

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSGRADO**

**“UN SISTEMA PARA EL ANALISIS DE CALIDAD DE FUSTE CON EL FIN DE  
PREDECIR RENDIMIENTOS COMERCIALES DE PULPA Y MADERA SOLIDA DE  
MELINA (*Gmelina arborea* Roxb.), EN INVENTARIOS PRECOSECHA.”**

**POR**

**NICOLAS G. MUIR**



Turrialba, Costa Rica  
1996

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE EDUCACION-EDECO**  
**ÁREA DE POSTGRADO**

“Un sistema para el análisis de calidad de fuste con el fin de predecir rendimientos comerciales de pulpa y madera sólida de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.), en inventarios precosecha.”

Tesis sometida a la consideración del comité técnico Académico del Programa de estudios de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE**

Por

**NICHOLAS G. MUIR**

**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza**  
**Turrialba, Costa Rica**

**Diciembre de 1996**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE**

**FIRMANTES:**



---

**Glenn Galloway, Ph.D.**  
Profesor Consejero



---

**Luis Ugalde A., Ph.D.**  
Miembro Comité Asesor



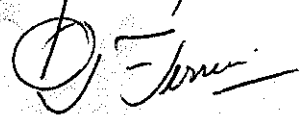
---

**Philip Cannon, Ph.D.**  
Miembro Comité Asesor



---

**Juan Antonio Aguirre, Ph.D.**  
Jefe, Area de Postgrado



---

**Pedro Ferreira, Ph.D.**  
Director, Programa de Enseñanza



---

**Nicholas G. Muir**  
Candidato

## Agradecimientos

Al Dr. Glenn Galloway, Profesor Consejero y amigo, por su buena disposición en la dirección de la investigación. Así como a los profesores miembros del Comité Asesor de la Tesis: Luis Ugalde , Phil Cannon y Pedro Oñoro. Cada uno de ellos jugó un rol importante en el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento para Donald Zeaser MSc., Walter Barrantes y Rafael Murillo del Departamento de Investigación y Desarrollo de Ston Forestal S.A. por su asesoría y amistad.

A todos los empleados de Ston Forestal por su apoyo en la fase de campo y por su interés en el desarrollo de la investigación. En particular a los técnicos de campo, Javier Beita y Geovanny Sánchez por su apoyo y destreza con la motosierra.

A mis compañeros de la promoción 1995-96 del CATIE en particular a Jaime Jiménez y a los del área forestal.

A los docentes del CATIE por su dedicación a la enseñanza y a la investigación, fueron un ejemplo para todos nosotros.

A los donantes de USAID y FINIDA quienes me apoyaron económicamente en parte de los estudios realizados en el segundo año.

A mi compañera de clase y novia Silvia Sigcha, por acompañarme y apoyarme en todo lo que he hecho en estos dos años. Esta tesis la dedico a ti.

## CONTENIDO

Figura No.	Pagina
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
<b>III. HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....</b>	<b>6</b>
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
4.1 Descripción de <i>G. arborea</i> (Roxb.)	7
4.2 Bifurcaciones	8
4.3 Curvatura	9
4.4 Relación de defectos de forma en la estimación de volumen	10
4.5 Conicidad de los fustes	13
4.5.1 Medición de la conicidad	15
4.6 Efecto del origen del material genético	18
4.7 Calificación de la forma del fuste	19
4.8 Crecimiento y rendimiento	20
4.9 Prácticas de troceo	22
4.10 Cubicación	25
<b>V. METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
5.1 Localización	27
5.2 Calificación de forma	27
5.3 Especificaciones de los productos	30
5.4 Hojas de campo	32
5.5 Etapa 1	32

5.6 Etapa 2	34
5.7 Fuentes de semilla para muestreo	36
5.8 Colecta de datos para la Etapa 2	38
5.9 Cubicación de los árboles	39
5.10 Propósito de las ecuaciones de regresión	39
5.11 Cálculo de ecuaciones de volumen utilizando regresiones	40
5.12 Selección de las ecuaciones de regresión de mejor ajuste	40
5.13 Tres métodos para comprobar el ajuste de ecuaciones de volumen en una validación	41
5.14 Análisis de varianza (ANDEVA)	42
5.15 Prueba de Duncan	43
5.16 Prueba de correlación	44
5.17 Procedimiento de análisis de datos	45
<b>VI. RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
6.1 Análisis de la hipótesis 1	48
6.1.1 Relación entre frecuencia de árboles de forma del fuste normal y fuente de semilla	48
6.1.2 Tablas de resultados y ANDEVA para cada experimento	48
6.1.3 Interpretación a nivel del sitio QA	49
6.1.4 Resultados a nivel de todos los experimentos la frecuencia de árboles de forma del fuste normal	50
6.1.5 Resultados del análisis combinado de la frecuencia de árboles de forma del fuste normal	50
6.1.6 Interpretación final análisis de la hipótesis 1	51
6.2 Análisis de la hipótesis 2	52
6.2.1 Relación entre productividad en volumen y fuente de semilla	52
6.2.2 Resultados y ANDEVA a nivel de cada experimento	53
6.2.3 Productividad: resultados a nivel de todos los experimentos	55
6.2.4 Resultados de análisis combinado, productividad	55
6.2.5 Análisis de varianza de sobrevivencia a nivel del experimento	56
6.2.6 Interpretación final del análisis de la hipótesis 2	57
6.2.7 Comparación de productividad estimada y observada	57

6.3	Análisis de la hipótesis 3	59
6.3.1	Relación entre la frecuencia de árboles de forma del fuste normal y calidad de sitio	59
6.3.2	Frecuencia de árboles de forma del fuste normal resultados a nivel de todos los experimentos	59
6.3.3	Resultados a nivel de todos los experimentos tomados como uno	60
6.3.4	Interpretación final de la hipótesis 3	62
6.4	Análisis de la hipótesis 4	63
6.4.1	Relación entre factor de forma y calidad del sitio	63
6.4.2	Resultados del análisis combinado del factor de forma del fuste	63
6.4.3	Análisis de parcelas divididas del factor de forma del fuste	66
6.4.5	Interpretación final del análisis 4	66
6.5	Análisis de la hipótesis 5	67
6.5.1	Cálculo de rendimiento de productos de <i>G. arborea</i>	67
6.5.2	Formulación de la ecuación general para la estimación del vol. comercial	67
6.5.3	Fórmula actual del volumen comercial de Ston Forestal	68
6.5.4	Formulación de ecuaciones para la estimación del volumen de cada producto en cada clase de forma (CGFM)	70
6.5.5	Selección de las ecuaciones de regresión por productos, clase 1 CGFM	71
6.5.5.1	Volumen comercial CGFM 1	72
6.5.5.2	Volumen de pulpa CGFM 1	73
6.5.5.3	Volumen para aserrío CGFM 1	74
6.5.5.4	Volumen para lápices CGFM 1	75
6.5.6	Ecuaciones de volumen para clases 2, 3 y 4 del CGFM	76
6.5.7	Determinación de los productos reales de un fuste	77
6.5.8	Cálculo de valores de descuento	80
6.5.9	Validación de ecuaciones del volumen por producto	82
6.5.9.1	Resultados de la validación	83
6.5.10	Aplicación de las ecuaciones en el inventario comercial	84
6.5.11	Tablas de volumen de cada producto para las cuatro clases CGFM	84
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
7.1	Conclusiones	85
7.2	Recomendaciones	87
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>88</b>

Muir, N.G. 1996. Un sistema para el análisis de calidad de fuste con el fin de predecir rendimiento comercial de pulpa y madera sólida de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en inventarios precosecha. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Palabras Claves: *Gmelina arborea*, plantaciones, fuentes de semilla, calidad de fuste, factor de forma cilíndrica, troceo, inventario forestal, regresión, ecuaciones de volumen.

## RESUMEN

Costa Rica es un país con un alto potencial para la producción de madera en plantaciones forestales de rápido crecimiento. Entre las especies plantadas *Gmelina arborea* figura como una de las más comunes y la especie que mejor crecimiento ha demostrado a nivel nacional. La necesidad de maximizar el valor y lograr una utilización más completa del producto de las plantaciones de Melina ha impulsado la búsqueda de mejores sistemas de inventario precosecha, con el fin de predecir rendimiento para diversos productos.

En esta investigación, se desarrolló un sistema simplificado para la clasificación de árboles (a los 6 años) en 4 clases de forma. El sistema se denominó CGFM y describe las siguientes clases de árbol: Clase 1, árboles sin presencia de torceduras abruptas o bifurcaciones en el primer 80% del fuste, Clase 2, árboles con una bifurcación alta, entre 33 y 80% de la altura total, Clase 3, árboles con una bifurcación baja, entre el nivel de suelo y 33% de la altura total, y Clase 4, árboles muy retorcidos o con una fuerte pérdida de dominancia.

Se comprobó que no había diferencia significativa entre frecuencia de defectos de forma para las fuentes de semilla comparadas en este estudio. La frecuencia de defectos de forma del fuste variaba de sitio en sitio, pero no se encontró una relación entre calidad del sitio y la frecuencia de los defectos. Se encontraron diferencias significativas entre la productividad (volumen comercial de madera a los 6 años) de fuentes. La mejor fuente generó 237.8m<sup>3</sup>/ha y la de menor productividad 210.5m<sup>3</sup>/ha.

La conicidad de los árboles, medido como el factor de forma cilíndrica (FFC), no presentó diferencias significativas entre fuentes de semilla ni tamaño del árbol. Se encontraron diferencias entre sitios pero no se halló una relación directa con la calidad del sitio.

Se reconoció que el uso de una sola ecuación general para calcular el volumen comercial de madera en las plantaciones dio origen a sub y sobre estimaciones de volumen. Se encontró que los volúmenes comerciales de pulpa variaban de lo estimado en árboles con la presencia de defectos de forma. Además fue evidente que la presencia de defectos de forma del fuste tuvieron un efecto negativo sobre el rendimiento de productos de madera sólida como son la madera para aserrío y para la fabricación de lápices.



En este estudio se cortó, troceó y cubicó más de 400 árboles para las cuatro clasificaciones de producto estudiadas: volumen comercial, volumen para pulpa, volumen para aserrío y volumen para lápices. Los valores observados fueron utilizados para generar 14 ecuaciones de volumen utilizando regresión lineal, para cada producto en cada clase de forma (con la excepción de clase 4 donde únicamente se generó ecuaciones para volumen comercial y para pulpa). Las variables independientes utilizadas fueron DAP y altura total.

Además se generaron 14 “Valores de descuento”, para ajustar el valor dado por la ecuación general de volumen para calcular el volumen comercial para los diferentes productos en cada clase de forma CGFM. Estas ecuaciones también dieron un buen ajuste a los volúmenes observados, aún que en la mayoría de los casos este fue menor del ajuste de la ecuación de volumen correspondiente.

Las ecuaciones generadas calculan volúmenes inclusivos, es decir el volumen máximo para un producto de un árbol según las especificaciones del producto. Los volúmenes reales de cada producto dependen de su valor y demanda y se calculan restando el volumen de los productos mayores. Las ecuaciones fueron diseñadas para alcanzar el mayor grado de precisión de estimación de volumen de productos a nivel de rodal no a nivel del árbol individual.

En una validación de las 14 ecuaciones desarrolladas se encontraron errores de estimación de hasta +/- 7.4% en 12 de las ecuaciones; este es un nivel aceptable para los inventarios comerciales. Dos de las ecuaciones: las de volumen para lápices en clase 2 y 3 dieron errores de estimación de 13.4 y 40.3% respectivamente. Se concluyó que la estimación precisa de volumen para lápices en árboles con defectos de forma del fuste, utilizando ecuaciones de regresión, es difícil. Se puede mejorar la precisión de la estimación de madera para lápices cuando son excluidos de los cálculos, árboles que visualmente no contienen madera apta para este producto.

Muir N.G. 1996. A system for the analysis of stem quality in order to estimate commercial yield of pulp and solid wood of Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) in preharvest inventories. Master of Science Thesis, Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Keywords: *Gmelina arborea*, plantations, seed sources, stem quality, cylindrical form factor, bucking, forest inventory, regression, volume equations.

## SUMMARY

Costa Rica is a country with a high potential in the production of wood in fast-growing forest plantations. Amongst the species planted *Gmelina arborea* is one of the most common and the species that has shown the best growth at national level. The need to maximise value and to attain a more complete utilisation of wood products from Melina plantations has stimulated the search for better preharvest inventory systems, with the ability to predict the yield of various products.

