente del volumen total de todos los fustes y el volumen total de los cilindros de referencia:

$$F = \frac{\sum VF}{\sum VC}$$

Dónde:

F= Media ponderada del factor de forma

VF= Volumen comercial individual de cada fuste

VC= Volumen correspondiente a cada cilindro de referencia

Esta fórmula corresponde a una media ponderada del factor de forma y está derivado de la fórmula general de la media ponderada:

$$\dot{X} = \frac{\sum wx}{\sum w}$$

Dónde:

x = valor individual de la muestra

w = factor de ponderación

Cada valor individual **x** de la muestra en nuestro caso corresponde al factor individual de forma de un árbol muestreado (**x = V / V**).**f c**

Utilizando el volumen del cilindro de referencia (**Vc**) como factor de ponderación se obtiene la fórmula anteriormente mencionada para el cálculo del factor de forma (**FF**).

Es recomendable utilizar la media ponderada para dar más peso a los fustes de mayor dimensión, El error admisible que corresponde a la media ponderada se calcula según la fórmula:

$$E = t \sqrt{\frac{\sum w(x - \dot{x})^2}{(n-1)\sum w}}$$

Dónde:

E = Error admisible

x = Valor individual de la muestra

\dot{x} = Media ponderada

w = Factor de ponderación

t = Valor de Student

El error admisible en porcentajes de la media, preferentemente no debería sobrepasar de 1% a un nivel de confianza de 99%. Si se quiere reemplazar el valor tradicional del factor de forma de 0.65 hay que tener bastante certeza estadística. Admitiendo por ejemplo un 10% de error, un valor calculado de 0.70 estaría dentro del ámbito de error.

Una vez calculado el factor de forma para cada especie de interés hay que analizar la posible agrupación de especies sobre la base de criterios estadísticos y prácticos.

El instrumento estadístico para tal efecto es el análisis de varianza que permite probar si las medias de las diferentes especies pertenecen a la misma población o no.

9. Funciones volumétrica

El volumen del fuste comercial, calculado según el procedimiento indicado anteriormente, puede ser representado en función del DAP y de la altura comercial. Varios tipos de funciones (logarítmicas y no logarítmicas) han sido propuestas para este fin, como por ejemplo:

Meyer

$$v = a_0 + a_1 d + a_2 d h + a_3 d^2 + a_4 d^2 h$$

Schumacher-Hall

$$v = a d^b h^c$$

$$\ln v = a_1 + b \ln d + c \ln h$$

Spurr

$$v = a (d^2 h)^b$$

$$\ln v = a_1 + b \ln d^2 h$$

Instituto de Investigación Forestal de Baden-Württemberg

$$\ln v = a_0 + a_1 \ln d + a_2 \ln^2 d + a_3 \ln h + a_4 \ln^2 h$$

Dónde:

V = volumen del fuste comercial

d = diámetro de referencia (DAP)

h = altura comercial

a0, a1, = coeficientes de la función

Para derivar estas funciones con los datos de una muestra se utiliza regresiones múltiples basadas en el método de los mínimos cuadrados.

c. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

1. Teca (*Tectona grandis L.f*)

Clasificación taxonómica

Tectona grandis L. f

Reino: Plantas

Filum: Spermatophyta

Subphylum: Angiospermae

Clase: Dicotiledónea

Orden: Lamiales

Familia: Verbenaceae

Es el nombre del árbol y de la madera, una de las más valiosas del mundo. El nombre común se deriva de su nombre botánico: *Tectona Grandis* Linn F.; de la división de Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, Es una especie de fuste recto, su corteza es áspera y delgada, fisurada de color café claro, la albura es amarillenta, el corazón es de color verde oliva que al cortarse toma el color café oscuro; es dura, pesada y presenta anillos de crecimiento, es resistente a plagas y enfermedades.

Se conoce con los nombres comunes de teca (India, Siam, Birmania, Indonesia), may sak (Laos), teck y giati (Vietnam), ojati (Java), teca (Cuba, España), teck (Francia), saca (sánscrito), sag (arábigo), mahрати (indio), sag y sagwan (lenguas derivadas del sancristo), teka (tamil y otras lenguas dravídicas), teck (Francés) (Betancourt, 1987).

La madera es fina y con cualidades muy apreciadas por sus diferentes usos, es anticorrosiva, tiene resistencia a los hongos y a la intemperie, tiene un aceite antiséptico que la protege de diferentes organismos, su durabilidad natural es buena.

Como plantación se adapta a climas con una estación seca definida de 3 a 5 meses, con temperaturas que oscilan entre los 22 y 28 grados centígrados, con una precipitación media anual de 1.250 mm a 2.500 mm y una altitud de 1.000 m.s.n.m., con suelos bien drenados, franco-arcillosos con pH neutro o ligeramente ácido. (Betancourt, 1987).

a. Distribución geográfica

Se encuentra en estado natural en la India, Birmania, Tailandia, Indochina (especialmente en Java) y Malasia. No obstante ha sido plantada en Filipinas, África, Guyana Británica, Puerto Rico, Costa Rica, Cuba, Haití, Jamaica, Trinidad y Tobago, Honduras, Ecuador, Colombia, Venezuela, Brasil Camboya, Laos y en Vietnam (Norte y Sur) (Betancourt, 1987).

Tectona grandis, forma parte en su área de distribución natural, de los bosques tropicales mixtos deciduos, aunque también se encuentra en los semideciduos, mezclada con especies siempre verdes (Sablón, 1980).

El árbol de teca es natural de India, Birmania, Tailandia, Indochina y Java, sin embargo, ha sido extensamente sembrado por su madera y por razones ornamentales dentro de su hábitat natural y en todas las regiones tropicales del mundo: Este y oeste de África, Indias Occidentales, Cuba, Jamaica, Trinidad, Costa Rica, Panamá, Brasil, Estados Unidos (sur de Florida), Puerto Rico. Los primeros países del continente Americano que introdujeron esta especie son Trinidad y Tobago en 1913. Posteriormente se distribuyó al resto de América.

En Ecuador tiene su ingreso aproximadamente a partir de 1950 específicamente en la provincia de Los Ríos, demostrando una excelente adaptación, posteriormente se expande a otros lugares, alcanzando alturas en su desarrollo que sobrepasan los 30 metros y producciones de 375 M3/HA en 25 años de cultivo ³.

b. Exigencias ecológicas

Tectona grandis, forma parte en su área de distribución natural, de los bosques tropicales mixtos deciduos, aunque también se encuentra en los semideciduos, mezclada con especies siempre verdes (Sablón, 1980).

c. Clima y temperatura

Haig et al., (1959) informan que esta especie logra su máximo desarrollo y tamaño en un clima tropical cálido y húmedo, con precipitación pluvial de 1270 mm a 3800 mm, aunque puede existir en sitios donde las lluvias no pasen de 760 mm y en los que alcanzan más de 5000 mm anuales. En cuanto a la temperatura, los autores citados dicen que la teca se puede desarrollar en lugares donde las temperaturas mínimas bajen hasta 1,7 °C y en los que las máximas alcancen 46 °C. Sobre los requisitos de humedad atmosférica, existen marcadas variaciones entre las diferentes procedencias de las especies.

Birmania y el norte de Tailandia requieren una humedad atmosférica, durante la estación seca, que no sea inferior a 60 %, mientras que las regiones secas de la India toleran que la humedad descienda hasta 30 %.

d. Topografía y tipo de suelo

Haig et al., (1959) informan que la teca se desarrolla en una gran variedad de suelos y de formaciones geológicas. En tanto el suelo posea una suficiente profundidad y

³ <http://teakec.com/procesamos.html>

fertilidad y cuenta con humedad y avenamiento adecuados, el desarrollo de la teca será igualmente satisfactorio en aluvión o en suelos derivados de arenisca, arcilla pizarrosa, granito o esquisto. No soporta las inundaciones o el encharcamiento, y por eso no se desarrolla bien en suelos arcillosos rígidos.

Por tal razón, casi todos los bosques de teca se hallan situados en un terreno ondulado o montañoso.

e. Índice de sitio

El índice de sitio se considera como la capacidad de producir de un bosque u otro tipo de vegetación, como producto de la interacción de los factores edáficos, bióticos y climáticos (Jadan, S 1972).

El índice de sitio indica la capacidad de producción de un área forestal para una especie o combinación de especies y está determinada por la acción e interacción de los factores climatológicos, edáficos topográficos y bióticos.

La primera fase de un estudio de crecimiento y rendimiento es la elaboración de un sistema para la clasificación de la productividad de los sitios forestales los cuales constituyen el conjunto de factores edáficos y bióticos que determinan la permanencia y la productividad de biomasa de determinada comunidad forestal, sea esta natural o creada por el hombre (Álvarez y Varona, 1988).

La productividad es un concepto biológico y no puede expresarse matemáticamente. Por ello, se ha optado por representar la calidad de sitio a través de un índice denominado índice de sitio e índice de productividad, ambos muy populares porque son una expresión cuantitativa de la calidad de sitio (Prodan et al., 1997).

f. Factores fundamentales que determinan el crecimiento

- **Factores climáticos:** La temperatura del aire, la humedad, la energía radiante, Precipitación, viento, etc.
- **Factores Edáficos:** la profundidad efectiva, las propiedades físico químicas, la Humedad el PH, los microorganismos etc.
- **Factores topográficos:** pendiente y forma de relieve altitud y exposición.
- **Factores de competencia:** Otros árboles, vegetación menor, animales etc.

Los factores anteriores pueden ser descritos en términos de ciertas características numéricas específicas. Por ejemplo oferta de agua disponible bajo el suelo, profundidad efectiva de la raíz, acumulación de humus en el horizonte A, nivel del fosforo

disponible en el suelo y así sucesivamente para cada factor, en realidad todos los factores intervienen por si solos en una gran interacción dando como resultado un crecimiento potencial específico (**Lavery, 1986**).

En general los factores de sitio pueden tener una variación espacial con un patrón característico que hace que existan interdependencias entre ellos, Cuando existen discontinuidades espaciales en uno o en varios de los factores de sitio, la dinámica natural se encarga de suavizar esos espacios creando zonas de transición entre un sitio y otro. (Corlovan, P., Gouet, R. y Reyes, C. 1998)

g. Calidad de sitio

La calidad de sitio es uno de los factores más importantes que determinan el crecimiento de los árboles y de las masas forestales, así como la producción de los terrenos. Durante muchos años, el establecimiento de plantaciones forestales ha sido realizado sin tener un conocimiento claro y adecuado de la capacidad productiva de los lugares, ocupando en ocasiones sitios inadecuados.

Como es lógico suponer, en el caso de los terrenos forestales al igual que en los agrícolas, la cantidad y la calidad de los rendimientos producidos depende estrechamente de la capacidad productiva del lugar. En consecuencia, uno de los primeros pasos necesarios para el manejo forestal intensivo es poder determinar la capacidad productiva de los terrenos, (esto es, la calidad de sitio), para diferentes especies alternativas. Esto permitirá establecer, sin lugar a dudas, una comparación de los rendimientos y de su valor potencial, de tal manera que se podrá seleccionar la especie más productiva y valiosa para cada situación. Por otra parte, esta información también le permitirá prever los futuros gastos y ganancias asociadas con el manejo intensivo de los rodales.

De acuerdo con **Carmean (1975)**, las ventajas de concentrar el manejo intensivo en los sitios más productivos son:

Los buenos sitios producen rendimientos más altos y de mejor calidad (**Carmean y Boyce, (1974)**), esto es, una mayor cantidad y una mejor calidad de los productos.

Los sitios buenos producen árboles de tamaño comercial más rápidamente, acortando las rotaciones y minimizando el interés compuesto de la inversión.

Las especies maderables más valiosas con frecuencia requieren buenos sitios para su desarrollo.

Los sitios buenos pueden responder mejor a las prácticas silviculturales intensivas tales como entresacas, fertilización y drenajes).

h. Factores limitantes

Entre los factores limitantes más importantes para el crecimiento de teca se consideran los terrenos relativamente planos, el suelo poco profundo (con afloramiento rocoso o roca a poca profundidad), mal drenados, o sitios anegados (tipo Vertisoles de depresión), suelos compactados o arcillosos. Sitios planos con un estrato superficial de arena, suelos lateríticos duros, suelos profundos secos y arenosos no son recomendables.

Los factores anteriores pueden ser descritos en términos de ciertas características numéricas específicas. Por ejemplo oferta de agua disponible bajo el suelo, profundidad efectiva de la raíz, acumulación de humus en el horizonte A, nivel del fósforo disponible en el suelo y así sucesivamente para cada factor, en realidad todos los factores intervienen por si solos en una gran interacción dando como resultado un crecimiento potencial específico (Lavery, 1986).

La productividad es un concepto biológico y no puede expresarse matemáticamente. Por ello, se ha optado por representar la calidad de sitio a través de un índice denominado índice de sitio e índice de productividad, ambos muy populares porque son una expresión cuantitativa de la calidad de sitio (Prodan et al., 1997).

En cuanto a las condiciones químicas, el bajo contenido de calcio, magnesio y fósforo, limitan el buen desarrollo de la especie, también el alto contenido de hierro (Fe) y de aluminio (Al) intercambiable. La especie es sensible al fósforo y las deficiencias producen bajo volumen de biomasa radicular que posiblemente afecta la producción y la Salud de la planta. La restitución de elementos como fósforo y potasio al suelo a través de la hojarasca presenta niveles bajos comparados con otros elementos como nitrógeno, calcio y magnesio. Altitudes mayores a 1000 msnm afectan negativamente el crecimiento, así como los sitios bajos con alta precipitación (mayores a 3500 mm al año) o sin un período seco marcado de 3 meses no son recomendados para plantar la especie.

En general los factores de sitio pueden tener una variación espacial con un patrón característico que hace que existan interdependencias entre ellos, Cuando existen discontinuidades espaciales en uno o en varios de los factores de sitio, la dinámica natural se encarga de suavizar esos espacios creando zonas de transición entre un sitio y otro. (Corlovan, P., Gouet, R. y Reyes, C. 1998).

Deben evitarse sitios con una distribución de las lluvias en periodos muy cortos o que presentan un veranillo muy largo, aquí la especie tiende a botar las hojas dos veces con el consecuente gasto de energía.

La teca es una especie heliófita, con alta demanda de luz vertical total y requiere de un espacio amplio alrededor para el desarrollo apropiado. Se mencionan también como

factores limitantes la presencia de malezas ya que es muy sensible a la competencia radical y los incendios. Se recomienda no plantar en lugares con:

- Pendiente mayor al 30% para no causar problemas de erosión
- En la parte media y en la cima de las laderas porque el incremento es pobre
- En sitios con fuertes vientos

i. Evaluación de la calidad de las plantaciones

Las primeras plantaciones establecidas en el país están siendo aprovechadas en su turno final, para otras, de ciclos más largos, los raleos se convierten en una fuente de materia prima para una industria creciente basada en el aprovechamiento de trozas de pequeñas dimensiones, lo cual ha llevado a que la evaluación y valoración de plantaciones forestales haya tenido mucha importancia en los últimos años en el sector forestal.

En 1990 se iniciaron las investigaciones, dando origen a la primera metodología para evaluar la calidad de las plantaciones. La metodología tiene varias aplicaciones y facilita la toma de decisiones: en la valoración y comercialización de madera en pie, en el planeamiento industrial y principalmente para estimar a edad temprana si la plantación rendirá comercialmente lo esperado.

Su mayor aporte está en que permite diferenciar, con un nivel alto de certeza, los efectos que pudieron haber ocasionado una mala asistencia técnica a la plantación (efecto silvicultural), y el uso de material inicial (semilla) de mala calidad (efecto genético).

Para su aplicación debe realizarse un inventario sistemático, utilizando parcelas circulares de tamaño fijo, que se ubican equidistantes a lo largo de fajas de muestreo.

A los árboles presentes en las parcelas se les estima la calidad del árbol completo o de sus primeras 4 trozas comerciales (de 2,5 m de largo), en 4 categorías: Calidad 1 o sobresaliente, Calidad 2 o aceptable, Calidad 3 o marginal y Calidad 4 o árbol no aserrable.

La asignación de la calidad se basa en 8-9 variables cuantitativas y cualitativas. Según sea la especie, se pueden adicionar otras características cualitativas que puedan afectar de forma importante la calidad y utilidad de la materia prima.

j. Índice de calidad general

Debe utilizarse preferiblemente en plantaciones no raleadas, su valor oscila entre 1,0 y 4,0. Valores cercanos a 1 se dan en plantaciones de alta calidad.

Formula:

$$\text{ICGEN} = (N1*1 + N2*2 + N3*3 + N4*4) / (N1 + N2 + N3 + N4)$$

k. Índice de calidad de cosecha

Permite comparar plantaciones de diferente edad, manejo y composición de especies, etc. Está basado en la cantidad de individuos presentes por hectárea de calidad 1 y 2, ya que las categorías calidad 3 y 4, son eliminadas durante los raleos.

Una plantación con 400 individuos de calidad 1+2 es excelente y con menos de 200 individuos es de mala calidad.

Formula:

$$\text{ICCOS} = N1 + N2$$

l. Índice de calidad de troza

Este es de mayor utilidad para la industria forestal.

Plantaciones con más de 1600 trozas/ha de calidad 1+2 son excelentes y aquellas con menos de 800 trozas no son aceptables para la producción forestal. Se considera un largo de troza de 2,5 m.

Formula:

$$\text{ICTROZ} = T1 + T2$$

Aplicando esta metodología en plantaciones de teca con edades entre 4 y 10 años en diferentes zonas de del país, se encontró que los principales defectos en los árboles son:

Un 26% presentan ramas de reiteración, el 27% fustes inclinados, el 40% con torceduras leves, 5% con bifurcaciones, el 6,7% posee problemas sanitarios y el 3,3% grano en espiral, se concluye que las plantaciones presentan una calidad promedio aceptable (254 árboles/ha de calidad uno y dos, con 843 trozas comerciales/ha) con gran potencial de avance en la calidad y productividad a través de mejoramiento genético y silvicultura.

m. Estimación del volumen en pie

Diversos trabajos se han realizado con el fin de determinar el volumen en pie, los esfuerzos realizados en Costa Rica por diversos investigadores, han permitido acumular un total de 18 ecuaciones en un periodo de 25 años. Una compilación y evaluación de los mismos permitió elaborar nuevos modelos para reducir la incertidumbre y mejorar la precisión en el cálculo del volumen.

n. Crecimiento

Existen gran cantidad de tablas de crecimiento para teca a nivel mundial, todas tienen como característica que el Incremento Medio Anual (IMA) máximo se alcanza entre los 6 y 20 años y, además, sobreestiman la producción.

Como ejemplo, se menciona que en Indonesia se han obtenido en la corta final 100 m³/ha y una cifra similar en raleos, resultando un IMA de 3 m³/ha/año y no de 13 m³/ha/año en turnos de 40 a 90 años.

En la India se han logrado IMAs de 2,5 m³/ha/año en rotaciones de 70 años, entre 8 y 11 m³/ha/año en Benin y Costa de Marfil con una edad entre los 6 y 20 años. Para Costa Rica se da cifras de 6,9 m³/ha/año con una rotación de 40 años.

Existen diferencias marcadas en crecimiento, como consecuencia de las diversas calidades de sitio, edad y densidad de plantación. En general, se reporta un Incremento Medio Anual que varía entre 10 y 25 m³/ha/año.

o. Rendimiento

Se han realizado diversos esfuerzos para predecir el crecimiento y rendimiento de las plantaciones de teca en Costa Rica. Al respecto, se propone un esquema de manejo bajo diferentes escenarios, considerando dos densidades de siembra inicial (1111 y 816 árboles/ha) y el área basal máxima de 18 y 20 m²/ha.

Oferta y demanda, en economía, instrumentos esenciales para la determinación de los precios. Según la teoría (o ley) de la oferta y la demanda, los precios de mercado de los bienes y servicios se determinan por la intersección de la oferta y la demanda⁴.

La oferta de Ecuador es muy baja teniendo así un mercado insatisfecho en relación a otros países vecinos como Colombia, Chile y Perú que son países que producen más que el nuestro.

Actualmente el Ecuador alcanza 25000 ha de teca y exporta casi la primera parte de lo que exporta Chile que es 4000 millones de dólares anuales en teca. Que comparada con los países antes mencionados es muy poca⁵.

La primera fase de un estudio de crecimiento y rendimiento es la elaboración de un sistema para la clasificación de la productividad de los sitios forestales los cuales constituyen el conjunto de factores edáficos y bióticos que determinan la permanencia y

⁴ Microsoft ® Encarta ® 2009.

la productividad de biomasa de determinada comunidad forestal, sea esta natural o creada por el hombre (Álvarez y Varona, 1988).

p. Precio

Los precios que se pagan al productor pueden llegar hasta 210 dólares por metro cúbico (se mide así por la forma cilíndrica del tronco). Esto si es una madera de óptima calidad, de lo contrario, el precio es menor.

Sin embargo, al darle valor agregado, el precio sube. Para la exportación Cada metro cubico hecho tablón previamente seleccionado cuesta entre 1.000 y 2.000 dólares³.

q. El Ecuador dentro del sector maderero Mundial

El Ecuador, está considerado como uno de los países tropicales con mayor diversidad en el mundo. Su posición geográfica, en la línea ecuatorial, la presencia de cuatro regiones completamente diferenciadas; determinan la existencia de una variedad climatológica, pluviosidad, tipos de suelos y luminosidad que permite la formación de una vegetación particular con frutos de un sabor único.

Estos factores han permitido establecer diversos cultivos forestales, que por su ubicación geográfica algunas zonas disponen de 12 horas de luz al día, durante todo el año, lo que incide en una mayor velocidad de crecimiento de especies forestales valiosas, tanto nativas como exóticas, que demandan el mercado nacional e internacional.

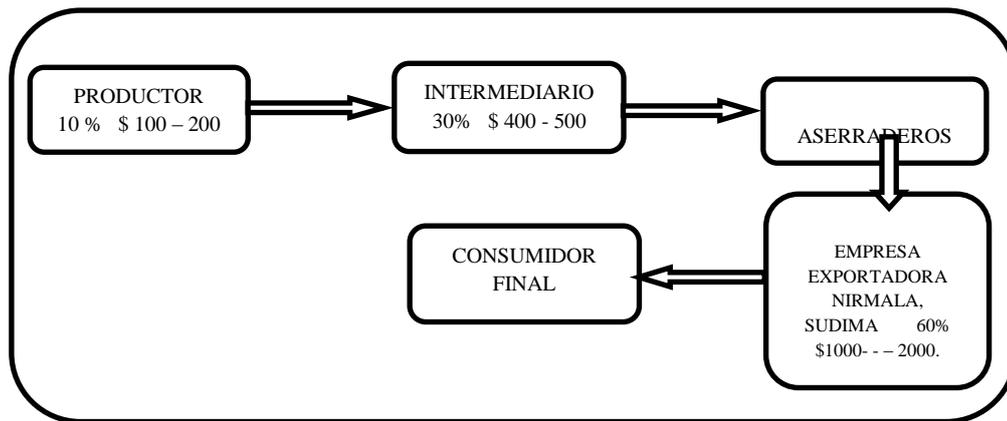
La producción de TECA se ha incrementado en el Ecuador desde la década de los cincuenta. Considerada una de las maderas tropicales exóticas más valiosas del mundo, se destaca por su aceite natural y alto contenido de silicato; lo cual la hace extremadamente resistente, razón por la cual es muy demandada para la fabricación de cascos de barcos y construcciones similares expuestas al ambiente.

r. Canales de distribución

Los canales de distribución que se utiliza en la comercialización de la teca empiezan con el productor, intermediario y consumidor final⁶.

⁶ <http://archivo.eluniverso.com/2006/09/11/0001/3/suplementos.aspx>

Cuadro 2; Canales de distribución



2. Melina (*Gmelina arborea*)

a. Clasificación Taxonómica

Reino	Vegetal
Tipo	Espermatofita
Subtipo	Angiospermo
Clase	Dicotiledónea
Orden	Tubifloras
Familia	Verbenaceae
Género	Gmelina
Especie	arborea
Nombre Científico	<i><u>Gmelina arborea Roxb</u></i> (Rojas, F. y Arias, D. 2004).

b. Origen

Melina *Gmelina arborea Roxb* es nativa de la India del suroeste de Asia, Neplás Bangladesh, Sr Lauka, Paquistán, Malacia y el sureste de China (Rojas, F. y Arias, D. 2004).

c. Morfología – descripción

Melina es una especie de rápido crecimiento, oportunista en los bosques húmedos y se clasifica como una pionera de vida larga. Su capacidad de rebrote es excelente y los brotes presentan un crecimiento rápido y vigoroso, es caducifolia, en las zonas secas, puede llegar a medir 30 m de altura y presentar más de 80 cm de diámetro. Crece usualmente con un fuste limpio de 6 hasta 9 m y con una copa cónica (Alizaga, R. et. al. 2001).

Raíz.- Presenta un sistema radical profundo, aunque puede ser superficial u otras limitantes de profundidad (Barquero, M. 1987)

Fuste.- Tiene un fuste marcadamente cónico, por lo regular de 50 – 80 cm de diámetro, en ocasiones hasta 143 cm, sin contrafuertes pero en ocasiones engrosado en la base (Barrantes, G. 1999)

Copa.- Presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta (Moya, R. 2004)

Corteza.- Lisa o escamosa, de marrón pálido a grisácea; en árboles de 6 – 8 años de edad se exfolia en la parte engrosada de la base del tronco y aparece una nueva corteza, de color más pálido y lisa (Alfaro, M. et. al. 2002)

Hojas.- Grandes (10-20 cm de largo), simples, opuestas, enteras, dentadas, usualmente más o menos corazonadas, de 10 - 25 cm de largo y 5 – 18 cm de ancho, decoloradas, el haz verde glabra, el envés verde pálido y aterciopelado, nerviación reticulada, con nervios secundarios entre 3 y 6 pares y estipulas ausentes.

Usualmente, la especie vota las hojas durante los meses de enero o febrero en casi todas las regiones donde se cultiva. Las hojas nuevas se producen en marzo o a principios de abril (Moya, R. 2004)

Flores.- Numerosas, amarillo–anaranjadas, en racimos, monoicas perfectas, cuya inflorescencia es un racimo o panícula cimosa terminal, cáliz tubular, corola con 4 – 5 sépalos soldados a la base del ovario, de color amarillo brillante, cáliz 2.5 cm de largo y 4 estambres.

La floración ocurre justo cuando las hojas han caído o cuando las nuevas hojas comienzan a desarrollarse. En su área la melina florece en los meses de febrero a abril.

En Centroamérica la floración se presenta, usualmente entre diciembre y febrero pero en general, en América Tropical florece de febrero a marzo, prolongándose en ocasiones hasta abril.

La melina arbórea inicia su época de floración y fructificación entre los 6 – 8 años, sin embargo en algunas plantaciones en Costa Rica florece a partir del tercer año (Alfaro, M. et. al. 2002).

Frutos.- Es un fruto carnoso tipo drupa de forma ovoide u oblonga, carnoso, succulento, con pericarpio coriáceo y endocarpio óseo, de color verde lustroso, tornándose amarillo brillante al madurar, momento en el que caen al suelo, lo que facilita su recolección.

Entre los frutos caídos naturalmente del árbol, los más indicados de recolectar son los de color verde amarillento, debido a que tienen el mayor porcentaje de germinación (Moya, R. 2004)

Semillas.- Las semillas de esta especie se encuentran formando parte del endocarpio del fruto, son de forma elipsoidal, comprimidas, de 7- 9 mm de largo; testa color café, lisa, opaca, membranosa, muy delgada; el embrión es recto comprimido de color amarillo – crema – ocupa toda la cavidad de la semilla; los cotiledones son dos, grandes, planos, carnosos, y elipsoidales; la radícula es inferior corta. Poseen de 1 a 4 semillas por fruto, con promedio de 2.2 semillas / fruto, aunque se ha demostrado que el número de semillas por fruto varía dependiendo del origen de la fuente semillero (Gamboa, M. 1999).

La semilla de melina puede perder hasta un 23 % de su capacidad germinativa en 24 horas, y reducirse prácticamente al 0% al cabo de una semana si las condiciones de transporte y manejo o acondicionamiento no son adecuadas (Barquero, M. 1987)

La propagación de la melina para establecimientos y plantaciones puede realizarse por medio de semillas o estacas enraizadas, en reforestaciones y agroforestería, tienden a usar las semillas para establecer las plantaciones. Mientras que los grandes proyectos con programas de mejoramientos de desarrollo el uso de estacas enraizadas (Trujillo, E. 2002)

d. Requerimientos edáficos y climáticos

d.1 Clima

Cuadro 3; parámetros ambientales

Parámetros ambientales	Ámbito
Distribución altitudinal	0-900 msnm
Precipitación	1.000 a 4000 (mm) anuales
Temperatura	18 a 38° C
Región de lluvia	8 a 9 meses

Fuente: Biblioteca de consulta Encarta® 2010

d.2 Edáficos

Cuadro 4; características físicas y químicas del suelo

Textura de suelos	Franco y franco arcilloso
pH de Suelos	5.6
Topografía	Terrenos planos y ondulados

Fuente: Biblioteca de consulta Encarta® 2010

e. Condiciones de la plantación

Con una altitud sugerida de 0 a 1300 msnm con una temperatura media de 25°C, con lluvia anual de 1000 a 3600 mm con resistencia a periodo seco. Preferentemente suelos

profundos (menor 50 cm), bien drenados aunque es tolerante a sitios húmedos y temperamental inundados, requiere también suelos francos arcillosos y soporta también suelos ácidos con tendencia a la neutralidad y compactados (Trujillo, E. 2002)

f. Manejo de plantaciones

Preparación mecánica para la plantación inicial en melina.- El terreno se prepara con un máximo laboreo de arado y rastrillado en suelos compactado por el uso anterior ya sea por cultivos o por la ganadería; se recomienda el alomillado para propiciar un mayor desarrollo radicular al proveer de aire al sustrato y la raíz si la topografía no permite el uso de maquinaria se debe hacer una adecuada preparación del suelo eliminando los obstáculos y elaborado los hoyos donde se plantarán los árboles (Gamboa, M. 1999)

Densidad de siembra en plantaciones establecidas.- El espaciamiento empleado depende del objetivo final del cultivo; la distancia de siembra más aconsejable para la producción de madera es de 3 x 3 m² (Rojas, F. y Arias, D, 2004)

Riego.- En épocas secas, el riego deberá efectuarse dependiendo de las condiciones ambientales y las propiedades físicas del suelo. Es fundamental mantener una humedad relativa para obtener un buen desarrollo de las plantas (INIAP. 1995)

Fertilización.- No hay gran experiencia reportada en la literatura sobre el efecto de la fertilización sobre el crecimiento de la especie a nivel de plantación, sin embargo algunos ensayos señalan que la aplicación de triple 15 (NPK) mejora el crecimiento en plantaciones de un año cuando se aplica dosis de 150 gr por planta (Gamboa, M. 1999).