In this study a simplified stem classification system with four form classes was developed for Melina trees of up to 6 years of age. The system is called CGFM (Acronym for the Spanish: General Classification of the Form of Melina), and describes the following stem types: Class 1, trees without forking or abrupt stem curves in the first 80% of the stem, Class 2, trees with a high fork, between 33 and 80% total height, Class 3, trees with a low fork, between ground level and 33% of total height, and Class 4, trees with very twisted stems or a complete loss of apical dominance.

It was proven that there are no significant differences between seed sources in the frequency of nondefective trees within the seed source trial tested in this study. The frequency of nondefective trees varied from site to site but a direct relation with site quality was not found. Significant differences in productivity (commercial volume, m<sup>3</sup>/ha) between seed sources were found, the best performing seed source generated 237.8m<sup>3</sup>/ha and the poorest 210.5m<sup>3</sup>/ha at six years.

The conicity of the trees, measured with the cylindrical form factor, did not present significant differences between seed sources nor tree size within the trial. Significant differences were found between sites though a relationship with site productivity was not detected.

Previously inventories were carried out with the application of a single general volume equation to calculate commercial volume of wood in the plantations. It was found that the presence of stem form defects reduced the efficiency of the general equation giving over and under estimations of commercial volume in some trees. It was noted that stem defects have a negative effect upon the yield of solid wood products such as saw wood and wood for the production of pencils.

In the field more than 400 Melina trees, were felled, measured for volume and bucked into the four products considered in this study: commercial volume, pulp, saw wood and volume for pencils. The observed values for volume were used to generate 14 volume equations using lineal regression, one for each product in each form class and product (with the exception of class 4 where equations were developed only for commercial volume y for pulp). The independent variables used were DBH and total height.

In addition fourteen "Discount Value" equations were developed, these made an adjustment to the volume estimated by the companys general volume equation, in order to estimate product volumes in each form class of CGFM. These equations also adjusted well to observed volumes, though in most cases the fit of the respective volume equation was better than that of the discount value.

The equations generated calculate inclusive volumes, the maximum volume of product for a tree according to the product specifications. The bucked volume of each product depends on its value and demand and is calculated by subtracting the volume of the mayor products. The equations were designed to achieve precision at stand level, not at individual tree level.

En the validation of the 14 volume equations, estimation errors of up to +/- 7.4% were found in 12 of the equations, an acceptable level for commercial inventories. Two of the equations, those for pencil volume in classes 2 and 3, gave estimation errors of 13.4 and 40.3% respectively. It was concluded that the precise estimation of volume for pencils in trees with stem defects, applying regression equations, is difficult. The precision of the volume estimations for pencils can be improved if trees that obviously do not have volume appropriate for this product are excluded from the calculations.

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>	<b>Pagina</b>
1. Efectos de los defectos del fuste sobre rendimiento	11
2. Efecto de forma y dominancia del fuste sobre factor de forma	17
3. Valor de la madera de Melina según diámetro	22
4. Características de los sitios que fueron muestreados	34
7. Resultados de los ANDEVA para cada experimento, análisis de la hipótesis 1.	48
8. Modelos para la estimación de altura total en base de DAP	52
9. Selección de las ecuaciones de altura total	53
10. Productividad en volumen comercial m <sup>3</sup> /ha por sitio y fuente	54
11. Comparación de productividad estimada con la observada	58
12. Correlación entre frecuencia de árboles de forma de fuste normal y calidad de sitio en productividad por bloque y fuentes de semilla	61
13. Resultados del factor de forma por sitio y fuente de semilla	63
14. Correlación entre factor de forma cilíndrica y productividad por bloque y fuente de semilla	65
15. Validación de la ecuación general de volumen, Ston 1996	69
16. Ecuaciones de Volumen CGFM 2	77
17. Ecuaciones de volumen CGFM 3	78
18. Ecuaciones de volumen CGFM 4	79
19. Valores de descuento por clase de forma y producto	81
20. Validación de las 14 ecuaciones de volumen por clase de forma y producto	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Pagina
1. Explicación de la forma de un fuste de un árbol mostrando los diversos tipos dendrométricos (sólidos geométricos) que se pueden interpretar.	14
2. Mapa de la Zona Sur oeste de Costa Rica indicando la ubicación de los sitios muestreados en esta investigación.	28
3. Sistema de Clasificación General de la Forma de Melina (CGFM) para determinar la clase de forma de fuste de <i>Gmelina arborea</i> .	29
4. Fuste de un árbol mostrando la clasificación de cada uno de los diferentes productos estudiados.	31
5. Ejemplo de diseño de bloques completos al azar, sitio RB, La Cuesta	37
6a. Procedimiento de análisis: Etapa 1 e hipótesis 1 y 2 de etapa 2	45
6b. Procedimiento de análisis: Etapa 2 e hipótesis 1, 3 y 4	46
6a. Procedimiento de análisis: Etapa 2, hipótesis 5 y validación	47
7. Curva de regresión ajustada para volumen comercial CGFM 1	72
8. 6a. Curva de regresión ajustada para volumen de pulpa CGFM 1	73
9. Curva de regresión ajustada para volumen para aserrío CGFM 1	74
10. Curva de regresión ajustada para volumen de lápices CGFM 1	75

## I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la demanda de productos forestales ha mostrado una tendencia creciente. Sedjo y Lyon (1992) estiman que el consumo mundial de madera para usos industriales en el año 2000 superará los  $2 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  y que dentro de 75 años ésta demanda se duplicará a  $4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ . El crecimiento de los bosques naturales se estima en  $3 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ , mucho de lo cual no se puede o no se debe cosechar por su inaccesibilidad o por su inclusión en áreas protegidas. De mantenerse las presentes tendencias en el consumo de madera y la destrucción de los bosques naturales remanentes, muy pronto se dará un balance negativo, condición que ya se presenta en muchos países del mundo.

La situación actual en casi todos los países de América Central, muica que el recurso forestal natural en el corto o mediano plazo, no alcanzará a satisfacer la demanda de materia prima, ya que se está agotando a un ritmo muy acelerado. El consumo elevado del recurso forestal se considera uno de los mayores problemas que debe enfrentar la humanidad. A este problema se suma la baja productividad del bosque natural, el difícil acceso y la lenta regeneración natural en algunas áreas. Por lo tanto, las plantaciones forestales que usan árboles de rápido crecimiento, deberían jugar un papel cada vez mayor para satisfacer la demanda de madera para aserrío, pulpa, leña y carbón. El reconocimiento que los bosques naturales no tienen la capacidad de abastecer la demanda de productos forestales por sí solos ha impulsado la reforestación con especies exóticas de rápido crecimiento (Evans, 1982).

Hoy en día existen unos 69 millones de hectáreas de plantaciones forestales que producen no más que un 15% de la demanda actual mundial de madera (FAO, 1995). Actualmente, América Latina tiene solamente un 11% de esta área en plantación, pero podría convertirse en un fuerte productor forestal, debido a la disponibilidad de terrenos de vocación para esta actividad. Además el rápido agotamiento de los bosques naturales que sufre América Latina, en general y el aumento de la demanda para madera y sus productos, va a requerir su producción en plantaciones o de su importación en cada vez mayores cantidades.

A pesar de que sólo el 1% del área boscosa de América Latina está conformada por plantaciones industriales, éstas producen una tercera parte de la madera industrial de la región (Sedjo, 1987). Se ha demostrado que éstas plantaciones en promedio alcanzan un nivel de productividad 33 veces mayor que las del bosque natural, por unidad de área. Esta área de plantación está aumentando en respuesta a alzas en los precios y a la reducción en la oferta de madera de los bosques naturales.

Se predice que la proporción de madera industrial proveniente de plantaciones alcanzará un 50% de suministros totales en los Estados Unidos. A pesar de que hay suficientes bosques naturales en los Estados Unidos (más de 1.6 ha/habitante), la presión de los grupos ecologistas y las modificaciones en estructuras de costos, han impulsado cambios en el suministro de madera a favor de las plantaciones. Esta tendencia también es evidente en América Latina, donde las plantaciones forestales cada día juegan un rol más importante en la producción de productos forestales (Heiner, 1995). La producción de madera de los bosques naturales se complementa con el rendimiento de las plantaciones, debido a la capacidad de éstas últimas de producir grandes cantidades de madera de calidad uniforme en un área reducida.

Costa Rica es un país con la capacidad de producir madera tanto para uso doméstico como para la exportación. Entre las ventajas comparativas que tiene Costa Rica para plantaciones forestales, sobresalen los costos de mano de obra relativamente bajos, altas tasas de crecimiento de los árboles en sitios apropiados y los precios moderados de la tierra. Además, se sitúa en una posición relativamente cercana a algunos mercados importantes, como son los EE.UU. y Japón. Aún tomando en cuenta estas ventajas es importante maximizar el valor neto de los productos derivados de los árboles, para poder tener éxito en la producción y exportación de la madera industrial.

En reconocimiento de las cualidades que tiene Costa Rica en el campo forestal, en 1989 la compañía Ston Forestal sembró plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) para la producción de astillas, con el objetivo de producir pulpa para papel en el extranjero. La meta de la compañía es sembrar más de 20,000 hectáreas en Melina en la zona sur oeste del país, con una rotación de corta de 6 años. Hasta el momento (1996) se han sembrado más de 14.000 hectáreas, la mayor parte en tierras alquiladas con contratos de 6, 12 ó 18 años. Además, con el propósito de convertir la madera en astillas, se construirá una planta astilladora en la Purruja de Golfito, de donde saldrá el producto a los mercados internacionales.

Uno de los instrumentos para el manejo y planificación de las plantaciones es el inventario forestal. Actualmente, esta herramienta técnica es de suma importancia para la compañía Ston Forestal para poder planificar las actividades de cosecha y venta de producto. El método de inventario utilizado hasta el momento ha dado resultados aceptables en la estimación de volumen de madera para pulpa.

Sin embargo, además del producto principal (la madera para pulpa), se venderán cantidades apreciables de madera para otros propósitos, como son la madera para aserrío y la fabricación de lápices. La empresa tiene interés en analizar el efecto de los defectos de forma de fuste de los árboles, sobre el volumen comercial de los diferentes productos. Los productos de madera sólida son más exigentes en cuanto a la calidad de la troza y tienden a alcanzar precios muy superiores a los que se pagan por madera para pulpa.

La eficiencia o falta de ésta en la etapa de cosecha de la madera, influye fuertemente en el grado de éxito del proceso entero. Una flexibilidad en producción y un buen control de costos han sostenido la superioridad de los suecos en producción forestal; mientras que los japoneses, a pesar de tener sus propios bosques ricos en especies maderables, abastecen sus industrias con importaciones debido a altos costos domésticos e ineficiencia en el procesamiento (Laarman y Sedjo, 1992).

En la compañía Ston Forestal el raleo no fue practicado en los primeros años de establecimiento de las plantaciones, porque la rentabilidad de plantaciones raleadas frente a las no raleadas no había sido comprobada. El raleo de plantaciones, que empezó en el año 1995, ha dado como resultado la reducción de la frecuencia de árboles defectuosos y además permitirá que los árboles remanentes alcancen un desarrollo mayor en diámetro.

Como resultado de las practicas de siembra durante los primeros años de establecimiento existen aproximadamente 10.000 hectáreas que crecieron sin manejo alguno. Para planificar la cosecha de esta área es necesario desarrollar sistemas adecuados de inventario precosecha que contemplan árboles con defectos de forma para la estimación del rendimiento de los diferentes productos señalados.



## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de inventario precosecha para predecir rendimientos comerciales de pulpa y madera sólida de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en la zona sur oeste de Costa Rica.

### 2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, sobre la frecuencia de árboles de forma de fuste normal, en la zona sur oeste de Costa Rica.
2. Determinar el efecto de las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, sobre productividad en volumen, en la zona sur oeste de Costa Rica.
3. Desarrollar una relación entre la frecuencia de defectos de forma del fuste y la calidad de sitio para cuatro fuentes de semilla de *G. arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.
4. Desarrollar una relación entre el factor de forma de *G. arborea* y la calidad de sitio para cuatro fuentes de semilla en la zona sur oeste de Costa Rica.
5. Determinar el efecto de algunos defectos en la forma del fuste de *G. arborea*, sobre el rendimiento de los diferentes posibles productos, y desarrollar un sistema adecuado para su aplicación en inventarios comerciales.

### III. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

1. No hay una diferencia en la frecuencia de árboles de forma de fuste normal debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.
2. No hay una diferencia en productividad en volumen debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.
3. No hay una relación entre la frecuencia de árboles de forma del fuste normal y la calidad de sitio por fuente de semilla de *G. arborea* probada, en la zona sur oeste de Costa Rica.
4. No hay una relación entre factor de forma de *G. arborea* y calidad de sitio por fuente de semilla probada, en la zona sur oeste de Costa Rica.
5. No es posible estimar el rendimiento de productos de *G. arborea* con defectos de forma de fuste a través de inventarios precosecha, en la zona sur oeste de Costa Rica

## IV REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Descripción de *Gmelina arborea* (Roxb.)

La especie *Gmelina arborea* (Roxb.) fue descrita por Roxburg como una especie de muy amplia distribución natural en el sudeste asiático. Las hojas son simples, grandes, oval-acuminadas y con la base cordada. El haz es normalmente glabro o con muy poca vellosidad. El envés presenta pubescencia estrellada de color amarillo-oscuro. Las flores son numerosas en panículas terminales, ramificadas y densamente pubescentes. La floración se produce en la época seca o al inicio de las lluvias. Los frutos son (drupas) abundantes, ovaliformes, de color amarillo cuando maduran, de 2-2,5 cm de longitud, con un endocarpo endurecido, que contiene 1-4 semillas en sus cavidades. Normalmente sólo de una a tres semillas por fruto son viables. La madera es de grano recto, de color blanquecino, poco durable en contacto directo con el suelo (CATIE, 1986).

La distribución natural de la especie es amplia, va desde los 5° a los 30° de latitud norte. El límite occidental de dicha distribución está en el curso inferior himalayo del río Chenab en Paquistán a los 73° de longitud este. El límite oriental está en las provincias Yunnan y Kwansi al sur de la China a los 110° de longitud este (Greaves 1981).

*G. arborea* tiene el mejor desarrollo y longevidad en suelos profundos, húmedos, bien drenados y con un buen suministro de nutrimentos (Zeaser, 1995). Puede crecer desde suelos ácidos o calcáreos, hasta lateritas, pero el crecimiento se ve afectado en suelos superficiales, con capas endurecidas, impermeables, pedregosos, en suelos ácidos muy lixiviado o arenas secas. Es muy susceptible a la competencia de malezas (CATIE, 1986).

Ha sido introducido con éxito en diversos países tropicales. En América Central se le encuentra principalmente en las zonas de vida como bosque muy húmedo Tropical, bosque húmedo Tropical y bosque seco Tropical (Holdridge, 1979). *G. arborea* se puede establecer en plantaciones en áreas de temperatura media entre los 24 y 35°C, con precipitación entre los 1000 mm y 5000 mm por año y altitud de hasta los 500 msnm (Murillo y Valerio, 1991). Melina es una especie decidua facultativa; en la zona sur oeste de Costa Rica se muestra esta característica solamente en áreas con tres o más meses secos, como son las áreas de Buenos Aires, Dominical y Cortés.

En la zona sur oeste de Costa Rica se han observado elevadas ocurrencias de defectos de forma en sitios donde el crecimiento de *G. arborea* es inferior al promedio. Esos sitios suelen ser de baja fertilidad con pendientes pronunciadas, problemas de drenaje o los que presentan poca profundidad de suelo. Además, los sustratos inundados y/o con bajos niveles de pH impactan negativamente sobre la fertilidad del suelo, y de esta manera causan una reducción en el crecimiento de los árboles y un aumento correspondiente en los defectos de forma del fuste (Zeaser, 1995).

## 4.2 Bifurcaciones

Duff (1956) desarrolló un sistema de clases de forma para describir el tipo de bifurcación de un árbol. El sistema no justificó su implementación, en términos de tiempo extra y costos de cálculo. Ya que requirió tiempo adicional para medir o estimar la altura de bifurcación y así poder asignar la agrupación apropiada para el consecuente cálculo de volumen. El porcentaje de árboles bifurcados fue bajo

Para poder agilizar la operación del inventario de rodales se utilizó la Altura Media del Rodal (altura de un árbol de DAP medio en el rodal) en lugar de alturas actuales individuales. Esta medida introdujo un sesgo no mayor a un 4%, en comparación con el volumen en rodales de volumen conocido. El sesgo se origina de la suposición que las alturas de los árboles bifurcados siguen la misma distribución que la de los árboles normales, la cual, de acuerdo a varios estudios no es así.

En su estudio, Duff (1956), encontró una frecuencia más alta de árboles grandes de *Pinus nigra* con bifurcaciones, cuyo resultado fue una subestimación del volumen de árboles bifurcados. Este sesgo se podía eliminar en un inventario de una sola especie, con un factor de corrección incluyendo la distribución de árboles bifurcados en clases diamétricas, en cada clase del sitio. Duff comenta que su sistema de descuentos contra los valores normales de volumen para árboles bifurcados, también pudo ser modificado para estimar volúmenes de árboles que presentan otros tipos de malformaciones y defectos del fuste sin mayor pérdida de precisión.

La consideración de defectos en los árboles como bifurcaciones, torceduras, múltiples ejes o ejes torcidos en la estimación del volumen tiene mayor importancia en plantaciones sin manejo oportuno o cuando no se han realizado raleos. Su importancia es más notable en estimaciones de volumen a nivel del rodal. En plantaciones con manejo apropiado, especialmente raleos y podas, estos defectos tienen menos importancia, debido a que su frecuencia se ve reducida sustancialmente (Ugalde com. pers., 1996)

### 4.3 Curvatura

Brown y Miller (1975) discutieron el problema de cómo medir el valor de la curvatura de los árboles tumbados. Una curvatura reduce la cantidad de madera sólida aprovechable, en particular para la producción de tablas. Otros factores o características como diámetro, longitud, conicidad y el patrón de aserrío afectan el rendimiento e interactúan con la curvatura, pero a menudo es difícil separar el efecto individual de cada uno de estos factores. Considerando solo la curvatura provee escasa indicación de su efecto sobre el rendimiento de un fuste.

No hay un acuerdo general entre investigadores en cuanto a la mejor manera para medir curvatura. Algunos relacionan la curvatura con la longitud, a una longitud uniforme o en términos de una unidad estándar de longitud. Según la metodología de MacDonald y Sutton (1970, en Cown et al. 1984) es conveniente ignorar los efectos de ahusamiento para poder medir la curvatura. Según esta metodología se mide el grado de ésta desde el centro de la troza.

Miller (1975) enfrentó el problema de rectitud del fuste en su estudio "Estimación visual de rectitud de fuste en *Pinus radiata*". En dicho trabajo, se seleccionaron grupos de árboles, de las mismas dimensiones de altura y diámetros, pero con diferentes grados de curvaturas. Los árboles se tumbaron y se trocearon de la mejor manera posible para minimizar el efecto de la curvatura en el fuste sobre el rendimiento de productos. Valores medios para curvatura en los diferentes grupos variaron desde 0,65% a 2,33% en los extremos. Se calculó el porcentaje de curvatura dividiendo el movimiento del centro de cada troza por la longitud de la troza. Dos grupos de menor y mayor curvatura rindieron un 47,9% y 41,2% respectivamente de su volumen en tablas de madera, de grosor de una pulgada. Esta pequeña diferencia entre rendimientos se explica por la tendencia de trocear en longitudes menores los árboles curvados. Así un troceo cuidadoso puede eliminar los efectos de curvas ligeras o moderadas. En promedio los árboles curvados rindieron un 20% menos en su conversión de troza a tablas. Es importante comentar que los fustes de coníferas tienen menos curvatura por lo general, que especies latifoliadas como *G. arborea*.

#### 4.4 Relación de defectos de forma en la estimación de volumen

Una proporción considerable de árboles de muchas especies tienen defectos de forma, los cuales se deben a factores genéticos y ambientales. El efecto relativo de cada factor no ha sido cuantificado para la mayoría de estas especies. Los árboles en plantaciones forestales frecuentemente demuestran defectos en la forma incluyendo bifurcaciones, curvas abruptas y pudriciones. Uno de los defectos más comunes es la bifurcación.

Duff, (1956) describe un método para estimar el volumen total y el volumen de diferentes productos, de árboles bifurcados en pie. En este trabajo se incluyeron árboles de un amplio rango de diámetros y alturas, para desarrollar un sistema general para ocho especies (de estos siete del género *Pinus*), se seleccionaron árboles bifurcados que crecieron en diversas calidades de sitio, en distintas regiones de Nueva Zelanda. Estos se tumbaron con el propósito de determinar el volumen del fuste, tomando mediciones de diámetro cada 1,5 m, y alrededor de las bifurcaciones para poder calcular el volumen de madera excluido en el troceo. Se calculó el volumen total, el volumen para pulpa (hasta un diámetro mínimo de 10 cm) y el volumen para aserrío (hasta un diámetro mínimo de 15 cm), usando la fórmula de Smalian. Se definió altura total como la altura del eje más alto, no necesariamente el eje central de cada árbol.

El propósito de su método fue estimar con precisión el volumen de árboles bifurcados durante la realización de inventarios precosecha. Anteriormente, el volumen se había estimado mediante numerosas mediciones de cada troza de un árbol o, a través de comparaciones arbitrarias con el “volumen normal” (de un árbol de un solo fuste y sin defectos de forma) de las mismas dimensiones de altura y DAP. La metodología resultó insatisfactoria para los inventarios que requieren un alto grado de precisión.

Briggs (1992) investigó la pregunta “¿Cuáles características de un árbol determinan su calidad y valor de trozas y productos?” Él identificó las siguientes características como determinantes de calidad: diámetro, ahusamiento, curvas y torceduras. El diámetro de un árbol afecta su rendimiento en la producción de madera de aserrío, plywood y astillas. El ahusamiento tiene influencia en la eficiencia de la conversión de madera a producto, principalmente porque las trozas con un alto grado de ahusamiento contienen más grano diagonal, lo cual reduce su valor debido a su apariencia y reducción en fuerza cuando es utilizada como madera sólida.

Las curvas y torceduras no solamente reducen la eficiencia en la conversión de madera a producto, sino que reducen el tamaño útil de la troza, esto es muy importante porque muchas industrias pagan menores precios por las trozas cortas, que por las largas. También estos defectos indican la presencia de madera de reacción, la cual reduce fuerza y causa problemas de encogimiento y rajaduras. Ha sido demostrado que la madera de reacción en Melina produce áreas ásperas, de fibra levantada cuando se aserra para producir tablilla (Zeaser, 1995, Com. pers.).

En el Cuadro 1. se presenta las tendencias citadas en la literatura con respecto a los volúmenes de árboles con defectos de forma.

**Cuadro 1. Efecto de los defectos del fuste sobre rendimiento**

<b>Forma del Árbol</b>	<b>Volumen Total</b>	<b>Volumen Comercial</b>	<b>Volumen para Aserrío</b>	<b>Volumen para Pulpa**</b>
<b>Normal *</b>	1	1	1	1
<b>Bifurcación: Baja</b>	>>1	>>1	<<1	>>1
<b>Bifurcación: Alta</b>	>1	>1	<<1	>1
<b>Curvatura</b>	>1	>1	<<1	>>1
<b>Pérdida de Dom.</b>	<1	<1	<1	<1
<b>Pudrición</b>	<1	<1	<1	>1

\* Todos los árboles del mismo diámetro a la altura de pecho y altura total.

\*\* Volumen de pulpa calculado después de restar volumen para aserrío.

Con respecto al valor total de los productos de los ejemplos en el Cuadro 1, éste sigue las mismas tendencias que el volumen para aserrío, lo cual se debe a que el valor de madera para aserrío suele ser mucho mayor que el valor de madera para pulpa. En el caso que la diferencia entre valores de los productos sea ligera es probable que el valor total varía del indicado.

Para calcular el volumen de árboles bifurcados Deadman y Goulding, (1979) midieron el diámetro a los 1,4 metros sobre el nivel de ramificación o bifurcación y calcularon el volumen como si fuera un árbol individual. Si no se apuntó otro valor, se asumió una altura de rama hasta el mismo nivel del eje principal. Se sumaron volúmenes de ramas al volumen del eje principal para calcular el volumen total. En este estudio se asumió que el ahusamiento de un eje es igual que el ahusamiento de un árbol entero de las mismas dimensiones. En el caso que el ahusamiento fuera distinto para un eje en comparación con un árbol, éste introduciría un sesgo al cálculo de volumen.