Control de malezas.- Antes de la siembra y durante los tres primeros años se recomienda la eliminación de la vegetación indeseable establecido tres limpiezas por años, y de esta forma reducir la competencia por luz, nutrientes; este control puede hacerse, manual, mecánica, química o mixto (Moya, R. 2004)

Control de plagas y enfermedades.- Independientemente del sistema de producción, los principales problemas de melina en vivero son las hormigas, y la heterogeneidad de su crecimiento, para lo cual se recomienda el empleo de gasolina en forma de rocío en los caminos y nidos de los hormigueros, las mismas que atacan y defolian severamente los brotes y reducen la vitalidad de las plantas ya que disminuir el área foliar se ve afectada la eficiencia fotosintética y la nutrición de la especie y consecuencia su desarrollo.

Presenta ataques del insecto barrenador *Calopepla leayana* y fungosas de *Poria rhizomorpha* (Trujillo, E. 2002)

La podredumbre de la raíz, (mal del talluelo) causado por el Dumping off para lo cual es necesario un estricto control de la humedad, tanto de riego como de lluvia (evitando exceso y déficit y la separación de semilla por tamaño (Gamboa, M. 1999)

Limitantes.- La capa de hojas que quedan sobre el suelo hace susceptibles a las plantaciones de esta especie al fuego durante los períodos secos. Se presenta ramoneo por fauna herbívora, en las plantaciones en estado juvenil (Trujillo, E. 2002)

g. Usos principales

La madera de la melina es razonablemente fuerte, se utiliza en construcciones de muebles, carrocerías, instrumentos musicales, paneles de puertas, ventanas, almarios, edificaciones de barcos, como también se utiliza para chapeado de puertas, tableros de dibujo y de manera amplia en la fabricación de pallets. Por su durabilidad, estabilidad y ligero peso tiene múltiples usos.

La raíz y la corteza del árbol de melina son laxantes estomacales, mejora el apetito, es útil en alucinación controla dolores abdominales, sensación ardiente, fiebre y descargas urinarias.

La goma de la hoja se aplica para relevar dolores de cabeza, y el jugo se utiliza como colada para las úlceras. Las flores son dulces y se utilizan en enfermedades de la lepra y de la sangre (Agrosoft .Ltda. 2000)

h. Comercialización

La posible reducción de materia prima en un futuro, dadas las limitaciones para el uso de los bosques y el deterioro del medio ambiente, ha suscitado en el sector industrial la necesidad de establecer fuentes alternativas para cumplir con su producción. En este sentido y gracias a su rápido crecimiento, estimado en turnos de 12 a 15 años, la Gmelina se ha convertido - en las dos últimas décadas- en una de las especies favoritas para desarrollar proyectos de plantaciones forestales e industriales.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. **CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR**

1. Localización

La presente investigación se la realizo en los predios, de la empresa REYBANPAC CA. La Hacienda Patolandia ubicada en el km 40 vía Santo Domingo - Quevedo, Hacienda Mulaute ubicada en la vía parroquia las Mercedes, y la Hacienda Mireya del pilar ubicada en el km 43 vía Quevedo – Santo Domingo.

2. Ubicación geográfica

Las haciendas se encuentran en la zona 17 Sur con las siguientes coordenadas geográficas UTM (Según Datum WGS 84).

Cuadro 5; Ubicación geográfica

HACIENDA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		ALTITUD msnm
	X	Y	
PATOLANDIA	681269	9937479	285
MIREYA DEL PILAR	662729	9912271	260
MULAUTE	798269	9991381	570

3. Características climáticas

Cuadro 6; Características climatológicas

HACIENDA	HUMEDAD RELATIVA %	TEMPERATURA MEDIA ANUAL °C	PRECIPITACION NEDIA ANUAL mm
PATOLANDIA	LLUVIOSA 85 - 90 SECA 10 - 15	27	2590-2630
MIREYA DEL PILAR	LLUVIOSA 85 - 90 SECA 15 - 25	32	2000-2500
MULAUTE	95	20	2900 – 3800

4. Características edáficas

Cuadro7; Características edáficas

HACIENDA	SUELOS
PATOLANDIA	Los suelos pertenecen al orden de los Inseptisoles con una buena capacidad de drenaje y de topografía ligeramente ondulado, aunque una sección presenta pendientes más pronunciadas. El suelo tiene entre el 5.18 al 6.02% de material orgánico, con pH promedio de 4.6 (ácido).
MIREYA DEL PILAR	
MULAUTE	Los suelos pertenecen al orden de los Inseptisoles con una buena capacidad de drenaje y de topografía ondulado, aunque una sección presenta pendientes menos pronunciadas. El suelo tiene entre el 8.5 al 9.8% de material orgánico, con pH promedio de 5.2 (ligeramente ácido).

5. Clasificación ecológica

(Según Holdridge) los predios se encuentran ubicados en un Bosque húmedo Tropical (Bh.T).

6. Propietario/extensión

Los predios y plantaciones son propiedad de la empresa REYBANPAC CA. con una extensión de aproximadamente 257,8 has. Correspondientes a los tres predios.

Cuadro 8; Área de cada hacienda en estudio

Haciendas	Área Has.
Patolandia	29.6
Mireya Del Pilar	37.9
Mulaute	190.3

Fuente: REYBANPAC CA

7. Materiales

a. Materiales de campo

GPS, distanciómetro laser, trípode, gafas de identificación del láser, spray, brújula, clinómetro, altímetro, cinta diamétrica, forcípula, flexómetro, cinta métrica de 50 m, motosierra, vehículo.

b. Materiales de oficina

Software MiraSilv, software AutoCAD, libreta de apuntes, lápiz, tablero, formatos de campo, computador, mapa operativo de cada hacienda

8. Metodología

8.1 Determinar que factor de forma corresponde, para teca (*Tectona grandis lf*) y melina (*Gmelina arborea*) en las tres Haciendas.

a. Cálculo del área en plantaciones

Se procedió a realizar el levantamiento de información con GPS para determinar el área neta de cada hacienda en estudio.

b. Elaboración de mapas

Se elaboraron los mapas operativos utilizando el Software AutoCAD.

c. Cálculo del número de parcelas en cada plantación

Luego procedimos a calcular el número de parcelas a establecer en el campo, en base al área neta de cada hacienda esto lo realizamos aplicando la teoría de intensidad de muestreo, sugerida por Spitteler. 1995 Tabla 2

Tabla 2; Cálculo de intensidad de muestreo

Tamaño del estrato o plantación (ha)	Intensidad de muestreo (% del área neta)	Número de parcelas por ha.	Distanciamiento entre parcelas y fajas (m) ¹
1 a 3	5	5.0	45
3.1 a 6	4	4.0	50
6.1 a 10	3	3.0	60
10.1 a 20	2	2.0	70
20.1 a 50	1.5	1.5	80
> 51	1	1.0	100

Tomada de Spittler, 1995

d. Ubicación de parcelas en el sistema Auto CAD

Posteriormente procedimos a la ubicación de las parcelas en el sistema AutoCAD donde ya tenemos una base de datos de las haciendas en estudio, la primera parcela la ubicamos de forma aleatoria, luego el resto de parcelas se ubicaron con sus respectivas distancias entre ellas.

e. Distanciamiento entre parcelas

Para calcular a que distancia corresponde colocar cada parcela, lo hicimos aplicando la siguiente formula

$$\text{Distanciamiento (m)} = \frac{\sqrt{\text{area del terreno en m}^2}}{\text{numero de parcelas}}$$

f. Diseño experimental

La investigación se realizó utilizando un diseño sistemático estratificado para el establecimiento de las unidades de muestreo que sirve en la toma de datos en el campo, estas están constituidas por parcelas permanentes de muestreo (PPM), de forma circular de 12.62 m de radio dando un área de 500 m².

Consecutivamente ingresamos las coordenadas al GPS para luego ubicar en el Campo y proceder a establecer las unidades de muestreo (PPM) Parcelas permanentes de monitoreo de 500m² de forma circular.

Procedimos a tomar los datos de las variables de estudio DAP a 1,30m., desde el suelo, Altura de los árboles en pie, aquí utilizaremos un formato de campo, medición de árboles en pie que ya es establecido por el software MiraSilv.

Luego se procedió al correspondiente apeo de los árboles, que se encuentran dentro de la unidad de muestreo (PPM).

Una vez apeado los árboles, se empezó la labor de la medición de las trozas y troceado, donde se procedió a la toma de medidas de las otras variables como son, el diámetro y largo de cada una de las trozas, los diámetros son iniciales, y finales de las mismas, el diámetro mínimo que tomamos al final del fuste comercial fue de 13 cm. Ya que este es el que utiliza esta empresa como mínimo para la industria, Para anotar esta información utilizamos el formato de campo, de cadena de custodia misma que ya está establecido por el software MiraSilv. Así se procedió a realizar esta práctica con cada uno de los árboles que fueron apeados dentro de la parcela, los árboles en estudio fueron los que presentaron buena formación.

8.2 Cálculo y comparación del factor de forma

Se calculó el volumen comercial y volumen del cilindro y finalmente el factor de forma, Luego comparamos cada uno de ellos, con el factor de forma expuesto por el MAE (Ministerio del ambiente Ecuador)

Este proceso lo realizamos, aplicada la fórmula de Smalian

a. Cálculo de volumen por troza

$$V/\text{troza} = 0,7854 * L * \frac{(d1^2 + d2^2)}{2}$$

2

b. Cálculo de volumen comercial (Real)

$$V.\text{Com (Real)} = \sum \text{de vol. indiv. de trozas}$$

$$V.\text{Com (Real)} = \text{Troza1} + \text{Troza2} + \text{Troza 3,4,....}$$

c. Cálculo de volumen del cilindro

$$V_c = \frac{d^2 * \pi}{4} * h$$

d. Cálculo del factor de forma

$$FF = \frac{V.\text{Com. (Real)}}{V_{\text{Cil.}}}$$

Formato para el cálculo de vol. y factor de forma

Tabla 3; formato de oficina 1

EMPRESA REYBANPAC CA														
HACIENDA FORESTAL _____ (_____ Has.) CUADRO DE INFORMACIÓN OBTENIDA,														
PARA LA ESPECIE _____ EDAD _____ FECHA _____														
# DE LOTE	# DE PARCELAS	# ÁRBOL	TROZA 1			TROZA 2..,			DAP del árbol en pie (cm)	L. Comercial(m)	V. comercial(Real) /Árb. (m3)	Vol. Cil (m3)	FF= V.Com ® / Vol.Cil	
			Ø1	Ø2	L	VOL./TROZA (m ³)	Ø1	Ø2						L
Sumatoria														
Media														

Tabla 4; Formato de oficina 2

EMPRESA REYBANPAC CA								
DETERMINACION Y COMPARACION DEL VOLUMEN Y FACTOR DE FORMA								
HACIENDA FORESTAL			ESPECIE			EDAD		
	DAP (cm)	Long. Comercial (m)	Vol./ Com.(Real) (m ³)	Vol./Cil (m ³)	FF CALC.	FF. MAE	Vol. Estimado/FF. calculado (m ³)	Vol. Estimado/ FF MAE(m ³)
SUMATORIA								
MEDIA								

8.3 Comparación de tres modelos matemáticos

- Ecuación lineal simple
- Ecuación lineal múltiple
- Ecuación cuadrática

Para la comparación de los tres modelos matemáticos y la construcción de las tablas volumétricas procedimos de la siguiente manera

Especificaciones del campo del experimento

Tabla 5; Especificaciones del campo del experimento

Variabes	Hacienda Patolandia	Hacienda Mulaute	Hacienda Mireya	Total
Número de Haciendas del ensayo	1	1	1	3
Número de tratamiento por hacienda	4	4	4	4
Número de repeticiones promedio	5	8	6	
Número total de árboles en el ensayo	365	717	331	1413
Número promedio de árboles /tratamiento	19	19	14	

Tratamientos en estudio

Cuadro 9; Descripción de los tratamientos

HACIENDA PATOLANDIA	
# de Lote campo	Tratamientos
1	1
	2
	3
	4
2	1
	2
	3
	4
3	1
	2
	3
	4
4	1
	2
	3
	4

8.4 Diseño experimental

a. Tipo de diseño experimental

La investigación buscó determinar parámetros adecuados para la estimación de volumen de árboles, con el objetivo de que puedan ser aplicados en diferentes sitios con cultivos de melina (*Gmelina arborea Roxb*) y teca (*Tectona grandis Lf*).

Se utilizaron 4 tratamientos, con diferentes números de repeticiones en cada una de las haciendas los cuales fueron evaluados empleando un Diseño Completamente al Azar, (DCA) cuya ecuación es la siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Valor estimado de la variable

μ = Media general

α_i = Efecto de los tratamientos

ϵ_{ij} = Error experimental

b. Mediciones de variables experimentales

Diámetro a la altura de Pecho, cm

Altura comercial, m
 Volumen Comercial, m³
 Volumen del Cilindro, m³
 Factor de Forma

c. Análisis Estadísticos y Pruebas de Significancia

Los datos que se obtuvieron fueron sometidos a análisis, utilizando el diseño completamente al azar, análisis de varianza y separación de medias utilizando las pruebas de Tukey.

ADEVA (Análisis de Varianza)
 Prueba de Tukey para la separación de medias
 Análisis de Correlación
 Análisis de Regresión lineal simple y múltiple
 Nivel de significancia de $\alpha < 0.05$ y $\alpha < 0.01$

d. Esquema del Análisis de Varianza

Cuadro 10; Esquema del Análisis de Varianza

Hacienda Patolandia	
Fuentes de Variación	Grados de Libertad
Total	19
Tratamiento	3
Error	16
Hacienda Mulaute	
Total	37
Tratamiento	3
Error	34
Hacienda Mireya	
Total	23
Tratamiento	3
Error	20

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. DETERMINACION DEL FACTOR DE FORMA PARA MELINA (*Gmelina arborea*), HACIENDA PATOLANDIA EN RODALES DE 7 AÑOS

1. Diámetro a la Altura de Pecho (DAP)

Cuadro 11; Análisis estadístico del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R²Aj</u>	<u>CV</u>
DAP	20	0.24	0.10	5.16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>
Modelo	10.47	3	3.49	1.67	0.2127
Lotes	10.47	3	3.49	1.67	0.2127
Error	33.38	16	2.09		
Total	43.85	19			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 2.61335
Error: 2.0860 gl: 16

<u>Lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	
3.00	27.09	5	A
2.00	27.49	5	A
4.00	28.44	5	A
1.00	28.90	5	A

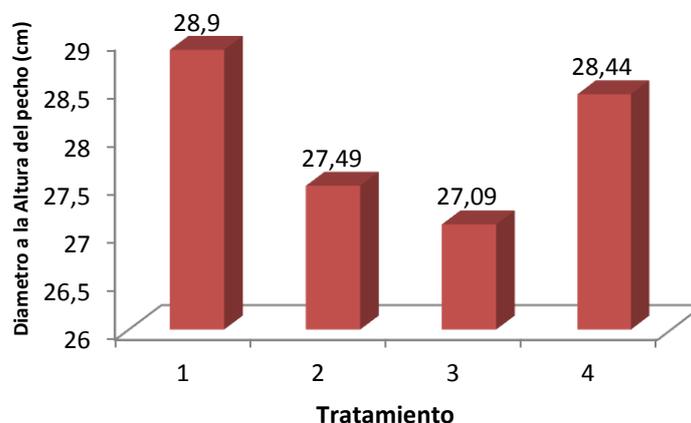


Gráfico 1; Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Diámetro a la Altura de Pecho (DAP)

Al analizar la variable DAP, podemos manifestar que en la hacienda Patolandia los DAP, registrados, no presentaron diferencias estadísticas significativas con una media general de 27,98 cm y una variación de los datos del 5,16% (CV), como se observa en el (Cuadro 11 Gráfico 1)