Muchos de los estudios examinados, con el propósito de estimar volúmenes de múltiples productos tienen en común que sus autores han evitado el problema de aplicar sus modelos a árboles de forma irregular (Bruce et al., 1968). Farrar (1987) evitó el uso de árboles con bifurcaciones, curvatura o defectos porque estos árboles aumentarían la complejidad del modelo y habrían dificultado la obtención de ajustes lógicos. Monserud (1981) en su estudio de volumen de árboles truncados (bifurcación o pérdida de la parte superior del fuste) considera que el volumen de madera arriba del defecto no tiene valor comercial. Obviamente, este no es el caso cuando hay un mercado para pulpa u otro producto que no exige madera libre de defectos.

El método más común para establecer el valor del producto de madera en pie es muestrear rodales representativos y efectuar estudios de eficiencia de conversión de la troza o árbol completo a los productos de interés. Modelos de regresión relacionan la eficiencia de conversión, a alguna combinación de características geométricas y cualitativas. Este tipo de estudio vincula rendimiento a geometría y aspectos de calidad de los árboles en cuestión (Briggs, 1992)

Max y Burkhart, (1976) explican la forma del fuste de un árbol como cuatro formas geométricas; el primer 30% inferior del fuste expresa una forma de neilode truncado; el segundo 30%, un cilindro; el siguiente 30%, un paraboloides truncado y la porción superior tiene la forma de un cono. Esta clasificación sugiere que necesitaría cuatro modelos para poder representar con certeza el factor de la forma de un árbol, uno para cada sección del fuste (Figura 1). Los cuatro modelos pueden juntarse para formar uno solo que se puede analizar con técnicas de regresión. El objetivo del estudio de Max y Burkhart, (1976) fue ilustrar, utilizando este tipo de modelo, llamado modelo de regresión polinomio segmentado, el factor de forma de los árboles.

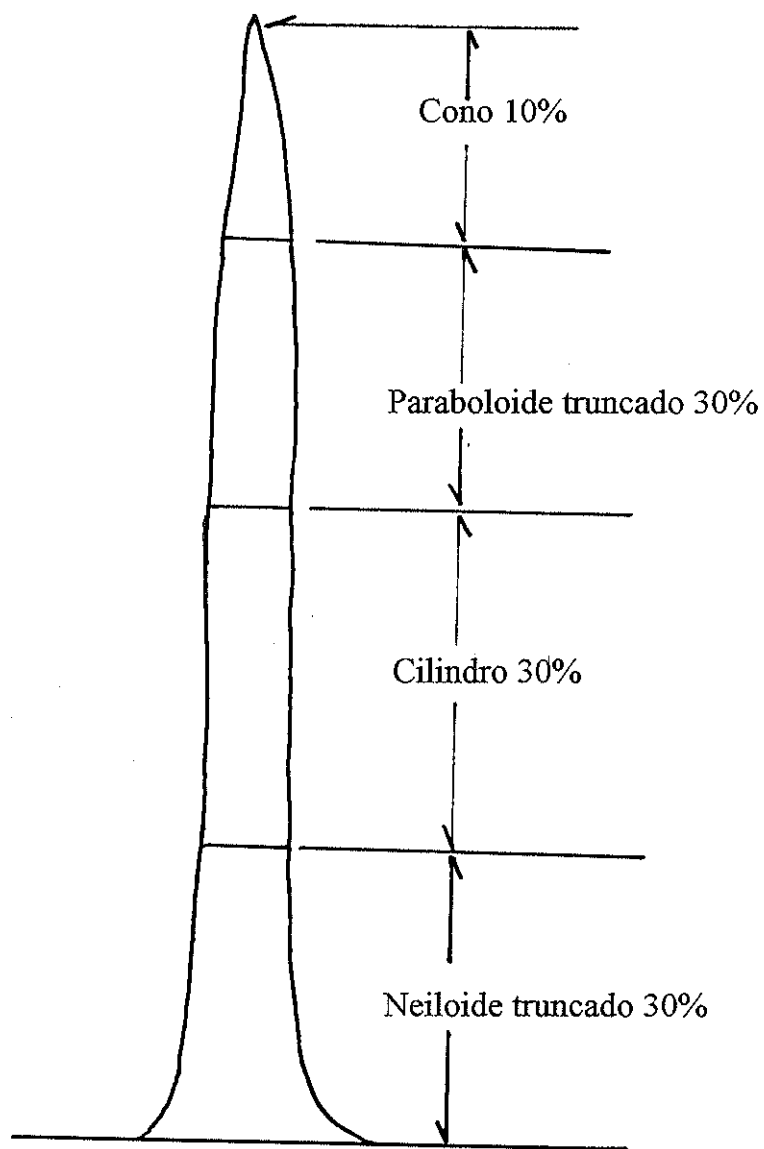


La relación entre la longitud de copa y la altura total está influenciada por la densidad del rodal y esto afecta la forma del fuste. Varios investigadores han sugerido, el uso de medidas de copa con el fin de ajustar modelos para estimar el volumen en pie. Rustagi y Loveless (1990) explican varias razones por las cuales esta medida es difícil de hallar en la práctica. En primer lugar, la longitud de copa se sujeta a la poda natural o artificial y por lo tanto, puede haber poca relación con la forma del fuste en el momento de la medición. El estrés físico como el viento o la lluvia afectan la forma del fuste. La forma de la copa se determina según varios factores tales como: disponibilidad de agua y nutrientes, presencia de plagas y enfermedades del follaje y por la competencia inter o intra específica de los árboles de los alrededores. Además, la ubicación de la base de la copa viva puede ser una medición muy subjetiva, por lo que va a ser difícil su identificación con precisión por los distintos técnicos de campo.

#### 4.5 Conicidad de los fustes

Cloughton-Wallin (1918) mencionó que el cociente de forma, analizado primero por Schiffel, es una excelente expresión para la forma del fuste. Según Johnson y Hartman, (1972), el diámetro a la mitad del fuste desde la altura de pecho, es un porcentaje del DAP y este mismo se llama el “cociente de forma”.

Cloughton-Wallin (1918) concluyó que la conicidad de los fustes sigue una ley: es independiente de la edad, diámetro a la altura de pecho, altura y sitio. Pero en el estudio de Amateis y Burkhart, (1987) se encontró que la conicidad de los árboles estudiados sí variaba respecto a condiciones del sitio (diferentes calidades de sitio) y tratamientos silviculturales (rodales de regeneración natural hasta plantaciones intensivamente manejadas). Estos autores opinan que ecuaciones de ahusamiento desarrolladas para un tipo de rodal, darán resultados sesgados en la estimación de volúmenes de rodales de distintas condiciones de sitio o donde se ha practicado una silvicultura intensiva debido a que estas condiciones modifican la forma del árbol. Indican que la calidad del sitio y niveles de competencia pueden tener un efecto significativo sobre la forma del árbol, conicidad, altura y por lo tanto volumen. Este mismo resultado apoya la conclusión de Awang y Amran (1984), donde la calidad del sitio afectó la frecuencia de los defectos de forma y el crecimiento en altura y DAP de árboles individuales de *G. arborea*. Además, se encontró que los árboles bifurcados presentaron menores alturas y mayores DAP; por lo tanto, eran más cónicos, que los árboles con un solo fuste.



**FIGURA 1.** Explicación de la forma de un fuste de un árbol mostrando los diversos tipos dendrométricos (sólidos geométricos) que se pueden interpretar (Basurco F., 1973, Max y Burkhart, 1976).

### **Coefficiente Natural de la Forma del Fuste**

El coeficiente natural de la forma del fuste se calcula dividiendo el fuste en cinco secciones de igual longitud y se mide el diámetro a la mitad de cada sección. Estos datos se incluyen en la siguiente ecuación.

$$FFcn = \frac{1}{5} \times \frac{d^2 0.1h + d^2 0.3h + d^2 0.5h + d^2 0.7h + d^2 0.9h}{d^2 0.1h}$$

El propósito de esta tesis fue calcular el volumen real de cada árbol con un máximo de precisión. Al tomar solamente cinco mediciones de diámetro por árbol se disminuye el grado de confianza de cada medición de volumen, especialmente en árboles de mayor tamaño donde la distancia entre mediciones es superior.

La medida más comúnmente utilizada para definir conicidad es el factor de forma cilíndrica, que se define como la relación entre volumen de fuste y el volumen de un cilindro de la misma altura y diámetro igual al DAP. La densidad del rodal afecta la conicidad de los árboles. En rodales densos árboles dominantes y codominantes pueden alcanzar la misma altura que los de rodales menos densos, pero de menor DAP y por ende tienen distintas curvas de ahusamiento. Se puede mejorar la evaluación del efecto volumétrico al comparar árboles del mismo diámetro y altura total, (por ejemplo, un árbol codominante en un rodal menos denso, con un árbol dominante en un rodal más denso). Sin embargo, se dice que en la práctica es infrecuente que las diferencias en la forma del árbol, tienen un impacto económicamente significativo debido a la densidad del rodal (Clutter et al., 1983).

El factor de forma cilíndrico (FFC) también conocido como el coeficiente mórfico es el valor que se usó en este estudio para definir la conicidad de cada árbol.

### **Factor de forma cilíndrica (FFC)**

$$FFC = \frac{Vol.o}{g.DAP \times h}$$

En donde:

**Vol.o** = Volumen Observado (medido)

**g.DAP** = Área Basal a 1,3 m (DAP)

**h** = Altura Total

Los fustes de un árbol bifurcado suelen ser menos cónicos que el fuste de un árbol de eje solitario de las mismas dimensiones. Esto depende como en cualquier árbol, de la dominancia de la copa del árbol y la densidad del rodal. Hay menos conicidad (medido como el factor de forma cilíndrica) en árboles suprimidos, con copas pequeñas (Larson, 1963). Larson encontró que el aumento en diámetro, fue superior en las partes inferiores de fustes de árboles que estuvieron creciendo libre de competencia. Árboles suprimidos crecen menos en las partes inferiores del fuste, lo que conduce a la producción de fustes más cilíndricos. La conicidad tiende a aumentar con los incrementos en el DAP y se reduce conforme aumenta la altura del árbol en relación al DAP.

Se presentan las tendencias de factor de forma de los árboles con distintas formas de fuste en el Cuadro 3, donde se puede observar los efectos de diferentes estados de dominancia y forma sobre el factor de forma cilíndrica (FFC).

**Cuadro 2. Efecto de forma y dominancia de fuste sobre factor de forma**

<b>Forma del Árbol</b>	<b>Diámetro Alt. de Pecho</b>	<b>Altura Total</b>	<b>Factor de forma</b>
<b>Normal *</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Dominante</b>	<b>&gt;1</b>	<b>&gt;1</b>	<b>&lt;1</b>
<b>Suprimido</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&gt;1</b>
<b>Bifurcado</b>	<b>&gt;1</b>	<b>1</b>	<b>&lt;1</b>

\* Árbol codominante en plantación densa, lo cual ha sido usado como base para comparaciones.

El factor de forma se ve afectado por el manejo de las plantaciones. En las plantaciones establecidas a partir del año 1995 por la empresa Ston se practica un raleo oportuno de aproximadamente 50% durante los primeros dos años. La reducción en un número de árboles/ha modificará los valores de ahusamiento e incidencia de los defectos de forma de los árboles (Galloway et al., 1995). Todos los rodales muestreados en este estudio crecieron sin manejo con una densidad actual de aproximadamente 910 árboles por hectárea.

#### 4.6 Efecto del origen del material genético

En Malasia la compañía Sabah Softwoods encontró diferencias significativas en la rectitud de fuste y frecuencia de bifurcación en *G. arborea* de distintos lotes de semilla. Los primeros lotes de semilla fueron importados de Gambia y después debido a restricciones fitosanitarias, de las Filipinas. Por lo tanto, los lotes provenían de distintos orígenes genéticos. La procedencia de las Filipinas mostró mejor rectitud de fuste y menor frecuencia de bifurcación. Se logró mejorar la forma del fuste, con el uso de clones seleccionados por sus características deseables (Wong C.Y. y Jones N., 1986).

Pechmann (1969) reportó una relación entre procedencia y sitio, en curvatura de fustes de *Pinus sylvestris* y en la incidencia de bifurcación de *Fagus sylvatica*. En ambos casos, las diferencias se debieron a factores genéticos. Genys (1981) encontró que el porcentaje de árboles de *Betula alleghaniensis* con dos o más bifurcaciones fue inversamente correlacionado con la altura de diez procedencias que se plantaron en la llanura costera de Maryland, EEUU.

Otegbeye y Samarawira (1992) encontraron una correlación genotípica positiva entre altura de la primera bifurcación DAP y Altura Total (asimismo volumen) de *Eucalyptus camadulensis* en Nigeria. De igual manera se ha encontrado una correlación positiva entre la tasa de crecimiento (en volumen comercial de madera por hectárea) y la forma del fuste, situación que se ha presentado en las plantaciones de *G. arborea* en Costa Rica (Zeaser, 1995 Com. pers.). Por su capacidad de respuesta, los árboles de rápido crecimiento son menos propensos a deformaciones inducidas por el ambiente, así reducen el efecto ambiental sobre el desarrollo del fenotipo.

El ahusamiento expresa un alto grado de correlación positiva con la altura del árbol y correlación altamente negativa con el DAP. Un proceso de mejoramiento genético que cambia el valor de una de estas características con respecto al otro también modifica el valor de ahusamiento (Otegbeye y Samarawira, 1992). Por ejemplo, un incremento en el DAP de un árbol sin un incremento correspondiente en la altura total, aumentaría el ahusamiento del fuste.

Verwijst (1988) encontró que factores ambientales eran determinantes en la producción de múltiples ejes en *Betula pubescens* ssp. *tortuosa*. El análisis de regresión y correlación identificaron el pH como el factor que mejor predijo la formación de múltiples ejes. Los rodales carentes de árboles bifurcados ocurrieron en sitios con pH mayor que 5,7 y la frecuencia de bifurcación aumentó conforme se redujo el pH del suelo. Además, se observaron árboles de múltiples ejes en suelos inundados aún de alto pH.

El estudio de Tho (1979) sobre la forma del fuste de *Pinus oocarpa*, *P. caribaea* y *P. merkusii* en Malasia encontró diferencias significativas entre especies en el porcentaje de árboles exhibiendo cola de zorro y bifurcación del fuste. No se encontró ninguna relación significativa entre los defectos de forma y profundidad del suelo.

Valerio (1986) en su estudio de nueve procedencias de *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica, concluyó que la altura de bifurcación o ramificación dependía de factores ambientales más que genéticos.

Cornelius (1994) comparó el crecimiento y rectitud del fuste de fuentes de semilla de Melina en Costa Rica, todos procedentes de Manila, Siquirres. Se calificó rectitud con una escala de 1 a 4, (siendo 4 el mejor) y crecimiento en IMADAP. El progenie de árboles plus superó al progenie de árboles tomados al azar dentro de los mismos rodales semilleros, en cuanto a rectitud de fuste y crecimiento diamétrico. Él concluyó que existe variación genotípica aditiva de magnitud importante en la población base del país, y que la táctica de seleccionar árboles plus sería más efectiva para el mejoramiento de la especie que el uso de fuentes locales de semilla.

#### **4.7 Calificación de la forma del fuste**

Existe un sistema denominado “DANIDA”, modificado por Zeaser para su aplicación a *G. arborea*, (Apéndice 1) para calificar la forma de un árbol que se muestrea (Zeaser, 1993). El sistema DANIDA de calificación de forma, se desarrolló para cuantificar la calidad de la forma de árboles para programas de mejoramiento genético. Este sistema se utiliza como una herramienta de calificación de forma, para las necesidades de un inventario forestal, esta metodología puede castigar por igual distintos defectos de forma, que en realidad tendrían distintos efectos sobre los volúmenes comerciales.

El sistema DANIDA consiste en siete categorías de componentes de la forma del fuste. Generalmente hay diagramas para guiar la selección apropiada del puntaje en cada categoría. Árboles con pocos defectos de fuste obtienen puntajes altos hasta un máximo de 35. Árboles con mayores defectos de forma reciben puntajes bajos. Las categorías con valores no numéricos (siendo observaciones) no se suman al total de puntaje. A pesar que el sistema DANIDA consume mucho tiempo y esfuerzo, tiene la ventaja de brindar una descripción bien detallada de la forma de un árbol, sin embargo, para las necesidades de un inventario forestal comercial, el sistema DANIDA no resultó práctico por el tiempo que se requiere para implementarlo.

Pearce (1983) observa que sistemas de clasificación de más de 5 graduaciones no son factibles ni viables para uso en el campo en inventarios precosecha. Un número mayor de graduaciones conducirá a sesgos, debido a la sobre utilización de algunos sectores de la escala. Una escala de 5 grados o menor es más objetiva y puede ser utilizada con más facilidad. Un sistema eficiente para calificar la calidad del fuste de Melina proveniente de plantaciones forestales es de suma importancia para el abastecimiento de industrias, que utilizan los distintos productos de las plantaciones. Por esta razón se investigó la posibilidad de crear un sistema simplificado de clasificación de forma.

#### **4.8 Crecimiento y rendimiento**

El proyecto de reforestación Jari en Brasil, en los años 70, sembró grandes extensiones de *G. arborea* se obtuvieron buenos resultados en suelos aluviales con IMA en volumen de hasta 25m<sup>3</sup>/ha/año, los árboles llegaron a una altura máxima de 31 metros en los mejores sitios a los diez años (Rollet 1980, en Lamprecht, 1990).

Las plantaciones de Ston Forestal S.A. están alcanzando crecimientos medios muy superiores a los rangos señalados anteriormente, con un crecimiento en los mejores sitios de 6 m de altura por año y 10 cm de diámetro en plantaciones menores de 5 años de edad. Además la frecuencia de defectos de forma de fuste en las plantaciones es menor que lo encontrado en el estudio de Torres et. al. (1995). Esto se debe a una apropiada selección de sitios y los cuidados que se tengan en el establecimiento, como son la preparación del sitio y el control de malezas. El uso de fuentes mejoradas de *G. arborea* también ha mejorado rendimiento y calidad de las plantaciones.

El éxito de las plantaciones de Ston Forestal S.A., empieza con una adecuada selección de sitios, evitando las pendientes pronunciadas, poca profundidad de suelo y/o problemas de malezas o gramíneas alelopáticas (ej. *Bracearia ssp.*). El establecimiento de la plantación se efectúa en las condiciones más óptimas posibles, mediante la preparación del sitio con la elaboración de camellones y apertura de drenajes para reducir la humedad en áreas que son fácilmente inundables. Además, se aplica el control adecuado de malezas durante el establecimiento de la plantación, utilizando rodaja química y chapea manual, hasta que el desarrollo del rodal empieza a suprimir competencia de malezas. La difusión de los resultados de estas prácticas, podrían servir como ejemplo para mejorar la silvicultura de plantaciones de Melina en las zonas apropiadas para su crecimiento (Zeaser, 1995).

Un sistema eficiente para calificar la calidad del fuste de Melina proveniente de plantaciones forestales, es de suma importancia para el abastecimiento de industrias que utilizan los distintos productos de las plantaciones. *G. arborea* ocupa el primer lugar de las especies forestales sembradas en plantaciones de pequeña y mediana escala en Costa Rica, respecto a crecimiento en DAP de (entre 0,93 y 5,67 cm/año) y altura (crecimiento de 0,68 y 4,47 m/año) (Vázquez y Ugalde, 1995). Sin embargo, la calidad del fuste tiende a ser pobre, pues solo alrededor de un 3% de las trozas son de excelente calidad, un 40% de buena, un 35% es regular y el 22% de mala calidad. En la calificación de árboles se tomó en cuenta factores como bifurcación e inclinación (Torres et al., 1995). Lo anterior indica que más del 50% de las trozas de las plantaciones son de regular a mala calidad, las cuales tienen reducidas opciones para la comercialización.

El siguiente cuadro presenta el valor de la madera de Melina según especificaciones. Los valores fueron tomados de entrevistas efectuadas a productores y en aserraderos en Guanacaste, así como también la zona norte de Costa Rica en agosto de 1996. Los valores en  $\$/m^3$  fueron calculados de los precios citados en Colones/PMT (Pulgada de madera tica), al cambio del día.



**Cuadro 3. Valor de la madera de Melina según diámetro**

Producto	Diámetro mínimo	Con/Sin corteza	Locación de la madera	Valor US\$/m <sup>3</sup>
Pulpa	8 cm	con	Patio del bosque	~\$6
Tarimas	12 cm	con	Patio del bosque	\$11
Aserrió	15 cm	sin	Patio del aserradero	\$26-32
Aserrió	24 cm	sin	Patio del aserradero	\$42
Aserrió	50 cm	sin	Patio del aserradero	\$62
Lápices	18 cm	con	Patio del Bosque	\$35-45

#### 4.9 Prácticas de troceo

Se puede aumentar significativamente la rentabilidad de industrias forestales con un procesamiento más eficiente de árboles poscosecha. El estudio de Pnevmticos y Mann (1972) indica que un aumento en el valor del producto de un 20% es a menudo alcanzable. En forma similar Geerts y Twaddle (1985) indican una pérdida de valor de un 26% bajo condiciones típicas, comparado con una utilización óptima. La clave de eficiencia es la asignación de porciones del árbol a diferentes productos (madera de aserrió, contrachapas, pulpa, etc.) de acuerdo con las especificaciones para cada uso. Aunque la meta es trocear cada árbol para alcanzar su valor máximo, esto se dificulta por la complejidad de la tarea. Aún con conocimiento conciso de las reglas de troceo y las especificaciones de los productos, es extremadamente difícil trocear un árbol en forma óptima con el poco tiempo disponible para realizar la tarea. Pocos troceadores podrían tomar en cuenta todas las posibilidades de troceo. El valor por unidad de madera aumenta la importancia del troceo óptimo de los fustes.

En Nueva Zelanda el troceo de *Pinus radiata* (para realizar el máximo valor o para obtener la mezcla de productos deseados) es apoyado por el uso de pequeñas computadoras de campo, que sugieren el troceo óptimo según las dimensiones del fuste. La tecnología es fácil de utilizar y empleada por miembros del equipo de aprovechamiento. Se reconoce con un pago extra cuando el equipo de campo logra trocear los árboles según las especificaciones de los compradores.

#### 4.10 Cubicación

El volumen real de una troza, expresado por el contenido de su madera (excluyendo la corteza) depende del diámetro, longitud y forma de la troza. La manera más precisa para determinar el volumen de un árbol es dividirlo en secciones de la menor longitud práctica. Se estima el volumen de cada sección utilizando una fórmula geométrica. Las fórmulas usadas para este fin difieren en la posiciones en que se toman las mediciones de diámetro. Ninguna de las fórmulas puede dar resultados completamente exactos, ya que ninguna troza es completamente idéntica a los sólidos geométricos descritos por las ecuaciones. Se observa en el Manual de Inventario Forestal de la FAO (1974) que los errores de estimación de todas las fórmulas se reducen cuando más alto es el número de secciones en que se divide el fuste.

##### **Cálculo de volumen: Fórmula de Huber:**

$$v = g_{0.5} \times \lambda$$

##### **Cálculo de volumen: Fórmula de Newton:**

$$v = \frac{g_0 + 4g_{0.5} + g_1}{6} \times \lambda$$

##### **Cálculo de volumen: Fórmula de Smalian:**

$$v = \frac{g_0 + g_1}{2} \times \lambda$$

Donde:

$v$  = volumen de la troza

$g_0$  = área basal en el extremo mayor de la troza

$g_{0.5}$  = área basal en la mitad del largo de la troza

$g_1$  = área basal en el extremo menor de la troza

$\lambda$  = largo de la troza

Con cualquiera de las fórmulas el volumen total o comercial es igual a la suma de los volúmenes de las secciones correspondientes.

La fórmula de Huber da una subestimación del volumen cuando una troza se asemeja a un cono o neiloide. Por otro lado, no es práctico medir el diámetro en la mitad de cada sección, especialmente cuando las secciones corresponden a longitudes menores de un metro. Se recomienda el uso de la fórmula de Newton cuando las trozas son largas y cuando el número de trozas por árbol es pequeño. En este estudio se tomaron mediciones a intervalos muy estrechos por lo que no se utilizó la fórmula de Newton. Finalmente, la fórmula de Smalian es sencilla de aplicar, sin embargo, cuando la forma de una troza es un cono o un neiloide, sobrestima el volumen. En este estudio se midieron secciones de apenas un metro de largo para asegurar la precisión de la estimación del volumen utilizando esta fórmula.