2. Altura Comercial (Hc)

Cuadro 12; Análisis Estadístico Altura Comercial

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R²Aj</u>	<u>CV</u>
HC	20	0.14	0.00	7.35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>
Modelo	3.07	3	1.02	0.90	0.4614
Lotes	3.07	3	1.02	0.90	0.4614
Error	18.15	16	1.13		
Total	21.22	19			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 1.92701
Error: 1.1342 gl: 16

<u>Lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>
3.00	13.96	5 A
4.00	14.29	5 A
1.00	14.87	5 A
2.0	14.88	5 A

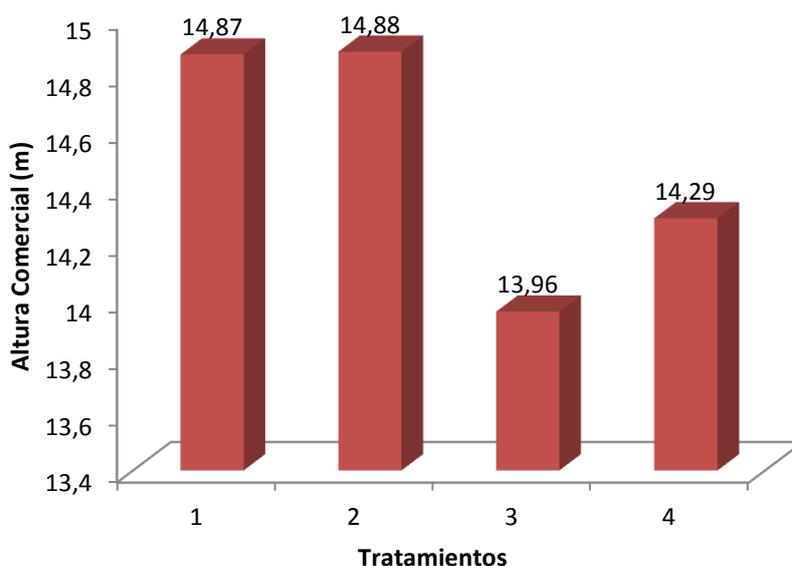


Gráfico 2; Altura comercial

Altura Comercial (Hc)

La altura comercial es uno de los parámetros que nos permite determinar el volumen comercial, en el presente ensayo, las medias para los tratamientos fueron: 14,87 m. para el tratamiento 1; para el tratamiento 2; 14,88 m. para el tratamiento 3; 13,96 m. y para el tratamiento 4. 14,29 m. sin existir diferencias estadísticas significativas con un coeficiente de variación de 7,35.

El valor más alto para este parámetro como lo podemos evidenciar en el (Cuadro 12 grafico 2) lo alcanza el tratamiento 2 en cuanto a altura comercial, esto se podría deber a que alrededor del 75% del terreno es de topografía plana, al manejo forestal realizado dentro del rodal, también a la competencia x luz que obliga a que los árboles predominen en altura, se debe tomar en cuenta que la alta densidad de individuos dentro de un rodal influye directamente en la altura de los individuos, esto conlleva a que los árboles tengan alturas comerciales excelentes, en tanto que la variable diámetro se ve afectada ya que el incremento de este es mínimo, por lo tanto el volumen de madera es menor. Mientras que para los dos tratamientos más bajos 3 y 4, se debería específicamente a la topografía que en este sector es irregular con pendientes de hasta 5 grados de inclinación correspondiente al 25 % del terreno lo que pudo haber ocasionado un grado de erosión hídrica, una descompensación de nutrientes e inclusive una desestabilización en el anclaje de la planta al suelo, lo que evita su normal desarrollo.

Toledo, P. (2011), en su estudio obtuvo un valor promedio para este parámetro de 17,65 con una edad de 9 años, valor superior al de este trabajo, debido a que el factor de forma es menor, los árboles son más gruesos, menos cónicos y el volumen es mayor.

3. Volumen comercial por árbol

Cuadro 13; Análisis estadístico del volumen comercial

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R²Aj</u>	<u>CV</u>
Volumen Comercial	20	0.19	0.04	3.65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>
Modelo	0.02 3	0.01	1.29	0.3126	
Lotes	0.02 3	0.01	1.29	0.3126	
Error	0.09 16	0.01			
Total	0.11 19				

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.13631
Error: 0.0057 gl: 16

<u>Lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	
3.00	0.50	5	A
4.00	0.56	5	A
2.00	0.56	5	A
1.00	0.59	5	A

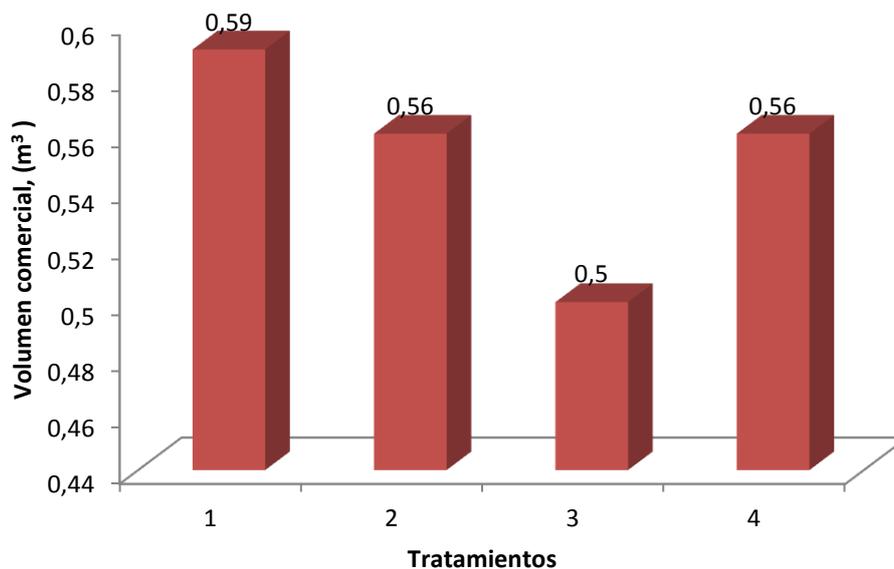


Gráfico 3; Volumen comercial

Volumen comercial por árbol

En el (Cuadro13 grafico 3), podemos observar que en la hacienda Patolandia, el volumen comercial por árbol, no presenta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos analizados, las diferencias que se evidencian son únicamente de carácter numérico, siendo el tratamiento 1 el que alcanzó el valor más alto con una media de $0,59 \text{ m}^3$ y una media general de $0,55 \text{ m}^3$, observándose homogeneidad en los datos, pues el coeficiente de variación de esta variable es de 3,655.

Los resultados obtenidos en la presente investigación no coinciden con los reportados por Toledo, P (2011), autor que determina valores en promedio de $0,747\text{m}^3$, lo cual se puede deber a una serie de factores, principalmente a la edad de los arboles al momento del aprovechamiento (9 años), el tipo de manejo a los que se le sometió a los arboles de melina, al tipo de clima entre otros.

Cubero y Rojas, (1999), en su estudio de caracterización dasométricas de plantaciones forestales de melina con edades similares a este estudio (7 años), evaluadas en Hoja ancha Costa Rica, obtienen valores volumétricos de $0,62 \text{ m}^3$, valor bastante cercano al obtenido en el presente ensayo.

4. Volumen del Cilindro

Cuadro 14 Análisis Estadístico Volumen del Cilindro

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R²Aj</u>	<u>CV</u>
Vol. Cilindro	20	0.21	0.06	16.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>
Modelo	0.10	3	0.03	1.39	0.2834
Lotes	0.10	3	0.03	1.39	0.2834
Error	0.39	16	0.02		
Total	0.49	19			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.28167
Error: 0.0242 gl: 16

<u>Lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	
3.00	0.84	5	A
2.00	0.93	5	A
4.00	1.00	5	A
1.00	1.02	5	A

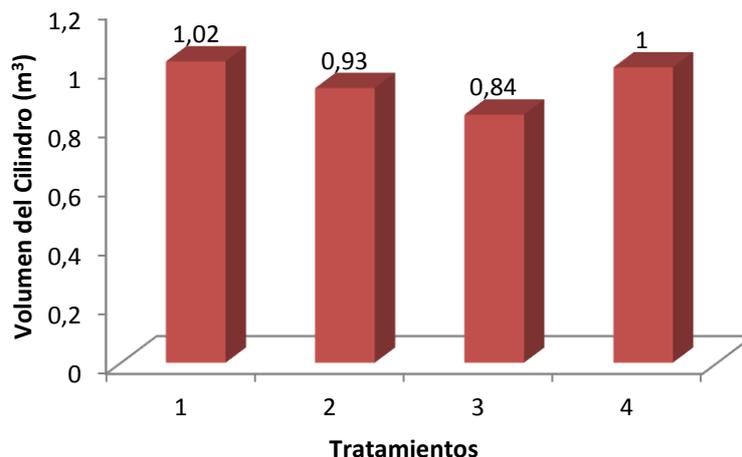


Gráfico 4; Volumen del cilindro

Volumen del Cilindro

Volumen del cilindro, es cuando se relaciona el volumen del árbol, con el del solido geométrico, la referencia es tomada desde la base del árbol y medido el diámetro a la altura del pecho 1,30 m. dato que nos permite determinar el volumen comercial, y consecuentemente el factor de forma de los árboles, en la presente investigación al igual que en los parámetros anteriores, las medias de los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de 0,2834, y una media general de 0,9475 m³, siendo el tratamiento 1 el que alcanzo en forma numérica el valor más alto para esta variable con 1,02 m³.

Los datos obtenidos por Toledo, P (2011) en su estudio de determinación del factor de forma para melina (*Gmelina arborea Roxb*) de 9 años fueron de 1.9716m³, valor superior al reportado en la presente investigación, lo cual significa que los árboles utilizados en el estudio de Toledo, P (2011), fueron menos cónicos que los del presente ensayo, al traducir esto en función del factor de forma, este investigador obtuvo un FF, más amplio, generando un volumen comercial menor.

Según Aldana .et (2004) el tratamiento de los rodales tiene cierta influencia en el factor de forma ya que se ha comprobado que en rodales ralos, los factores de forma son un poco más pequeños que en rodales muy densos, ya que en rodales ralos la competencia por luz y nutrientes es menor que en los rodales densos con el análisis de los datos obtenidos corroboramos lo antes mencionado ya que el tratamiento uno es el que está ubicado en mejores condiciones, lo cual permite un mejor desarrollo de la especie.

5. Factor de forma

Cuadro 15; Análisis Estadístico del Factor de forma

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R²Aj</u>	<u>CV</u>
FF	20	0.17	0.02	3.67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>	
Modelo	1.7	E-03		3	5.5E-04	1.11 0.3733
Lotes	1.7	E-03		3	5.5E-04	1.11 0.3733
Error	0.01	16	5.0	E-04		
Total	0.01	19				

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.04036

Error: 0.0005 gl: 16

<u>Lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	
4.00	0.60	5	A
1.00	0.60	5	A
3.00	0.61	5	A
2.00	0.62	5	A

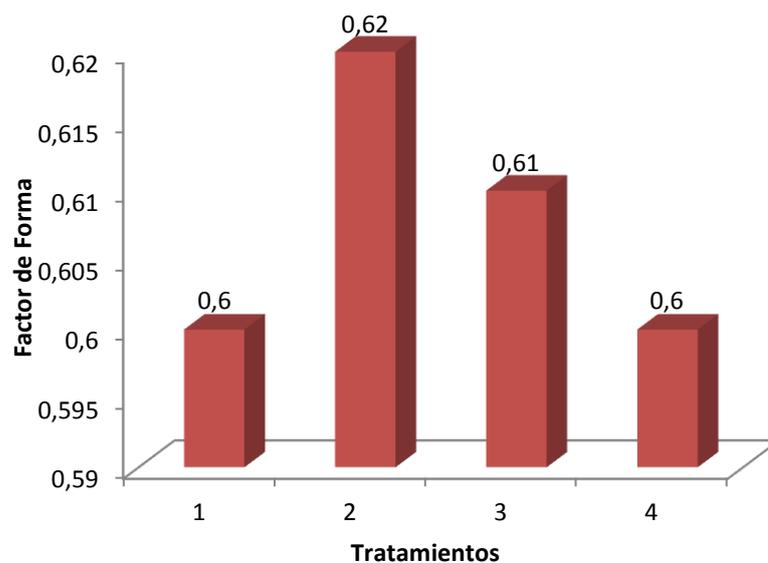


Gráfico 5; Factor de forma

Factor de forma

El Factor forma, es el indicador que nos permitió, corregir la diferencia que se presenta entre el volumen comercial y el volumen del cilindro, Las medias para esta variable van desde 0.60 a 0.62 para los tratamientos 1 y 2 respectivamente, sin existir diferencias estadísticas significativas con un coeficiente de variación de 3.67.

En Bolivia el Factor de forma que se utiliza para las especies latifoliadas como es melina (*Gmelina arborea Roxb*) es de 0,65, dato que coincide relativamente con el encontrado en esta investigación.

El MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador), recomienda para este tipo de especies latifoliadas la utilización de un factor de forma de 0,74; dato que es ligeramente superior al obtenido en la hacienda Patolandia motivo de estudio, esto se puede deber a que este parámetro es generalizado para todas las especies arbóreas latifoliadas y para diferentes sitios, generalizando esta información, a diferencia de lo que ocurre con el presente ensayo, cuyos datos se circunscriben a un índice de sitio determinado, y que será deberá utilizar exclusivamente en dicha hacienda, o en plantaciones que reúnan características similares.

B. COMPARACIÓN DEL FACTOR DE FORMA CALCULADO CON EL FACTOR DE FORMA DETERMINADO POR EL MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador) HACIENDA PATOLANDIA ESPECIE MELINA (*Gmelina arborea*) EN RODALES DE 7 AÑOS

Cuadro 16; Resumen general y comparación de factor de forma para la hacienda Patolandia

HACIENDA PATOLANDIA DETERMINACION Y COMPARACION DEL FACTOR DE FORMA RESUMEN GENERAL								
	DAP (cm)	L. Comercial(m)	Vol/Real(m3)	Vol/Cil(m3)	FF	FF. MAE	vol. Estimado/ ff calculado	vol. Estimado/ ff MAE
SUMATORIA	10221.2	5298.75	201.90	346.71	0.58	0.74	0.52066723	0.6616392
MEDIA	28.00329	14.52	0.55	0.95	0.58			

Como podemos observar en el (cuadro 16) el factor de forma calculado en la presente investigación es menor al establecido por el MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador) debido posiblemente a varios factores como el manejo forestal de la plantación, índice de sitio, edad del rodal, entre los principales. Además el MAE, para la determinación del factor de forma empleó de manera generalizada, la información de diversos sitios a nivel de todo el país categorizando a las especies latifoliadas de esta zona con este factor de forma pero este no concuerda con el calculado en la Hacienda Patolandia donde los árboles son menos cilíndricos dato que disminuye directamente en el volumen estimado. (Grafico 6).

El volumen comercial estimado con el factor de forma calculado en este ensayo es de 0.52 m^3 , valor muy cercano al volumen real determinado en la hacienda Patolandia, (0.55 m^3), en contraposición al volumen comercial de 0.66 m^3 determinado a través del FF del MAE. Lo cual influye económicamente en los rendimientos productivos de la empresa REYBANPAC C.A.

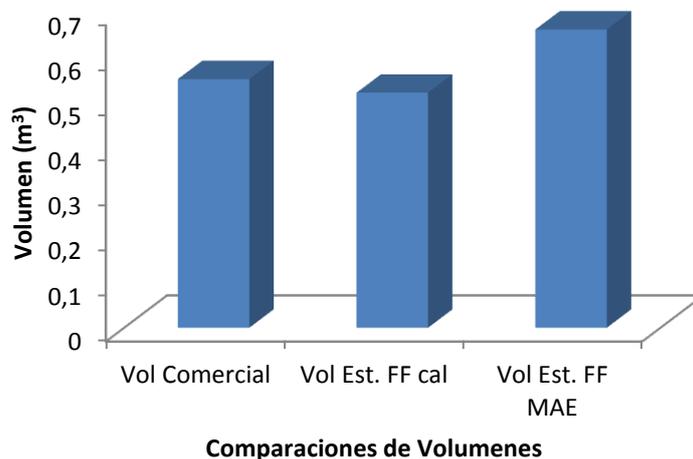


Gráfico 6; Comparación de Volúmenes

C. COMPARACION DE TRES MODELOS MATEMATICOS PARA LA CONSTRUCCION DE TABLAS VOLUMETRICAS HACIENDA PATOLANDIA ESPECIE MELINA (*Gmelina arborea*) EN RODALES DE 7 AÑOS

1. Elaboración y análisis de gráficos partiendo de los datos tomados en campo

Se analizó tres tipos de ecuaciones para volumen, esto es en un consolidado general en el que se abarcó el total de datos muestreados y en cada uno de los tratamientos, buscando la ecuación que presente mayor grado de asociatividad entre las variables aplicadas en esta investigación que fueron, altura y volumen comercial de los árboles muestreados.

Representación gráfica y ecuación que se aplicara en la tabla de volumen.

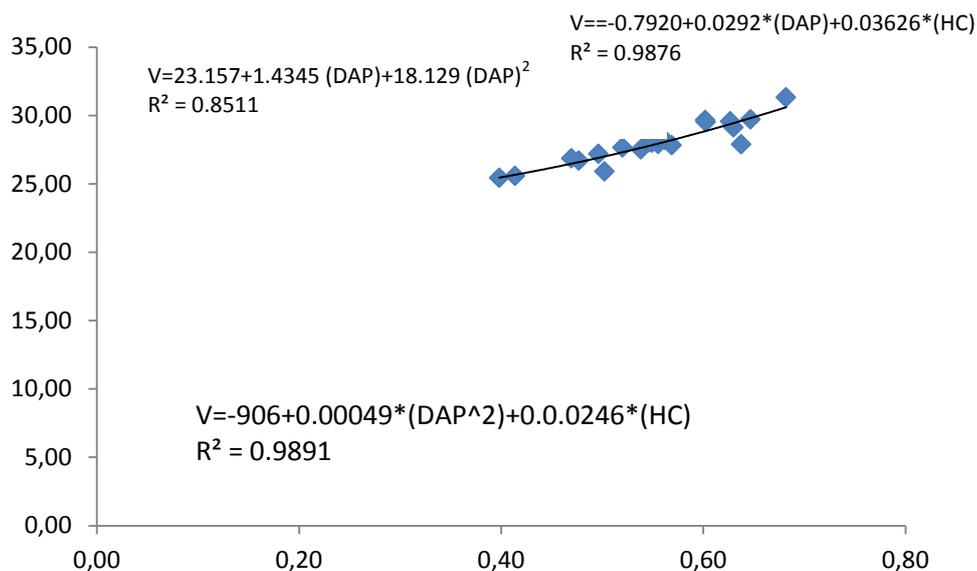


Gráfico 7; Representación gráfica de la tabla volumen

Cuadro 17; Regresión Ecuación # 1

<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0,981131258							
Coefficiente de determinación R ²	0,962618545							
R ² ajustado	0,960541797							
Error típico	0,015278714							
Observaciones	20							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	0,1082042	0,108204197	463,52	2,6891E-14			
Residuos	18	0,0042019	0,000233439					
Total	19	0,1124061						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,093	0,022	4,319	0,0004	0,04781	0,138375	0,0478	0,13837
DAP ² *HC	4E-05	06	21,53	3E-14	3,6E-05	4,4E-05	4E-05	4,4E-05
V=0.09309+0.00004(DAP²*HC)								

Cuadro 18; Regresión Ecuación # 2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,98731
Coefficiente de determinación R ²	0,97478
R ² ajustado	0,97181
Error típico	0,01291
Observaciones	20

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,1095708	0,054785376	328,479	2,6028E-14
Residuos	17	0,0028353	0,000166785		
Total	19	0,1124061			

	<i>Coefficiente</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-0,39	0,0408	9,4980079	3,3E-08	-0,4735	0,30138	-0,474	0,30138
DAP2	5E-04	5E-05	10,855144	4,6E-09	0,00041	0,00061	0,0004	0,00061
HC	0,037	0,0038	9,6860145	2,5E-08	0,02895	0,04508	0,029	0,04508

V=-0.3874+0.00051*(DAP^2)+0.0370*(HC)

Cuadro 19; Regresión Ecuación # 3

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9876649
Coefficiente de determinación R ²	0,97548195
R ² ajustado	0,97259748
Error típico	0,01273249
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,109650123	0,054825061	338,2	2,0447E-14
Residuos	17	0,002755978	0,000162116		
Total	19	0,112406101			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-0,7921	0,0541	-14,6509	0,0000	-0,9061	-0,6780	-0,9061	-0,6780
DAP	0,0292	0,0026	11,0326	0,0000	0,0236	0,0348	0,0236	0,0348
HC	0,0363	0,0038	9,5166	0,0000	0,0282	0,0443	0,0282	0,0443

V=-0.7920+0.0292*(DAP)+0.03626*(HC)

D. ELABORACIÓN DE LA TABLA DE VOLUMEN LOCAL DE DOBLE ENTRADA, CONSIDERANDO COMO VARIABLES INDEPENDIENTES AL DIÁMETRO A LA ALTURA DE PECHO Y ALTURA COMERCIAL HDA PATOLANDIA ESPECIE MELINA (*Gmelina arborea*) EN RODALES DE 7 AÑOS

La tabla de volumen de doble entrada se elaboró aplicando la ecuación lineal múltiple, que a continuación se detalla $V = -0.7920 + 0.0292*(DAP) + 0.03626*(HC)$ $R^2 = 0,9876649$

Esta ecuación nos permitió hacer predicciones del volumen comercial más cercanas a la realidad y que pueden ser aplicadas en otros sitios climáticos similares a los de la hacienda Patolandia.

La ecuación lineal múltiple fue designada como la que servirá para la elaboración de la tabla de doble entrada, por su alto grado de pertinencia y con un coeficiente de determinación de 0.9876, además que la aplicación de esta en campo resulta mucho más fácil. Colocamos la ecuación en una hoja de cálculo la cual nos permitió, remplazar cada una de las incógnitas (variables independiente), con los valores que se requieren.

Tabla 6; Tabla de Volumen de doble entrada – Hda Patolandia especie melina (*Gmelina arborea*)

Tabla de volumen local doble entrada – Hda Patolandia especie Melina (<i>Gmelina arborea</i>) - variable Diámetro a la altura de pecho y Altura comercial Edad 7 años																													
DAP (cm)	ALTURA COMERCIAL (m)																												
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20
20	0,01	0,36	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85
21	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55
22	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58
23	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60
24	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,63
25	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,66
26	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67	0,69
27	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,70	0,72
28	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,71	0,73	0,75
29	0,27	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,74	0,76	0,78
30	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,79	0,81

A. DETERMINACION DEL FACTOR DE FORMA PARA MELINA (*Gmelina arborea Roxb*), EN LA HACIENDA MULAUTE EN RODALES DE 6 AÑOS DE EDAD

1. Diámetro a la Altura de Pecho (DAP)

Cuadro 20 Análisis estadístico del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R²Aj</u>	<u>CV</u>
DAP	38	0.22	0.16	11.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)						
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>	
Modelo	79.70	3	26.57	3.28	0.0325	
Lotes	79.70	3	26.57	3.28	0.0325	
Error	275.23	34	8.10			
Total	354.93	37				

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 3.26349
Error: 8.0951 gl: 34

<u>lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>		
4.00	23.10	10	A	
3.00	24.23	11	A	B
1.00	26.20	9	A	B
2.00	26.74	8		B

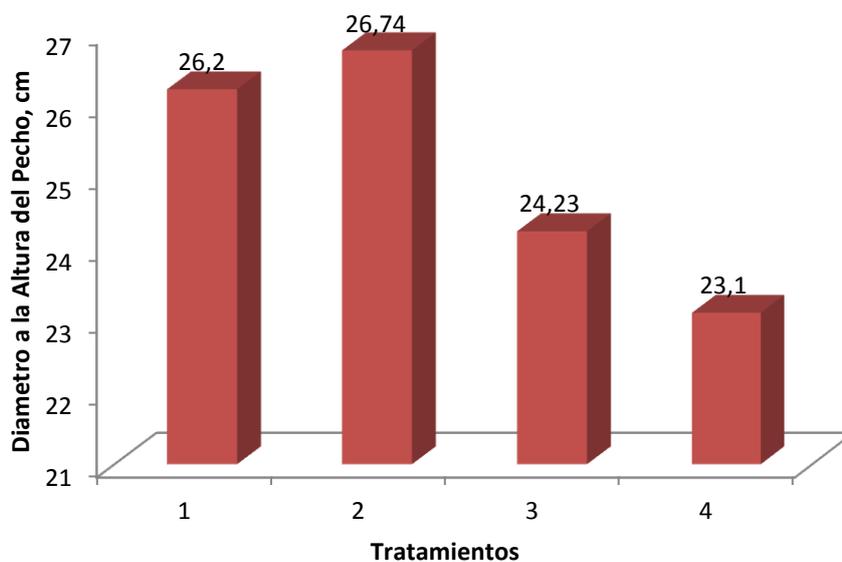


Gráfico 8; Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Diámetro a la Altura de Pecho

Al analizar la variable DAP, podemos manifestar que en la hacienda Mulaute los DAP, registrados, presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 2 el cual obtuvo el valor más alto (26.74cm) para este parámetro, y el tratamiento 4 reporto el valor más bajo (23.10cm) con una media general de (25,067cm) y una variación de los datos del 11.42% (CV), como se observa en el (Cuadro 20 Gráfico 8)

Los datos para el DAP, de la hacienda Mulaute, se aproximan a los resultados de este parámetro en la hacienda Patolandia, cuya media fue de 27.98 cm, valor que difiere debido a la diferencia de edad de (1 año) que existe entre los rodales.

2. Volumen comercial por árbol

Cuadro 21; Análisis estadístico del volumen comercial

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Volumen Comercial	38	0.14	0.07	33.99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>Valor p</u>
Modelo	0.11	3	0.04	1.88	0.1521
Lotes	0.11	3	0.04	1.88	0.1521
Error	0.67	34	0.02		
<u>Total</u>	<u>0.78</u>	<u>37</u>			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.16078

Error: 0.0196 gl: 34

<u>lotes</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	
4.00	0.30	10	A
3.00	0.35	11	A
1.00	0.33	9	A
<u>2.00</u>	<u>0.31</u>	<u>8</u>	<u>A</u>

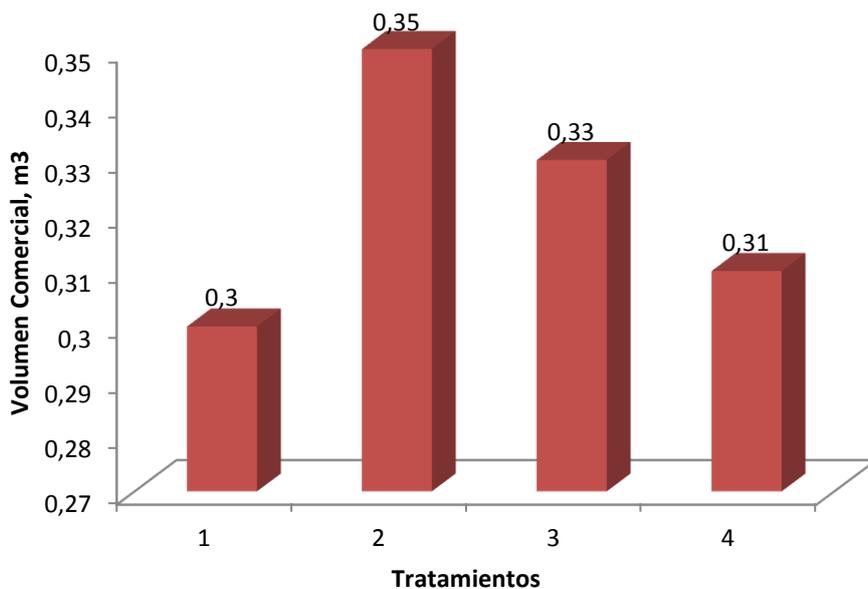


Gráfico 9; Volumen comercial

Volumen comercial por árbol

El volumen comercial en la hacienda Mulaute, no presenta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos analizados, las diferencias que se evidencian son únicamente de carácter numérico, siendo el tratamiento 2 el que alcanzó el valor más alto con una media de $0,35 \text{ m}^3$ y una media general de $0,32 \text{ m}^3$, observándose homogeneidad en los datos pues el coeficiente de variación de esta variable es de 33.99. Los resultados obtenidos en la presente investigación son ligeramente inferiores o los obtenidos en la hacienda Patolandia, cuya media general es de $0,61 \text{ m}^3$, esto se puede deber a la diferencia de edad de la plantación (6 Años) y las condiciones edáficas y climáticas del terreno.

3. Volumen del cilindro

Cuadro 22; Análisis estadístico del volumen del cilindro

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Vol. cilindro	38	0.16	0.08	42.06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.49	3	0.16	2.10	0.1182
lotos	0.49	3	0.16	2.10	0.1182
Error	2.64	34	0.08		
Total	3.13	37			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.31967

Error: 0.0777 gl: 34

lotos	Medias	n	
4.00	0.52	10	A
3.00	0.61	11	A
1.00	0.70	9	A
<u>2.00</u>	<u>0.80</u>	<u>8</u>	<u>A</u>

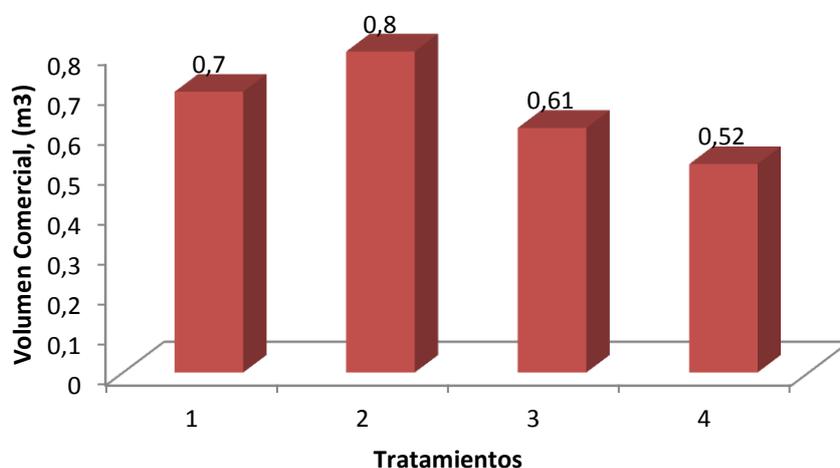


Gráfico 10; Volumen del cilindro

Volumen del cilindro.

El volumen del cilindro, es la referencia tomada que nos permite determinar con el volumen comercial el factor de forma de los árboles, en la presente investigación, las medias de los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de 0,1182, y una media general de 0,66 m³, siendo el tratamiento 2 el que

alcanzo en forma numérica el valor más alto para esta variable con 0.80 m^3 . El volumen del cilindro en la hacienda Mulaute, al igual que el resto de parámetros, difieren con los encontrados en la hacienda Patolandia, esto se puede deber a la ubicación geográfica de cada hacienda.