## V METODOLOGÍA

### 5.1 Localización

El estudio se realizó en la zona sur oeste de Costa Rica (Figura 2), en los cantones de Cortés, Osa y Corredores de la Provincia de Puntarenas. Existen en estos cantones aproximadamente 14.000 hectáreas de *Gmelina arborea*, plantadas por la compañía reforestadora Ston Forestal S.A., con una edad máxima de siete años. Los terrenos reforestados son en su mayor parte tierras planas o con pendientes ligeras. Dependiendo de la ubicación dentro de la zona, la precipitación varía entre 2500-5000 mm por año, con una estación seca corta (Zeaser y Murillo, 1992). Se han identificado distintas calidades de sitio debido principalmente a factores edáficos y de precipitación.

El mapa (Figura 2) presenta la distribución de los sitios investigados en este estudio.

### 5.2 Calificación de Forma

A partir de las indicaciones de la calidad de fuste dadas por el sistema DANIDA se desarrolló un sistema simplificado de Clases de Forma, basado en características fácilmente identificables en el campo, como son: presencia de bifurcación, altura de bifurcación y pérdida de dominancia.

#### Sistema de clasificación CGFM

Este sistema ha sido denominado Clasificación General de la Forma de Melina (CGFM), (Figura 3, Muir, inédito, 1996) Muestra las cuatro clases de formas que se utilizaron en el sistema simplificado. La selección de estas formas se basó en observaciones del efecto de los defectos de forma sobre volumen comercial.

Consiste de cuatro clases de forma del fuste; clase 1, la forma "normal" sin bifurcaciones en los primeros 80% de la altura total; clase 2, una bifurcación alta entre 33% y 80% de altura total; clase 3, una bifurcación baja entre nivel del suelo y 33% de la altura total y clase 4, árboles muy retorcidos o con una fuerte pérdida de dominancia. Es importante notar que la posición de la bifurcación o defecto cobra más importancia que la presencia de curvas o inclinación del fuste. La figura constituye una guía práctica para la clasificación de árboles en el campo.

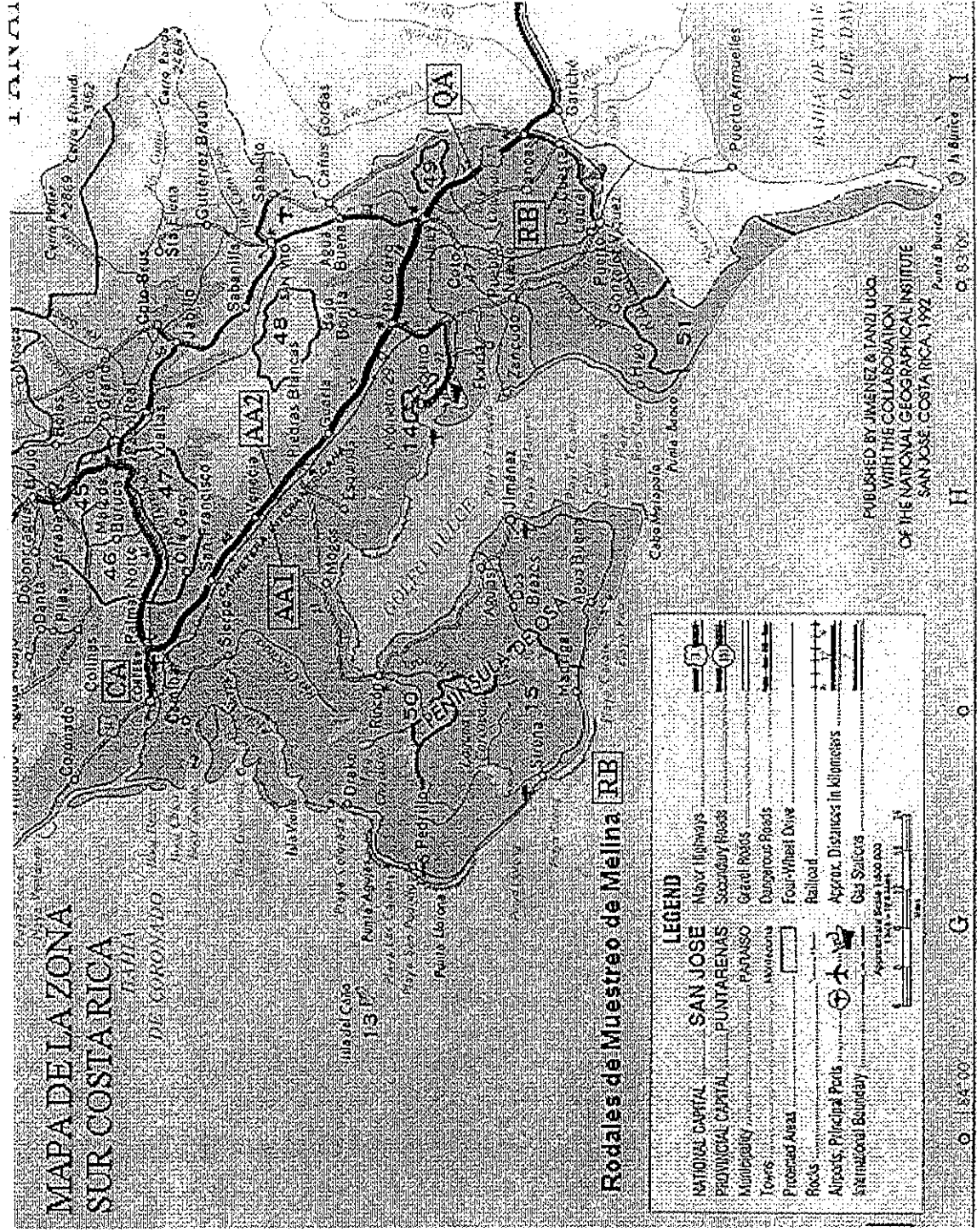
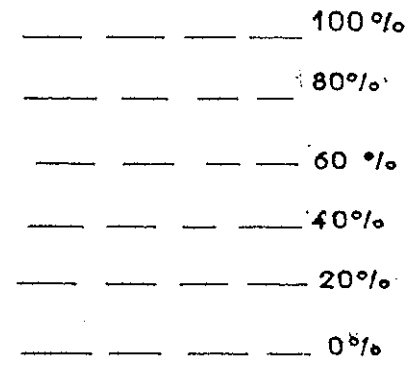
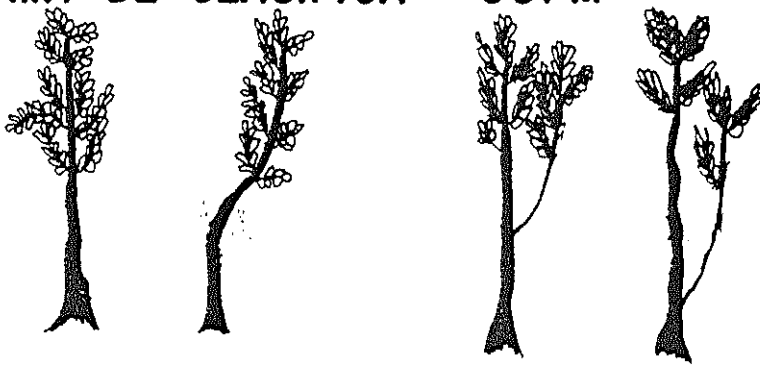


Figura 2. Mapa de la zona sur oeste de Costa Rica indicando la ubicación de los sitios muestreados en esta investigación.

# SISTEMA DE CLASIFICA CGFM

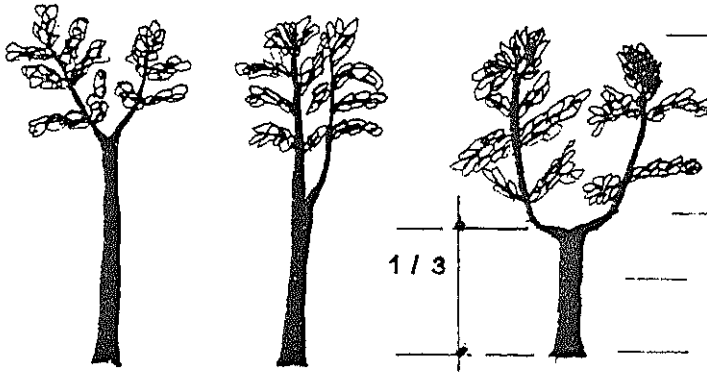
FIGURA: 3

①



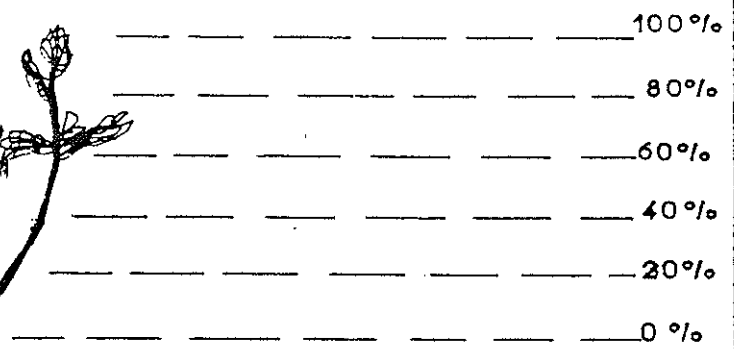
**FORMA 1: NORMAL**

②



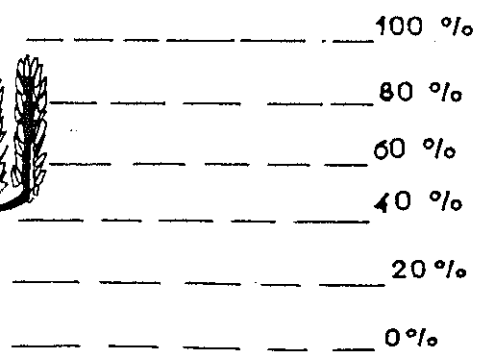
**FORMA 2: BIFURCACION ENTRE 1/3 DE LA ALTURA TOTAL Y EL 80%**

③



**FORMA 3: BIFURCACION ENTRE NIVEL DE SUELO Y 1/3 DE LA ALTURA TOTAL**

④



**FORMA 4: MUY TORCIDO O CON VARIAS BIFURCACIONES (PERDIDA DE DOMINANCIA).**

### 5.3 Especificaciones de los productos

Cada fuste se calificó por separado en cuatro clases de productos; Volumen Comercial, Pulpa, Aserrío y Lápices, según las siguientes especificaciones:

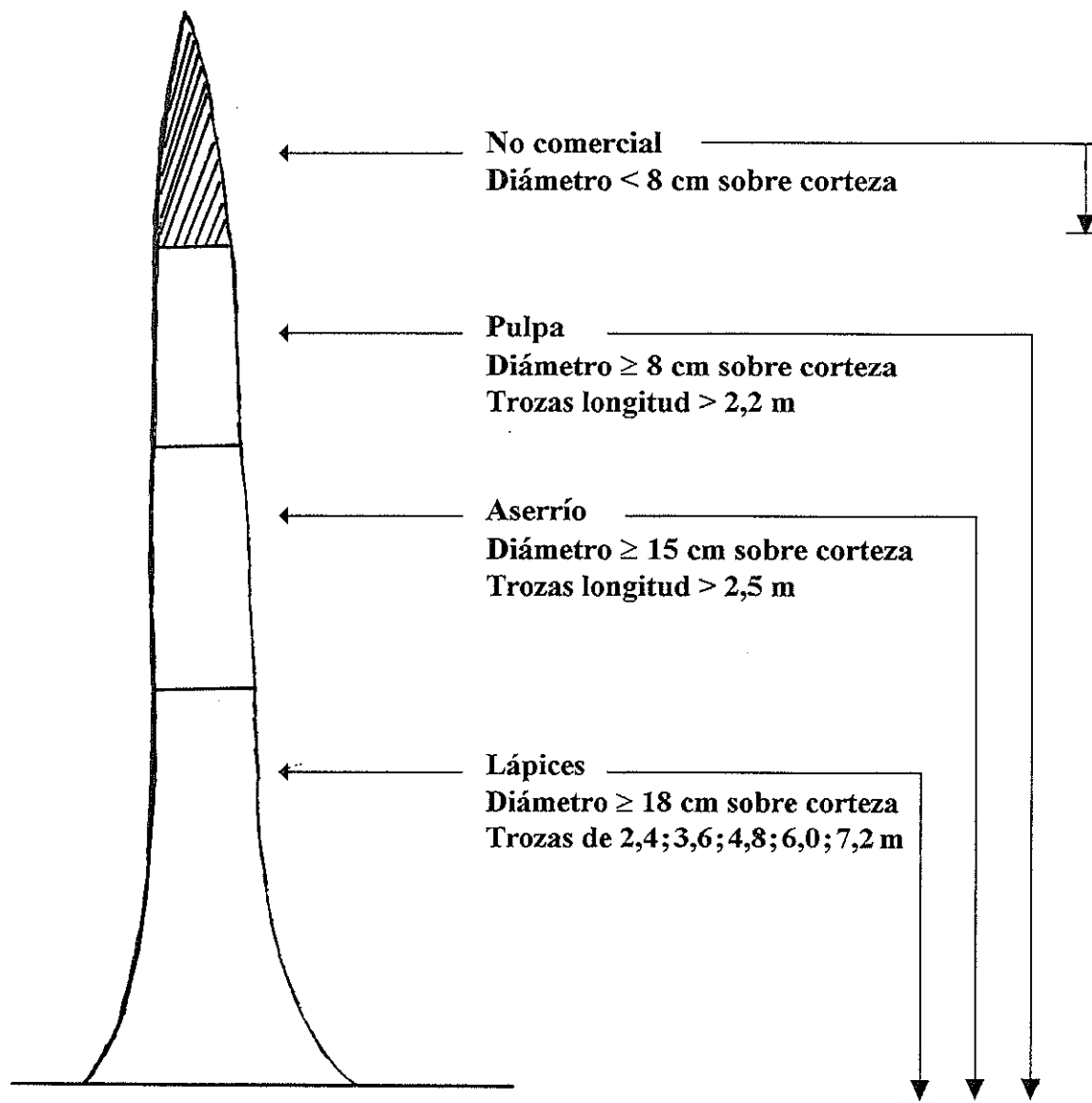
**Volumen Comercial:** diámetro mínimo de 8 cm sobre corteza, sin restricciones en longitud ni calidad de troza.