4. Altura comercial (Hc)

Cuadro 23; Análisis estadístico de la Altura Comercial

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	38	0.09	0.01	3.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	27.47	3	9.16	1.17	0.3338
lotes	27.47	3	9.16	1.17	0.3338
Error	265.01	34	7.79		
Total	292.48	37			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 3.20231

Error: 7.7944 gl: 34

lotes	Medias	n	
4.00	10.56	10	A
3.00	11.61	11	A
1.00	12.41	9	A
2.00	12.83	8	A

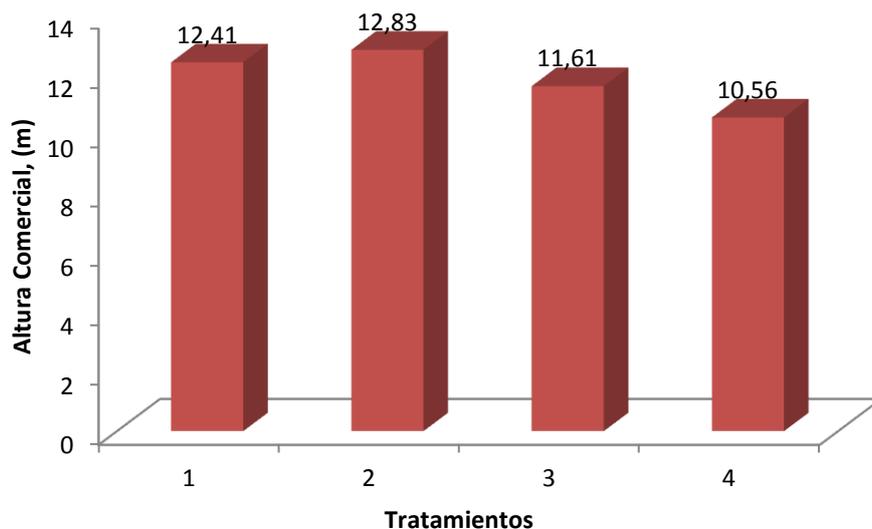


Gráfico 11; Altura comercial

Altura comercial (Hc)

La altura comercial es uno de los parámetros que nos permite determinar el volumen comercial, en el presente ensayo, las medias para los tratamientos fueron: 10.56 m para el tratamiento 4 y de 12,83 m para el tratamiento 2; sin existir diferencias estadísticas significativas con un coeficiente de variación de 3.30

Al comparar los resultados obtenidos en esta hacienda con los reportados en Patolandia, podemos manifestar que la altura comercial es menor debido probablemente a factores como edad (Patolandia 7 años y Mulaute 6 años), calidad de suelos, manejo de la plantación a la que fue sometida y calidad de semilla utilizada.

B. COMPARACIÓN DEL FACTOR DE FORMA CALCULADO CON EL FACTOR DE FORMA DETERMINADO POR EL MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador), HACIENDA MULAUTE PLANTACIÓN DE MELINA EN RODALES DE 6 AÑOS

Cuadro 24; Resumen general y comparación de factor de forma para la Hacienda Mulaute

HACIENDA MULAUTE DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DEL FACTOR DE FORMA RESUMEN GENERAL								
	DAP (cm)	L. Comercial(m)	Vol/commercial Real(m3)	Vol/Cil(m3)	FF cal	FF. MAE	vol. (m ³) Estimado/ ff Calculado	vol.(m ³) Estimado/ ff MAE
Pronedio general	24,91	11,76	0,32	0,66	0,49	0,74	0,28	0,42

Al analizar la determinación del factor de forma en la hacienda Mulaute, con plantación de melina, podemos manifestar que el MAE establece para las especies latifoliadas un ff de 0.74, valor que difiere con el determinado en esta investigación (0.49), este factor nos permite estimar el volumen comercial, más cercano a la realidad como podemos apreciar en el (cuadro 24) que este es muy cercano al volumen comercial calculado que en esta hacienda es (0.28 m³) vs el volumen calculado con el FF del MAE que obtenemos un volumen de (0.42 m³), Lo que nos permite demostrar que los rendimientos productivos de la empresa REYBANPAC C.A. se ven afectados económicamente, ya que al comprar madera estaríamos sobrestimando el volumen pero al vender resultaría lo contrario.

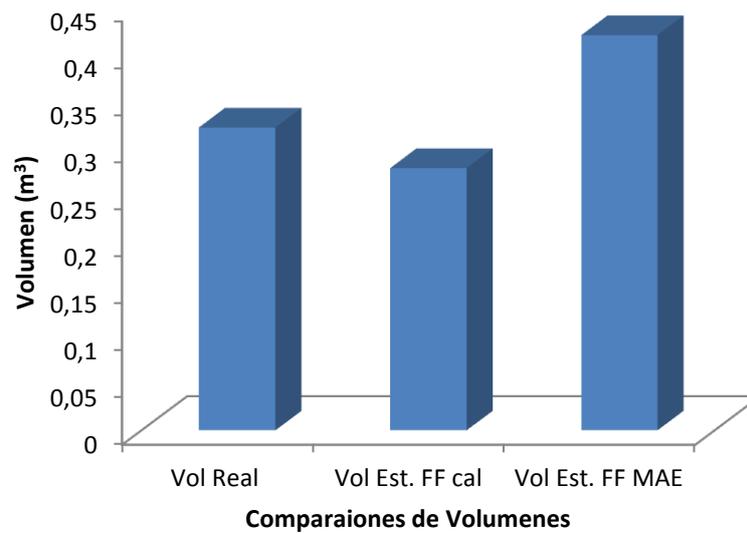


Gráfico 12; Comparación de volúmenes

C. COMPARACION DE TRES MODELOS MATEMATICOS PARA LA CONSTRUCCION DE TABLAS VOLUMETRICAS HACIENDA MULAUTE ESPECIE MELINA (*Gmelina arborea Roxb*) EN RODALES DE 6 AÑOS

1. Análisis de gráficos partiendo de los datos tomados en campo

Se analizaron tres tipos de ecuaciones para volumen, esto es en un consolidado general en el que se abarcó el total de datos muestreados y en cada uno de los tratamientos, buscando la ecuación que presente mayor grado de asociatividad entre las variables aplicadas en esta investigación que fueron, altura comercial y volumen comercial de los árboles muestreados.

Representación gráfica y ecuación aplicar en la tabla de volumen.

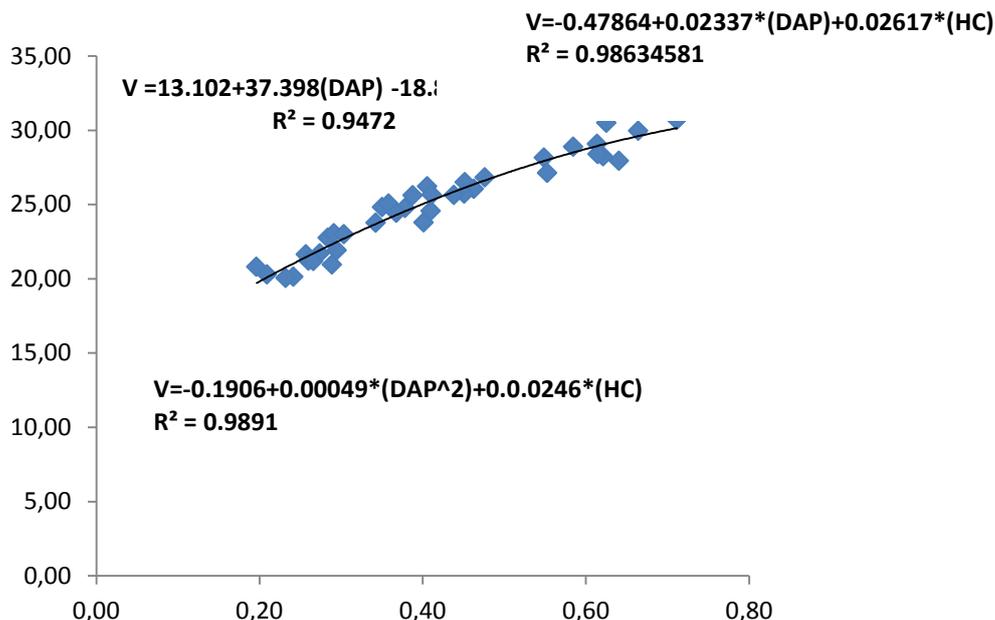


Gráfico 13; Representación gráfica de la tabla de volumen

Cuadro 25; Regresión Ecuación # 1

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,986345813
Coefficiente de determinación R ²	0,972878063
R ² ajustado	0,971328238
Error típico	0,024563624
Observaciones	38

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0,75751396	0,37875698	627,734	3,8292E-28
Residuos	35	0,02111801	0,000603372		
Total	37	0,77863197			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,47864	0,04672	-10,24488	4,48E-12	-0,5735	-0,38379	-0,57349	-0,383795
DAP	0,02338	0,003342	6,9956898	3,87E-08	0,0166	0,03016	0,016593	0,0301613
HC	0,02618	0,003681	7,1114079	2,75E-08	0,0187	0,03365	0,018705	0,0336519

$V = -0.47864 + 0.02337*(DAP) + 0.02617*(HC)$

Cuadro 26; Regresión Ecuación # 2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,993789018
Coefficiente de determinación R ²	0,987616613
R ² ajustado	0,98727263
Error típico	0,0163657
Observaciones	38

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,7689899	0,768989867	2871,12	6,229E-36
Residuos	36	0,0096421	0,000267836		
Total	37	0,778632			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	0,1012	0,0064	15,85738	8E-18	0,0883	0,114196	0,0883	0,114196
DAP ² *HC	4E-05	7E-07	53,58284	6E-36	3,8E-05	4,13E-05	3,8E-05	4,13E-05

V=0.1012+0.000039(DAP²*HC)

Cuadro 27; Regresión Ecuación # 3

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,989151715
Coefficiente de determinación R ²	0,978421115
R ² ajustado	0,977188036
Error típico	0,021910213
Observaciones	38

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,76183	0,380914979	793	7,0066E-30
Residuos	35	0,016802	0,000480057		
Total	37	0,778632			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-0,1906	0,01561	-12,20967	4E-14	-0,2223	-0,1589	-0,2223	-0,1589
DAP ²	0,00049	5,9E-05	8,396522	7E-10	0,0004	0,00061	0,0004	0,00061
HC	0,0247	0,00326	7,569322	7E-09	0,0181	0,03132	0,0181	0,03132

V=-0.1906+0.00049*(DAP²)+0.0246*(HC)

D. ELABORACIÓN DE LA TABLA DE VOLUMEN LOCAL DE DOBLE ENTRADA, CONSIDERANDO COMO VARIABLES INDEPENDIENTES AL DIÁMETRO A LA ALTURA DE PECHO Y ALTURA COMERCIAL HDA MULAUTE ESPECIE MELINA (*Gmelina arborea*) EN RODALES DE 6 AÑOS

La tabla de volumen de doble entrada se elaboró aplicando la ecuación lineal múltiple, que a continuación se detalla $V = -0.1906 + 0.00049*(DAP^2) + 0.0246*(HC)$
 $R^2 = 0.9891$

Esta ecuación nos permitió hacer predicciones del volumen comercial más cercanas a la realidad y que pueden ser aplicadas en otros sitios climáticos similares a los de la Mulaute.

La ecuación lineal múltiple fue designada como la que servirá para la elaboración de la tabla de doble entrada, por su alto grado de pertinencia y con un coeficiente de determinación de 0.9891, además que la aplicación de esta en campo resulta mucho más fácil. Colocamos la ecuación en una hoja de cálculo la cual nos permitió, remplazar cada una de las incógnitas (variables independiente), con los valores que se requieren.

Tabla 7; Tabla de volumen de doble entrada – Hda Mulaute especie melina (*Gmelina arborea*)

Tabla de volumen local doble entrada – Hda Mulaute especie Melina (<i>Gmelina arborea</i>) - variable Diámetro a la altura de pecho y Altura comercial Edad 6 años																													
DAP (cm)	ALTURA COMERCIAL (m)																												
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20
20	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51
21	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,54
22	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,55	0,56
23	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,50	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58
24	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,53	0,54	0,55	0,57	0,58	0,59	0,61
25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52	0,54	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63
26	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,55	0,56	0,57	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65
27	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40	0,41	0,43	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58	0,60	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,68
28	0,33	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,50	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59	0,61	0,62	0,63	0,65	0,66	0,67	0,69	0,70
29	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,53	0,54	0,55	0,57	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68	0,70	0,71	0,72
30	0,38	0,39	0,41	0,42	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,54	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63	0,64	0,65	0,67	0,68	0,69	0,71	0,72	0,73	0,75

A. DETERMINACION DEL FACTOR DE FORMA PARA TECA (*Tectona grandis* Lf), EN LA HACIENDA MIREYA DEL PILAR EN RODALES DE 13 AÑOS.

1. Diámetro a la Altura de Pecho (DAP)

Cuadro 28; Análisis estadístico del Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP	24	0.21	0.10	12.11

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	69.52	3	23.17	1.81	0.1775
Lotes	69.52	3	23.17	1.81	0.1775
Error	255.80	20	12.79		
Total	325.32	23			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 5.83466

Error: 12.7901 gl: 20

Lotes	Medias	n	
1.00	26.57	5	A
3.00	29.24	6	A
4.00	30.36	8	A
2.00	31.52	5	A

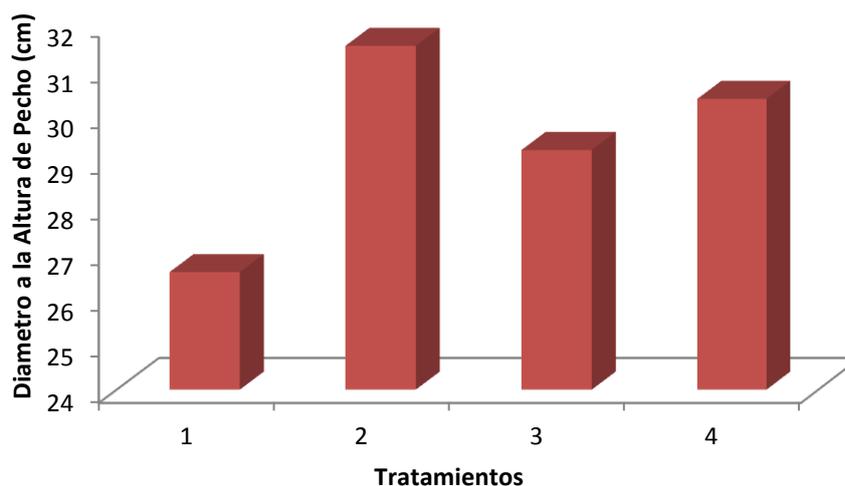


Gráfico 14; Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Diámetro a la Altura de Pecho

En la hacienda Mireya, se determinó un DAP, promedio de 29,42 cm con un coeficiente de variación de 12,11, sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos con una probabilidad de 0.17 como se puede observar en el (Cuadro 28 grafico 14) el tratamiento 2 es el que alcanzó el valor más alto para este parámetro con 32,51 cm, en tanto que el tratamiento 1 obtuvo el valor más bajo con 26,57 cm.

Cortez, F. (2011), determina un DAP en teca de 7 años de edad de 14,52 cm, valor inferior al de la presente investigación debido a la edad en la que fueron tomados los datos, el índice de sitio al que corresponde esta plantación y posiblemente también se deba al tipo de manejo que se le haya dado.

Balam, (2006), evaluó una plantación establecida en el Municipio de Nuevo Urecho, Mich a los dos años, teca alcanzó un diámetro de 5,10 cm y un IMA de 2,5 cm/año.