**Madera para pulpa:** diámetro mínimo de 8 cm sobre corteza, en trozas no menor de 2,2 m, madera curvada es aceptable, pero madera con torceduras muy abruptas y con pudrición no clasifica.

**Madera para aserrío:** diámetro no menor de 15 cm sobre corteza, ausencia de defectos y en trozas no menores de 2,5 m de largo. A partir de 2,5 m cualquier longitud es aceptable.

**Madera para la fabricación de lápices:** diámetro mínimo sobre corteza de 18 cm y un diámetro máximo de 35 cm, libre de defectos y en trozas múltiples, de 1,2 m a partir de 2,4 m, es decir; 2,4 ; 3,6 ; 4,8 ; 6,0 ; 7,2 m etc.

Los árboles seleccionadas fueron tumbados con motosierra para facilitar su medición completa. Se midió el diámetro sobre y debajo de la corteza del fuste hasta un diámetro mínimo de 8 cm sobre la corteza. La clasificación del fuste en productos se hizo en el campo respetando las restricciones de diámetro, longitud y en particular la presencia de defectos no aceptables para la elaboración del producto en cuestión. No se trocearon estos árboles porque su extracción del bosque no fue posible, bajo las condiciones del estudio.



**Figura 4.** Fuste de un árbol mostrando la clasificación de cada uno de los diferentes productos estudiados



## 5.4 Hojas de Campo

Los datos colectados (que se detallarán en seguida) se apuntaron en hojas de campo diseñadas para este propósito. Los datos de diámetro a altura de pecho (DAP) y la clasificación de forma de fuste con el sistema CGFM, se anotaron en casillas orientadas para indicar la posición de cada árbol en la parcela con el fin de facilitar su reubicación en el futuro. Un ejemplo de esta hoja de campo se encuentra en el Apéndice 2.

Se anotó el puntaje DANIDA por categoría de cada árbol cubicado en la hoja de campo (Apéndice 3: Formulario 7/1 del sistema MIRA) donde se registraron las características de sitio, fuente de semilla y bloque. Además, a cada árbol que fue cubicado se asignó un número único de identificación. Los árboles de muestreo de la Etapa 1 se enumeraron de 001 a 100 y los de la Etapa 2 de 200 en adelante.

Los datos de cubicación de los árboles de muestreo fueron apuntados en el formulario 7/1 del sistema MIRA (Apéndice 3). Se apuntó una medición de diámetro del fuste y dos mediciones de grosor de corteza (para promediar), a cada metro del fuste junto a su posición, (indicado en metros de fuste desde el corte). Este formulario fue diseñado para la cubicación de árboles con el fin de elaborar Tablas de Volumen con el sistema MIRA (Ugalde *en* Rose y Ugalde, 1988). Además, en esta misma hoja se anotó la forma de troceo del fuste, para el cálculo posterior de los volúmenes comerciales de los diferentes productos.

La recolección de datos en el campo se realizó en dos etapas de muestreo; para visualizar el proceso se ha diseñado un flujograma para cada paso del análisis. Este flujograma se encuentra en la sección 5.19 figura 6.

## 5.5 Etapa 1

### Objetivo

La primera etapa de muestreo se inició en junio de 1995 y tuvo como propósito aumentar la cantidad de árboles de grandes dimensiones cubicados, para ajustar la ecuación general de volumen usada por la compañía. Se muestrearon 10 árboles, en cada uno de los diez sitios elegidos, que cubrieron el rango de calidades del sitio. Las plantaciones muestreadas tuvieron entre cinco y seis años y medio.

El procedimiento de muestreo se realizó empezando desde un punto escogido al azar, se cortó todo árbol mayor que 25 cm DAP que se encontraba en una fila, hasta alcanzar 10 árboles muestreados por sitio. El número total de árboles muestreados fue de 100, lo que permitió completar una muestra total de más que 500 árboles para la generación de la ecuación general de volumen. Fueron árboles dominantes y codominantes de buena forma. Durante esta etapa se tomaron los siguientes datos:

**De cada árbol en pie se tomó la siguiente información:**

Diámetro a Altura de Pecho (DAP)

Clasificación de Forma con Sistema DANIDA

Clasificación de Forma con Sistema CGFM (Clasificación General de la Forma de Melina)

**Mediciones de cada árbol tumbado:**

Mediciones de diámetro sobre corteza a cada metro del fuste comercial

Dos mediciones de grosor de corteza a cada metro del fuste comercial

Longitud total

Longitud comercial para cada uno de los posibles productos.

Cada sección de fuste fue asignada a los productos respetando las especificaciones de diámetro, longitud y presencia de defectos como se detalla en la sección 5.3, “Especificaciones de los productos”.

Se utilizó la siguiente fórmula para generar un DAP compuesto para árboles bifurcados por debajo de los 1,3 metros:

$$\text{DAP Compuesto} = \sqrt{(\text{DAP}_1)^2 + (\text{DAP}_2)^2}$$

## 5.6 Etapa 2

### Objetivo

El trabajo de campo para la etapa 2 inició en enero de 1996 y se extendió hasta mayo del mismo año. El estudio se realizó con un ensayo de 12 fuentes de semilla, plantado en 1990, en 5 sitios caracterizados por 3 tipos de suelo y 3 distribuciones de precipitación. Los cinco sitios indicados en el Cuadro 4 están ubicados en: Finca Salamá, Venecia de Osa (AA1 y AA2), Puerto Cortés (CA), La Mariposa, Corredores (QA), La Cuesta y Corredores (RB), cuyas características se detallan a continuación y su ubicación geográfica en el mapa de la zona de estudio (Figura 2).

**Cuadro 4. Características de los sitios que fueron muestreados**

CÓDIGO DE SITIO	TIPO DE SUELO	CONTENIDO DE BASES DEL SUELO	UNIDAD BIÓTICA	CALIDAD DE SITIO y PRODUCTIVIDAD
AA1	Fluvisc Utropept	Alto en bases	Ttmh* sin meses secos	4 IMA 25m <sup>3</sup> +/-5m <sup>3</sup>
AA2	Utropept	Alto en bases	Ttmh* sin meses secos	1 IMA 55m <sup>3</sup> +/-5m <sup>3</sup>
CA	Ultisol	Moderado en bases	Tth* 3 ó 4 meses secos	3 IMA 35m <sup>3</sup> +/-5 m <sup>3</sup>
QA	Lithic Distrandept (poco profundo)	Bajo en bases	Ttmh* con 1 ó 2 meses secos	3 IMA 35m <sup>3</sup> +/-5 m <sup>3</sup>
RB	Lithic Distrandept (poco profundo)	Bajo en bases	Ttmh* con 1 ó 2 meses secos	3 IMA 35m <sup>3</sup> +/-5 m <sup>3</sup>

Fuente: Zeaser (1995).

\*Según Herrera y Gómez (1993)

Ttmh = Tropical, tropical, muy húmeda

Tth = Tropical, tropical, húmeda

Antes de la siembra de Melina, el Departamento de Investigación y Desarrollo de Ston Forestal siempre efectúa un análisis de suelo en todos los sitios para determinar los niveles de pH, K, Ca, Fe, Ca/Mg, Ca/K y Mg/K. Otros factores que influyen en la calidad de sitio incluyen clima, pendiente y profundidad efectiva del suelo. Con base en estos factores se estima calidad y productividad (en m<sup>3</sup> de madera) para cada sitio.

La calidad del sitio tiene implicaciones en el manejo y silvicultura de la plantación de Melina (Zeaser, 1995). Esta se determina cuando se efectúa el raleo y a que intensidad. Sin embargo, antes del año 1995 no se practicó ningún manejo de los rodales, como es el caso de los rodales muestreados.

Las 12 fuentes de semilla en el ensayo tienen origen de distintos rodales de *G. arborea* de Costa Rica. Todos estos rodales fueron plantados con semilla de Manila de Siquirres, Limón; donde existía un ensayo de procedencias. Todos los registros del ensayo de procedencias de Manila se perdieron, sin embargo, se sabe que ese experimento consistió de 20 procedencias de las cuales 5 de estas (Onitsha, Bende, Iva Valley, Mamu e Ikrigon) fueron las más ampliamente plantadas (Lega, 1988). La semilla procedente de Manila, Siquirres se denomina "Procedencia Manila" aunque el término "Procedencia" en este caso no se aplica en el sentido puro de la palabra (Lega, com. per., 1996).

Los rodales semilleros (que suministraron semilla para el experimento de Ston) fueron establecidos con semilla de Manila, Siquirres, de diferentes años y de distintas áreas del ensayo de procedencias. La compañía Scott Paper S.A. de Costa Rica (responsable por la cosecha de los rodales de Melina en Manila), tuvo una política restringida con respecto a la repartición de la semilla y permitió su venta solamente en el año de corta de cada rodal. Además, es probable que algunas flores fueron polinizadas por árboles cercanos debido a que el polen de Melina es pesado y transportado por algunas especies de insectos, pero generalmente no sobre grandes distancias. Estos antecedentes favorecen la posibilidad de que el origen genético de cada rodal sea distinto (Zeaser, com. per., 1995).

Sin duda alguna, los rodales de donde proviene la semilla de este ensayo son de mezclas de procedencias del ensayo de Manila. Por lo que es de esperar que el comportamiento de estas fuentes sea similar en términos de forma (genotipo) y que las diferencias de productividad sean mayormente debido al manejo, sobrevivencia y calidad de sitio (Ugalde, com. pers, 1996).

Las 12 fuentes de semilla se encuentran repetidas en cada bloque de cada sitio (diseño experimental de Bloques Completos al Azar (BCA)). El ensayo de fuentes de semillas fue sembrado a 3m x 3m en parcelas de 81 árboles (9x9), de los cuales se consideran las dos filas exteriores como borde. Los árboles del muestreo destructivo provienen de los 25 (5x5) árboles del centro de cada parcela. De los 6 sitios originales se desechó uno, donde sólo 9 fuentes de semilla fueron representadas y las demás estuvieron replicadas un máximo de 3 veces.

### **5.7 Fuentes de semilla para muestreo**

Solo se muestrearon 4 de las 12 fuentes de semilla en este estudio. Ellas son: Pilangosta (Península de Nicoya), Liberia y Colorado de Abangares; todos en la provincia de Guanacaste y Bananito en la Provincia de Limón. Los códigos para estas fuentes de semilla son H 109, H 141, H 150 y L 135 en el mismo orden. Se emplean los códigos para identificar las fuentes de semilla en los croquis de cada sitio. Se tomó la decisión de muestrear solamente 4 de las 12 fuentes de semilla para limitar el tamaño de muestra, algo que fue necesario tomando en cuenta el financiamiento y tiempo disponible. Se seleccionaron las fuentes de semilla que fueron representadas según lo especificado en el diseño de Bloques Completos al Azar, es decir, con cuatro repeticiones por sitio, solamente las cuatro fuentes seleccionadas fueron representadas en cada sitio de esta forma.