Krishnapillay, B. (2000), manifiesta un incremento medio anual del DAP de 1,5 a 2 cm, además menciona en su artículo que el DAP para un árbol de teca de 15 años puede variar entre 25 a 35 cm, dato que coincide con el presente ensayo, el mismo que dependerá del manejo y las condiciones de sitio en el que se desarrolle el árbol.

2. Volumen comercial

Cuadro 29; Análisis estadístico del Volumen Comercial

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Volumen Comercial	24	0.22	0.11	3.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.05	3	0.02	1.92	0.1587
Lotes	0.05	3	0.02	1.92	0.1587
Error	0.18	20	0.01		
Total	0.24	23			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.15599
 Error: 0.0091 gl: 20

Lotes	Medias	n	
1.00	0.35	5	A
3.00	0.38	6	A
4.00	0.43	8	A
2.00	0.48	5	A

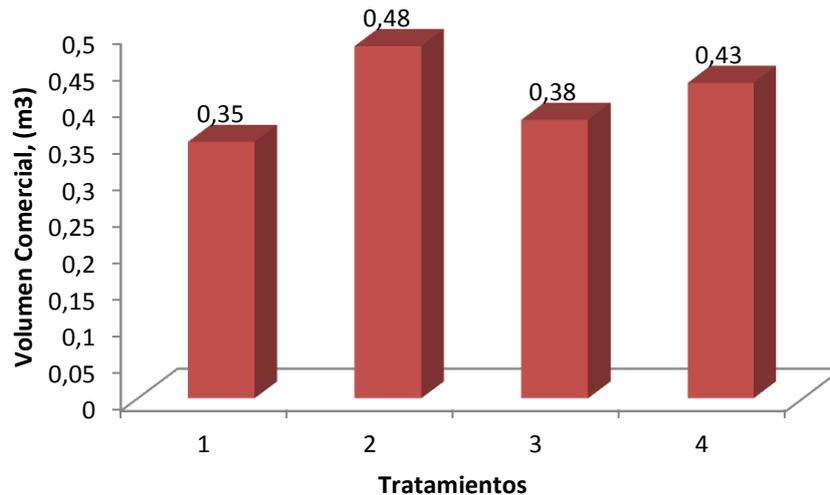


Gráfico 15; Volumen comercial

Volumen comercial

En el (Cuadro 29 grafico 15) podemos observar que en la hacienda Mireya del pilar, el volumen comercial del árbol, no presenta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos analizados, las diferencias que se evidencian son únicamente de carácter numérico, siendo el tratamiento 2 el que alcanzó el valor más alto con una media de $0,48 \text{ m}^3$ y una media general de $0,41 \text{ m}^3$, observándose homogeneidad en los datos pues el coeficiente de variación de esta variable es de 3.23

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con los reportados por Krishnapillay, B. (2000), autor que determina valores en promedio de $0,50 \text{ m}^3$.

Mora, F. (2007), en su artículo titulado Estimación del Volumen Comercial por producto para rodales de teca en el pacífico de Costa Rica, manifiesta que el volumen comercial en función de un diámetro de 25 a 30 cm es de $0,48 \text{ m}^3$, dato que coincide plenamente con el obtenido en la presente investigación.

Esto probablemente se puede deber al índice de sitio de ese sector ya que tendríamos condiciones casi similares en nuestro país y sobre todo si relacionamos esta plantación en Ecuador y la de Costa Rica.

3. Volumen del cilindro

Cuadro 30; Análisis estadístico del Volumen del Cilindro

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Vol. cilindro	24	0.19	0.06	3.78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.25	3	0.08	1.52	0.2393
Lotes	0.25	3	0.08	1.52	0.2393
Error	1.11	20	0.06		
Total	1.36	23			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.38388

Error: 0.0554 gl: 20

lotes	Medias	n	
1.00	0.62	5	A
3.00	0.66	6	A
4.00	0.78	8	A
2.00	0.89	5	A

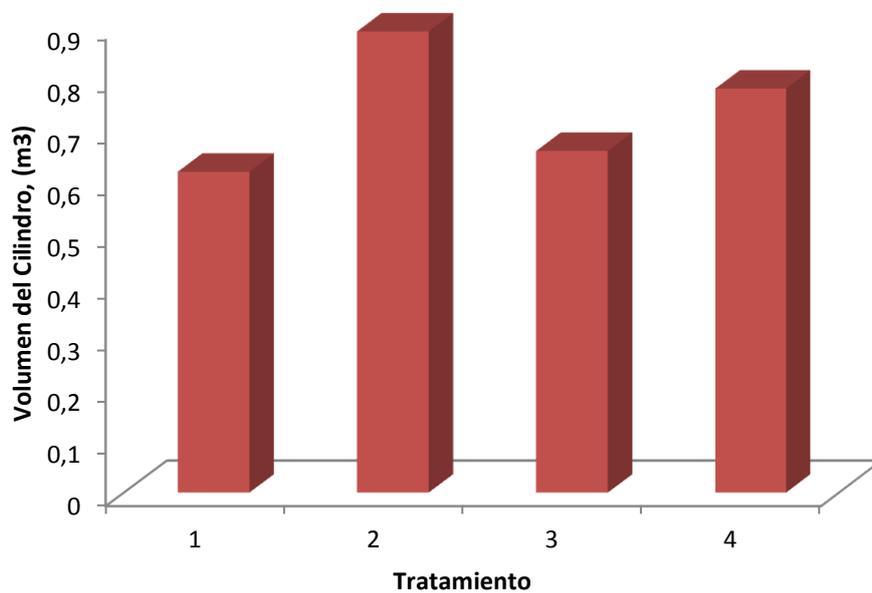


Gráfico 16; Volumen del cilindro

Volumen del cilindro

El volumen del cilindro, es la referencia tomada que nos permite determinar con el volumen comercial el factor de forma de los árboles, en la presente investigación al igual que en los parámetros anteriores, las medias de los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de 0,2393, y una media general de 0,7375 m³, siendo el tratamiento 2 el que alcanzo en forma numérica el valor más alto para esta variable con 0.89 m³.

4. Altura comercial (Hc)

Cuadro 31; Análisis estadístico de la Altura Comercial

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HC	24	0.18	0.06	11.27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	5.02	3	1.67	1.51	0.2431
Lotes	5.02	3	1.67	1.51	0.2431
Error	22.21	20	1.11		
Total	27.23	23			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 1.71910

Error: 1.1103 gl: 20

lotes	Medias	n	
3.00	8.72	6	A
1.00	9.34	5	A
4.00	9.36	8	A
2.00	10.08	5	A

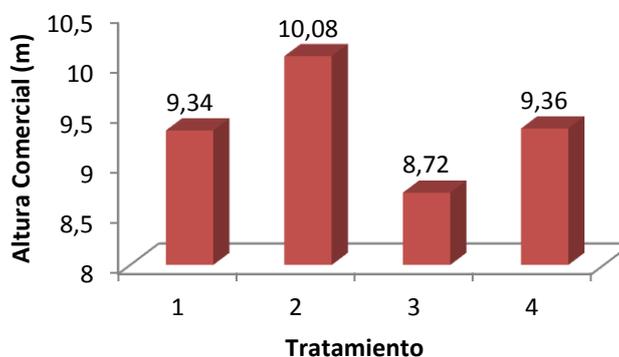


Gráfico 17; Altura Comercial

Altura comercial

La altura comercial es uno de los parámetros que nos permitió determinar el volumen comercial, en el presente ensayo, las medias para los tratamientos fueron: 9.34 m para el tratamiento 1 para el tratamiento 2; 10.08m 8.72m en el tratamiento 3 y 9.36m para el tratamiento 4, sin existir diferencias estadísticas significativas con un coeficiente de variación de 11.27

El valor más alto para este parámetro como lo podemos evidenciar en el (Cuadro 31) y (Grafico 17) lo alcanza el tratamiento # 2 en lo que es la altura comercial, debida probablemente al tipo de manejo empleado, la calidad de la semilla entre los principales.

5. Factor de forma (FF)

Cuadro 32; Análisis estadístico del Factor de Forma

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FF	24	0.19	0.06	8.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.01	3	4.7E-03	1.53	0.2372
Lotes	0.01	3	4.7E-03	1.53	0.2372
Error	0.06	20	3.1E-03		
Total	0.08	23			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.09070
Error: 0.0031 gl: 20

lotes	Medias	n	
2.00	0.61	5	A
4.00	0.63	8	A
3.00	0.64	6	A
1.00	0.68	5	A

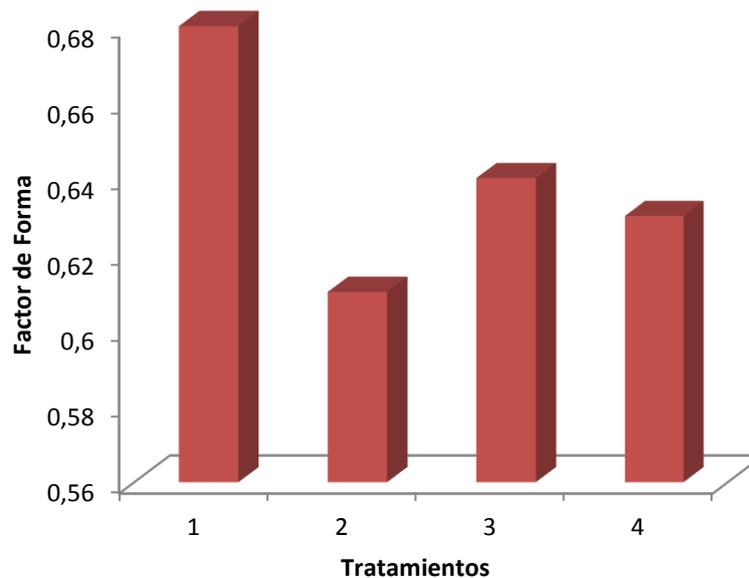


Gráfico 18; Factor de forma

Factor de forma

El Factor Forma, es el indicador que nos permitió, corregir la diferencia que se presenta entre el volumen comercial y el volumen del cilindro, Las medias para esta variable van desde 0.61 a 0.68 para los tratamientos 2 y 1 respectivamente, sin existir diferencias estadísticas significativas con un coeficiente de variación de 8.74.

En Bolivia el Factor de forma que se utiliza para las especies latifoliadas como es teca es de 0,65 así lo destaca Heinsdijk en su documento titulado PROPUESTA PARA LA ELABORACION DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y/O FACTORES DE FORMA 1997., dato que coincide relativamente con el encontrado en esta investigación con un promedio general de 0.64.

El MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador), recomienda para este tipo de especies latifoliadas la utilización de un factor de forma de 0,74; dato que es ligeramente superior al obtenido en la hacienda Mireya motivo de estudio, esto se puede deber a que este parámetro es generalizado para todas las especies arbóreas latifoliadas y para diferentes sitios, aplicando de una forma generaliza este dato, a diferencia de lo que ocurre con el presente ensayo, cuyos datos se circunscriben a un índice de sitio determinado, y que se deberá utilizar exclusivamente en dicha hacienda, o en plantaciones que reúnan características similares.

B. COMPARACIÓN DEL FACTOR DE FORMA CALCULADO, CON EL FACTOR DE FORMA DETERMINADO POR EL MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador), HACIENDA MIREYA DEL PILAR ESPECIE TECA (*Tectona grandis lf*) EN RODALES DE 13 AÑOS

Cuadro 33; Resumen general y comparación de factor de forma para la Hacienda Mireya del Pilar (Teca)

HACIENDA MIREYA DEL PILAR DETERMINACION Y COMPARACION DEL FACTOR DE FORMA RESUMEN GENERAL								
	DAP	L. Comercial(M)	Vol/Real(M3)	Vol/Cil(M3)	FF	FF. MAE	vol. Estimado/ ff calculado	vol. Estimado/ ff MAE
SUMATORIA	9795.58	3100.10	136.88	246.65	0.55			
MEDIA	29.59	9.37	0.41	0.75	0.55	0.74	0.36	0.48

Como podemos observar en el (Cuadro 33) el factor de forma calculado en la presente investigación es menor al establecido por el MAE (Ministerio de ambiente del Ecuador) debido posiblemente a varios factores como el manejo forestal de la plantación, índice de sitio, edad del rodal, entre los principales. Además el MAE, para la determinación del factor de forma empleó de manera generalizada, la información de diversos sitios a nivel de todo el país categorizando a las especies latifoliadas de esta zona con este factor de forma pero este no concuerda con el calculado en la hacienda Mireya donde los árboles son menos cilíndricos dato que disminuye directamente en el volumen estimado. (Grafico 19)

Realizando la comparación del volumen comercial estimado con el factor de forma calculado en este ensayo nos da 0.36 m^3 , valor muy cercano al volumen real determinado en la hacienda Mireya, (0.41 m^3), en contraposición al volumen comercial de 0.48 m^3 determinado a través de FF del MAE. Lo cual influye económicamente en los rendimientos productivos de la empresa REYBANPAC C.A,

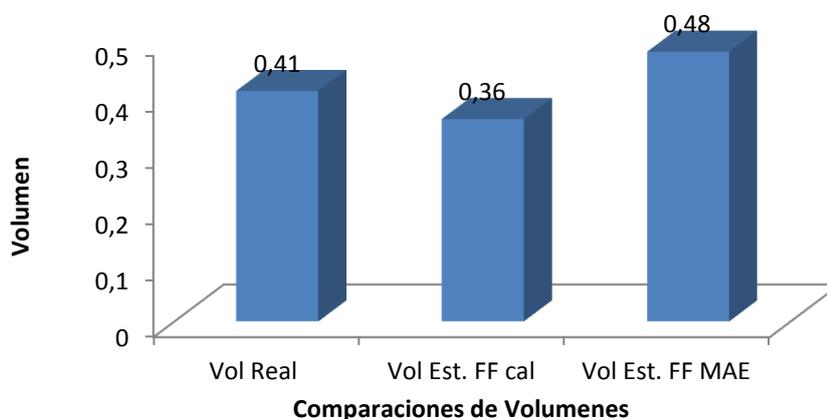


Gráfico 19; Comparación de volúmenes

C. COMPARACIÓN DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS, HACIENDA MIREYA DEL PILAR ESPECIE TECA (*Tectona grandis lf*) EN RODALES DE 13 AÑOS.

1. Análisis de gráficos partiendo de los datos tomados en campo

Se analizaron tres tipos de ecuaciones para volumen, esto es en un consolidado general en el que se abarcó el total de datos muestreados y en cada uno de los tratamientos, buscando la ecuación que presente mayor grado de asociatividad entre las variables aplicadas en esta investigación que fueron, altura comercial y volumen comercial de los árboles muestreados.

Representación gráfica y ecuación aplicar en la tabla de volumen.

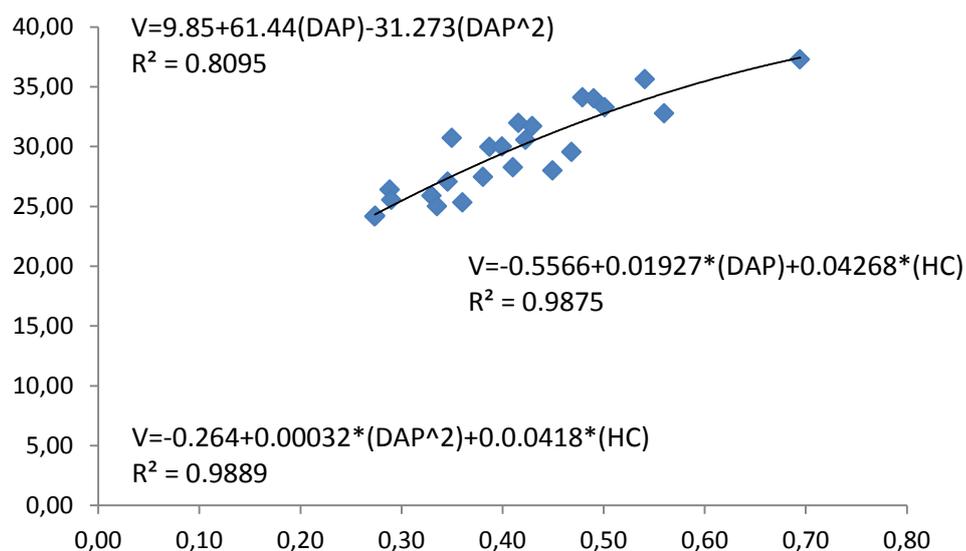


Gráfico 20; Representación gráfica de la tabla de volumen

Cuadro 34; Regresión Ecuación # 1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9875188
Coefficiente de determinación R ²	0,9751934
R ² ajustado	0,9728308
Error típico	0,0166796
Observaciones	24

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,2296755	0,114837765	412,774	1,3898E-17
Residuos	21	0,0058424	0,00027821		
Total	23	0,2355179			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-0,55663	0,0346	-16,0701	3E-13	-0,629	-0,4846	-0,6287	-0,4846
DAP	0,01927	0,001	19,25791	8E-15	0,0172	0,02136	0,0172	0,02136
HC	0,04268	0,0035	12,33869	4E-11	0,0355	0,04988	0,0355	0,04988

V=-0.5566+0.01927*(DAP)+0.04268*(HC)

Cuadro 35; Regresión Ecuación # 2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9871006
Coefficiente de determinación R ²	0,97436759
R ² ajustado	0,97320248
Error típico	0,01656515
Observaciones	24

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,229481	0,229481045	836,29	5,34124E-19
Residuos	22	0,0060369	0,000274404		
Total	23	0,2355179			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	0,10794	0,011	9,7875633	2E-09	0,08507	0,130811	0,08507	0,130811
DAP ² *HC	3,63E-05	1E-06	28,918653	5E-19	3,4E-05	3,89E-05	3,4E-05	3,89E-05

V=0.107+0.000036(DAP²*HC)

Cuadro 36; Regresión Ecuación # 3

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,988927792
Coefficiente de determinación R ²	0,977978179
R ² ajustado	0,975880862
Error típico	0,015715527
Observaciones	24

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0,2303314	0,115166	466,3	3,9807E-18
Residuos	21	0,0051865	0,000247		
Total	23	0,2355179			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,265	0,0284	-9,3278	6E-09	-0,3239	-0,2058	-0,324	-0,2058
DAP ²	0,0003	1,6E-05	20,504	2E-15	0,00029	0,00036	0,0003	0,00036
HC	0,0418	0,00327	12,767	2E-11	0,035	0,04862	0,035	0,04862

V=-0.264+0.00032*(DAP^2)+0.0.0418*(HC) (2013)

D. ELABORACIÓN DE LA TABLA DE VOLUMEN LOCAL DE DOBLE ENTRADA, CONSIDERANDO COMO VARIABLES INDEPENDIENTES AL DIÁMETRO A LA ALTURA DE PECHO Y ALTURA COMERCIAL HDA HDA. MIREYA DEL PILAR ESPECIE TECA (*Tectona grandis lf*) EN RODALES DE 13 AÑOS

La tabla de volumen de doble entrada se elaboró aplicando la ecuación lineal Múltiple, que a continuación se detalla

$$V = -0.264 + 0.00032 * (DAP^2) + 0.0.0418 * (HC)$$

$$R^2 = 0.9889$$

La ecuación lineal múltiple nos permite designar la elaboración de la tabla de doble entrada, ya que por su alto grado de pertinencia y con un coeficiente de determinación de 0.9889, además que la aplicación de esta en campo resulta mucho más fácil.

Esta ecuación nos aprueba hacer predicciones del volumen comercial en el campo mucho más cercanas a la realidad y que pueden ser aplicadas en otras plantaciones con condiciones similares a los de la Mireya del pilar.

Tabla 8; Tabla de volumen de doble entrada – Hda MIREYA DEL PILAR Especie Teca (*Tectona grandis* Lf)

Tabla de volumen local de doble entrada – Hda MIREYA DEL PILAR Especie Teca (<i>Tectona grandis</i> Lf) - variable Diámetro a la altura de pecho y Altura comercial, Edad 13 años																													
DAP (cm)	ALTURA COMERCIAL (m)																												
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20
20	0,08	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68
21	0,10	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70
22	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72
23	0,14	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74
24	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76
25	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78
26	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,80
27	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,80	0,82
28	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,82	0,84
29	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,86
30	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88

VI. CONCLUSIONES

- El factor de forma obtenido en melina, en la hacienda Patolandia (0.58), en la hacienda Mulaute (0.49), y para teca en la hacienda Mireya del Pilar (0.55) y si lo relacionamos con el volumen de madera de un rodal calculado con el factor forma establecido por el MAE (0,74) encontraremos una diferencia entre ellos.
- Al comparar el factor de forma obtenido en las plantaciones para las tres haciendas objeto de estudio, podemos verificar que este varía con relación al establecido por el MAE (0.74), en 0.16; 0.25; 0.19 puntos para Patolandia, Mulaute y Mireya del pilar respectivamente.
- De los tres modelos matemáticos aplicados en la investigación, con las dos especies, en las tres haciendas el mejor resultado se obtuvo con la ecuación lineal múltiple, por su alto grado de eficacia y con un coeficiente de determinación cercano a 1.
- El índice de sitio influye en el crecimiento de los árboles, por tanto en el factor de forma de las especies.
- La aplicación del factor de forma establecido por el MAE (0.74), para especies latifoliadas, perjudica a la empresa en la compra de madera, por no ser calculado en el mismo sitio de la plantación lo cual influye en la estimación del volumen.

VII. RECOMENDACIONES

- Para estimar el volumen de madera de un rodal se debe realizar el cálculo de factor de forma para cada sitio y para cada especie.
- De aplicarse las tablas volumétricas elaboradas en esta investigación, para la estimación de volumen de madera en las dos especies en zonas de similares características, se deberá analizar principalmente parámetros como edad y tipo de manejo de la plantación.
- Utilizar tablas de volumen de doble entrada (DAP y altura) por tener mayor aplicabilidad en el campo
- Dar continuidad a esta investigación hasta el aprovechamiento final de la plantación, y así tener una base de datos reales de cada sitio con distintas edades, en especies de mayor interés comercial como teca y melina.

VIII. ABSTRACTO

CONSTRUCCIÓN DE TABLAS VOLUMÉTRICAS Y CÁLCULO DE FACTOR DE FORMA (FF.) PARA DOS ESPECIES, TECA (*Tectona grandis*) Y MELINA (*Gmelina arborea*) EN TRES PLANTACIONES DE LA EMPRESA REYBANPAC CA. EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS.

La presente investigación propone: Construir tablas volumétricas y calcular el factor de forma, para dos especies, Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*), en tres plantaciones de la empresa REYBANPAC. CA. En la provincia de los Ríos. Basándonos en el levantamiento del inventario forestal 2010, utilizamos un diseño sistemático estratificado, el proceso de los datos se inició inmediatamente después del término del mismo. Dando como resultado un factor de forma para melina en la Hacienda Patolandia de 0,58 mientras que para la Hacienda Mulaute con la misma especie un factor de forma de 0,49 y finalmente para la Hacienda Mireya del pilar con especie teca un factor de forma de 0,55, difiriendo significativamente respecto al factor de forma establecido por el MAE que es de 0,74 para especies latifoliadas, respecto a los modelos matemáticos aplicados el que mejor se ajusto es la ecuación lineal múltiple, que fue la designada para la elaboración de las tablas de volumen de doble entrada por su alto grado de pertinencia y con un coeficiente de determinación para la Hacienda Patolandia 0.9876, Hacienda Mulaute 0.9891 y finalmente para la Hacienda Mireya del pilar 0.9889, concluyendo que el factor de forma establecido por el MAE no es propio de ese sitio y aplicando las tablas volumétricas de doble entrada la mejor ecuación es la ecuación lineal múltiple.

IX. ABSTRACT

VOLUME TABLES AND FORM FACTOR CALCULATION (FF.) CONSTRUCTION FOR TWO SPECIES, TEAK WOOD (TECTONA GRANDIS) AND MELINA (GMELINA ARBOREA) IN THREE PLANTATIONS OF THE COMPANY REYBANPAC CA. IN LOS RIOS PROVINCE.

This research proposes: To build volume tables and calculate the form factor, for two species, Teak wood (*Tectona grandis*) and Melina (*Gmelina arborea*) in three plantations in the REYBANPAC CA company in Los Rios province based on the raising 2010 forest inventory, a stratified systematic design was used, data process began immediately at the end of the design. The results were form factor for Melina at Hacienda Patolandia 0.58 while for Hacienda Mulaute with the same species the form factor was 0.49 and finally for Hacienda Mireya del Pilar with Teak wood species the form factor was 0.55 differing significantly from the form factor established by the MAE (Ministry of Environment of Ecuador) which is 0.74 for hardwoods, from all the applied mathematical models the one that best fit was the linear equation which was designated for double entry volume tables for their high level of relevance and with a coefficient of determination for Hacienda Patolandia 0.9876, Hacienda Mulaute 0.9891 and finally for Hacienda Mireya del Pilar 0.988. It is concluded that the form factor established by the MAE does not belong to this place and by applying double-entry volume tables the best equation is the multiple linear.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol.2: predicción del rendimiento. Estudios FAO: Montes, 22 (2).
- Álvarez O, P. A, Varona J.C. 1988. Silvicultura. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación; 354pp.
- Betancourt A (1987): Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Segunda Edición. Editorial Científico Técnica Madrid. España. pp 251-279.
- Bruce, D. y Schumacher, F. 1965. Medición Forestal. Editorial Herrero. México D.F. Traducido por Ramón Palazón y José Meza. 474 p.
- Dupuy, B.; Maître H.; N'Guessan Kanga, A. 1999. Table de production du teck (*Tectona grandis*): l'exemple de la Côte d'Ivoire. Bois et forêts des tropiques, 261(3): 7-16.
- Sablón, M. 1980. Dendrología. CUPR. Facultad de Agronomía y Forestal. Unidad Docente de Ingeniería Foresta. Cajalbana. 119p.
- Vásquez, W.; Ugalde, L. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 12-44p.
- SPITLER, P. 1995. Guía técnica para el inventario ranológico de Costa Rica. Departamento de Inge- pido de bosques secundarios en la zona norte de Costa Rica. COSEFORMA. Alajuela, Costa Rica. 20 p.
- KRAMER, H.; AK<.:A, A. 1995. Leitfaden zur Waldmesslehre. J.D. Sauerlanders Verlag. Frankfurt, Alemania. 266 p.
- SPITLER, P. 1996. Inventario rápido en bosques secundarios de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Georg-August, Gottingen, Alemania. 418 p. mania. 75 p.
- Caillez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento Con referencia especial a los trópicos. Roma, IT, FAO. v.1,33 p.
- Cubero, JA; Rojas, SA. 1999. Fijación de carbono en plantaciones forestales de melina *Gmelina arborea* Roxb), teca (*Tectona grandis* L.f) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojancha, y Nicoya,

Guanacaste, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. 95 p.

Dauber, E. 1995. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Santa Cruz, Bol, Proyecto BOLFOR. s.p.

De Camino, RV; Alfaro, MM; Sage, LFM. 2002. Teak (*Tectona grandis*) in Central America, Forest Plantations Working Papers. Roma, IT, FAO. 64 p. (Working Paper FP/19).

Kangas, A. y Maltamo, M. 2006. Forest Inventory: Methodology and Applications. Springer. 362 pp.

Klein, C. 2000. Inventario y evaluación de árboles fuera de bosque en grandes espacios En: Unasyuva. Vol 51, No. 200. Roma.

Malleux, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima, Peru. Universidad Nacional Agraria "La Molina". 441 p.

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACD113.pdf

http://www.anam.gob.pa/index.php?option=com_content&view=article&id=1236&Itemid=804&lang=es

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACD113.pdf

<http://archivo.eluniverso.com/2006/09/11/0001/3/suplementos.aspx>

http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf

<http://teakec.com/procesamos.html>

Microsoft ® Encarta ® 2009 y 2010.

<http://archivo.eluniverso.com/2006/09/11/0001/3/suplementos.aspx>

http://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n02_189.pdf

<http://www.slideshare.net/aconde84/cubicacion-de-madera>

<http://www.siforestal.org.pe/descargas/288.pdf>

<http://www.bosquesflegt.gov.co/files/contadores%20soportes/EI%20Gobierno.pdf>

http://www.cnf.org.pe/secretaria_conflat/memorias/DOCUMENTO%20MESAS/ME SA%202/Olman%20Murillo.pdf

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/1564Metodolog%C3%ADa%20para%20realizar%20y%20presentar%20%20informes%20ISI.pdf>

Revista forestall Centroamericana

<http://siteresources.worldbank.org/EXTFORESTS/Resources/985784-1217874560960/Methodologia.pdf> caoba

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACW374.pdf yesquero blanco

<http://www.itto.int/files/user/cites/peru/Sistematizaci%C3%B3n%20Taller%20Tabla%20Conv.%20Volum.2pdf.pdf> taller sobre tablas de conversión

<http://www1.inecol.edu.mx/myb/resumeness/4.2/pdf/Jmenez%20et%20al%201998.PDF> sistema matemático

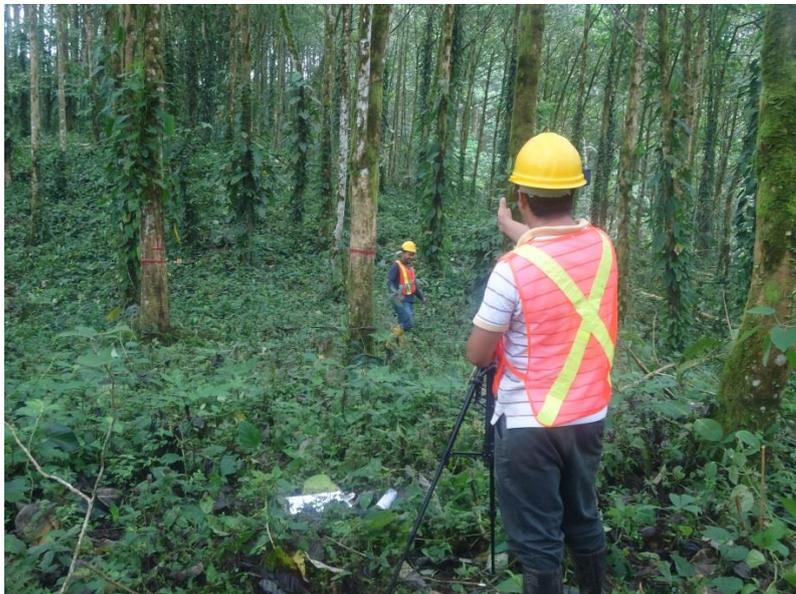
http://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q2_07.pdf eucalipto

http://www.iesjovellanos.com/archivos/medicion_altura_volumen_biomasa_deun_arbol.1286905158.pdf

ANEXO 3; Establecimiento de parcelas en los rodales de estudio



ANEXO 4; Establecimiento de parcelas en los rodales de estudio



ANEXO 5; Medición del (DAP) diámetro a la altura del pecho



ANEXO 6; Tumba de árboles en estudio



ANEXO 7; Medición de árboles para factor de forma



ANEXO 8; Toma de datos



ANEXO 9; Extracción de arboles