En la Figura 5 se presenta el diseño de uno de los experimentos que se analizó. Este diseño fue repetido en cada sitio, las parcelas sombreadas fueron medidas y clasificadas como se explica a continuación:

**Figura 5 Ejemplo de diseño de Bloques Completos al Azar, Sitio RB, La Cuesta**

BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1
H 103	H 150	L 135	ST 131	A 118	1-2C
BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1	BLOQUE 1
H 141	Hojancha	H 100	La Flor	H 109	Ivan González
BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2
H 109	1-2C	La Flor	Hojancha	H 100	H 141
BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2	BLOQUE 2
L 135	Ivan González	H 150	H 103	A 118	ST 131
BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3
Ivan González	H 141	H 100	1-2C	La Flor	ST 131
BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3	BLOQUE 3
H 150	H 109	L 135	A 118	Hojancha	H 103
BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4
Hojancha	ST 131	A 118	H 109	L 135	H 150
BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4	BLOQUE 4
H 141	H 103	H 100	Ivan González	La Flor	1-2C

Las parcelas tuvieron una densidad inicial de siembra de 1100 árboles/ha. Los árboles no fueron podados ni raleados, algo típico en las primeras plantaciones de Ston Forestal. Cada parcela inicialmente tuvo  $9 \times 9 = 81$  árboles a una espaciamiento de 3 m x 3 m.

## 5.8 Colecta de datos para la Etapa 2

Los datos que se recolectaron, en la Etapa 2 se detallan a continuación:

### De los 81 árboles por parcela en pie:

Diámetro a Altura de Pecho (DAP)

Clasificación de Forma con sistema CGFM (Clasificación General de la Forma de Melina)

Se utilizó la frecuencia de árboles de clase 1 ("Normales") como medida de forma para cada parcela, porque se consideró que esta frecuencia es la mejor medida de calidad del fuste a nivel de parcela. Las parcelas en su mayoría no presentaron efectos de borde. Cuando se encontró esta condición los árboles afectados fueron excluidos del análisis. La presentación de frecuencias en porcentaje facilitó la comparación de parcelas aún cuando algunas no fueron completas.

Según Zeaser (1996, Com. Per.) solo un promedio de un 50% de los árboles en las plantaciones actuales de 6 años y 1100 árboles/ha (densidad inicial) tienen DAP mayor que 20 cm. Por lo tanto, en cada parcela se han seleccionado 4 árboles de muestreo: dos árboles con DAP mayor a 20 cm y dos árboles con DAP menor a 20 cm pero mayor que 10 cm DAP. Los árboles con DAP menor de 10 cm se consideran no comerciales en el momento de la cosecha.

### De los 4 árboles tumbados en cada parcela

Diámetro a Altura de Pecho (DAP)

Clasificación de la Forma con Sistema DANIDA

Clasificación de la Forma con Sistema CGFM

### Se tumbó el árbol para obtener:

Mediciones de diámetro sobre corteza a cada metro del fuste comercial

Dos mediciones de grosor de corteza a cada metro del fuste comercial

Longitud Total

Un troceo teórico; las longitudes comerciales para cada uno de los posibles productos respetando especificaciones de diámetro, longitud y presencia de defectos.

El muestreo dio prioridad a los árboles que presentaron algunos de los defectos señalados; esto con el fin de poder tener suficientes observaciones en cada clase de forma del CGFM, para poder generar ecuaciones de regresión para productos en cada clase de forma.

En cada sitio se muestrearon 64 árboles (16 por fuente de semilla) dando un total de 320 árboles durante la Etapa 2 del estudio.

### **5.9 Cubicación de los árboles**

La Cubicación de los árboles de la etapa 1 del muestreo, a partir de las mediciones tomadas en el campo fue efectuada utilizando una hoja electrónica de Excel, Versión 5, diseñada para este trabajo. La hoja electrónica calcula el volumen de cada sección medida. Cada sección de un metro de largo se cubicó por separado utilizando la fórmula de Smalian. Los volúmenes de secciones de menos de 1 m de largo se cubicaron vía extrapolación lineal de los diámetros.

Con la información suministrada por el troceo teórico efectuado en el campo, se procedió a sumar los volúmenes de cada sección de troza, para calcular los volúmenes comerciales de cada producto. La hoja produjo para cada árbol los valores del volumen total y comercial, tanto como los volúmenes de cada uno de los productos según sus especificaciones y además los valores del factor de forma. Los volúmenes observados fueron utilizados junto con el DAP y Altura Total para cada árbol en el desarrollo de ecuaciones de regresión y así lograr la estimación de volumen de cada producto en cada clase de forma CGFM.

### **5.10 Propósito de las ecuaciones de regresión**

Se desarrollaron ecuaciones de regresión para estimar el volumen de cada producto en cada árbol según clase de forma (CGFM). La estimación de volumen de producto por árbol individual es difícil y la tarea se complica más con la inclusión de árboles de formas distintas de la normal. Sin embargo, en este estudio se ha desarrollado un sistema de inventario precosecha, para lograr una aceptable precisión de estimación del volumen a nivel de rodal, no a nivel del árbol individual.



### 5.11 Cálculo de ecuaciones de volumen utilizando regresiones

Se utilizó la rutina de regresión lineal de Excel 5, para desarrollar una ecuación para cada producto en cada clase de forma a partir de los volúmenes observados, se utilizó las variables independientes: DAP y Altura total. El ajuste de cada modelo involucró una prueba con cada uno de 17 modelos predeterminados de regresión (Cuadro 4), para estimar volumen de producto. Se utilizaron modelos de regresión lineal, porque la literatura sobre ecuaciones de volumen para árboles indica que casi siempre este tipo de modelo logra ajustar a los valores observados. El método de ajuste para los modelos que se utilizó fue el de los Cuadrados Mínimos.

### 5.12 Selección de las ecuaciones de regresión de mejor ajuste

La selección de los modelos se basó en los valores de  $R^2$ , Índice de Furnival y de un análisis de residuales, según la metodología de Salazar y Palmer, (1985). Para cada producto y clase de forma se seleccionaron dos ecuaciones.

La primera ecuación emplea el modelo 16, lo que simplemente hace un ajuste al resultado dado por la ecuación de volumen general Ston 1996. El modelo 16 produce una ecuación que efectúa un “ajuste por defectos”, llamada un “Valor de Descuento”.

La segunda ecuación seleccionada fue la de mejor ajuste entre los 17 modelos presentados en el Cuadro 4. Cabe mencionar que en algunos casos el modelo 16 resultó ser también el modelo de mejor ajuste. En la mayoría de los casos los modelos 11, 14 y 15 fueron los seleccionados, cada uno de estos modelos contiene las variables independientes  $D^2$  y  $D^2H$ . El modelo 11, el mismo utilizado en la ecuación general de volumen Ston 1996, tiene la mayor incidencia de selección porque describe muy bien el fuste del Melina.

Cuadro 4 Juego de 17 modelos de regresión lineal para selección de ecuaciones

# Modelo	Variables Independientes	Modelo
1.	D	$V = b_0 + b_1D$
2.	$D^2$	$V = b_0 + b_1D^2$
3.	$(D^2H)$	$V = b_0 + b_1D^2H$
4.	H	$V = b_0 + b_1H$
5.	D, $D^2$	$V = b_0 + b_1D + b_2D^2$
6.	D, $(D^2H)$	$V = b_0 + b_1D + b_2D^2H$
7.	D, H	$V = b_0 + b_1D + b_2H$
8.	$D^2$ , $(D^2H)$	$V = b_0 + b_1D^2 + b_2D^2H$
9.	$D^2$ , $(D^2H)$	$V = b_0 + b_1D^2 + b_2D^2H$
10.	$(D^2H)$ , H	$V = b_0 + b_1D^2H + b_2H$
11.	D, $D^2$ , $(D^2H)$	$V = b_0 + b_1D + b_2D^2 + b_3D^2H$
12.	D, $D^2$ , H	$V = b_0 + b_1D + b_2D^2 + b_3H$
13.	D, $(D^2H)$ , H	$V = b_0 + b_1D + b_2D^2H + b_3H$
14.	$D^2$ , $(D^2H)$ , H	$V = b_0 + b_1D^2 + b_2D^2H + b_3H$
15.	D, $D^2$ , $(D^2H)$ , H	$V = b_0 + b_1D + b_2D^2 + b_3D^2H + b_4H$
16.	D, $D^2$ , $(D^2H)$	$V = b_0 + b_1(\text{STON 1996}^*)$
17.	logD, logH	$V = b_0 + b_1\log D + b_2\log H$

\* Ecuación General de Volumen Comercial (STON 1996) =  
 $0.011392(\text{DAP}) - 0.00037431(\text{DAP})^2 + 0.00002932(\text{DAP})^2(\text{Alt total}) - 0.092244$

### **5.13 Tres métodos para comprobar el ajuste de ecuaciones de volumen en una validación**

Se validaron las ecuaciones de volumen para cada clase de forma y cada producto con una muestra de 15 árboles por clase de forma. Los árboles fueron cubcados de la misma manera que los árboles utilizados en la generación de las ecuaciones de volumen.

Se utilizó la prueba de  $\text{Chi}^2$  para comparar los volúmenes observados en la validación y los volúmenes estimados por cada ecuación de volumen. Si el valor de  $\text{Chi}^2$  de la validación no excedía el valor de  $\text{Chi}^2$  de la tabla ( $p \leq 0.05$ ), se concluyó que los volúmenes de los árboles de la validación no diferían de manera significativa, de los valores estimados por la ecuación.

El valor del Cuadrado Medio del Error (CME) es otra forma para determinar el ajuste de los valores observados con los generados por la ecuación. Posteriormente, en la validación de la ecuación se pudo comparar el valor del CME de la validación con el obtenido por la ecuación. Si el valor del CME de la validación fue menor o estuvo cerca del valor de la ecuación, se concluyó que esta estima con adecuada precisión el volumen en cuestión.

Otra manera para validar una ecuación de regresión es comparar el porcentaje de error de estimación de la ecuación con los volúmenes observados en una muestra de validación. Si el porcentaje no excedía un máximo preestablecido de error aceptable se concluyó que la ecuación fue válida. Para los efectos de este estudio y para el inventario forestal comercial se permite un error de hasta +/- 10%.

### **5.14 Análisis de varianza (ANDEVA)**

Con la utilización del ANDEVA (Análisis de varianza) se compararon las diferentes medias de tratamientos para definir si difirieron estadísticamente o si las diferencias ocurren al azar. Los niveles de significancia utilizados fueron de 10%, 5% y 1% del F de tabla para la comparación de los valores calculados de F. Si el valor calculado de F excedía del valor de tabla se rechazó la  $H_0$  (Hipótesis nula) al nivel de significancia indicada. Asimismo, se hizo el ANDEVA a varios niveles en cada uno de los análisis, para probar si existían diferencias significativas entre las fuentes de variación. A continuación se muestra la hipótesis que se va utilizar para probar la presencia de diferencias entre fuentes de variación:

La Hipótesis nula: plantea que la media de bloque 1 es igual a la media de bloque 2 ,...,igual a la media del bloque 20. Como se indica en la siguiente fórmula:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_{19} = \mu_{20}$$

Por lo tanto, la Hipótesis alternativa plantea que las medias entre al menos dos bloques sean diferentes, como indica la fórmula.

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ (algún par de tratamientos difiere)}$$

### 5.15 Prueba de Duncan

El caso en que el ANDEVA detectó diferencias significativas entre los datos, se utilizó la Prueba de Duncan para determinar cuáles de las medias son iguales y cuáles difieren significativamente una de la otra. Se hizo un "ranking" de los valores medios por clase, es decir, que se presentaron los valores en orden numérico de menor a mayor. Cuando la separación de dos valores no excedió el valor de  $R_p$  calculado (al 1% o 5% significancia) se indica con una línea continua bajo los valores en cuestión.

### Fórmula de la Prueba de Duncan

$$R_p = r_p \cdot s_x = r_p \sqrt{s^2/n}$$

en donde:

$p$  = medias muestrales

$R_p$  = Menor Rango Significante

$r_p$  = Menor Rango de Significancia de Student al 5% o 1% de tabla

$s^2 = \sigma^2$  = obtenido de la ANDEVA (el CME del error)

$n$  = tamaño de muestra (todas deben ser iguales)

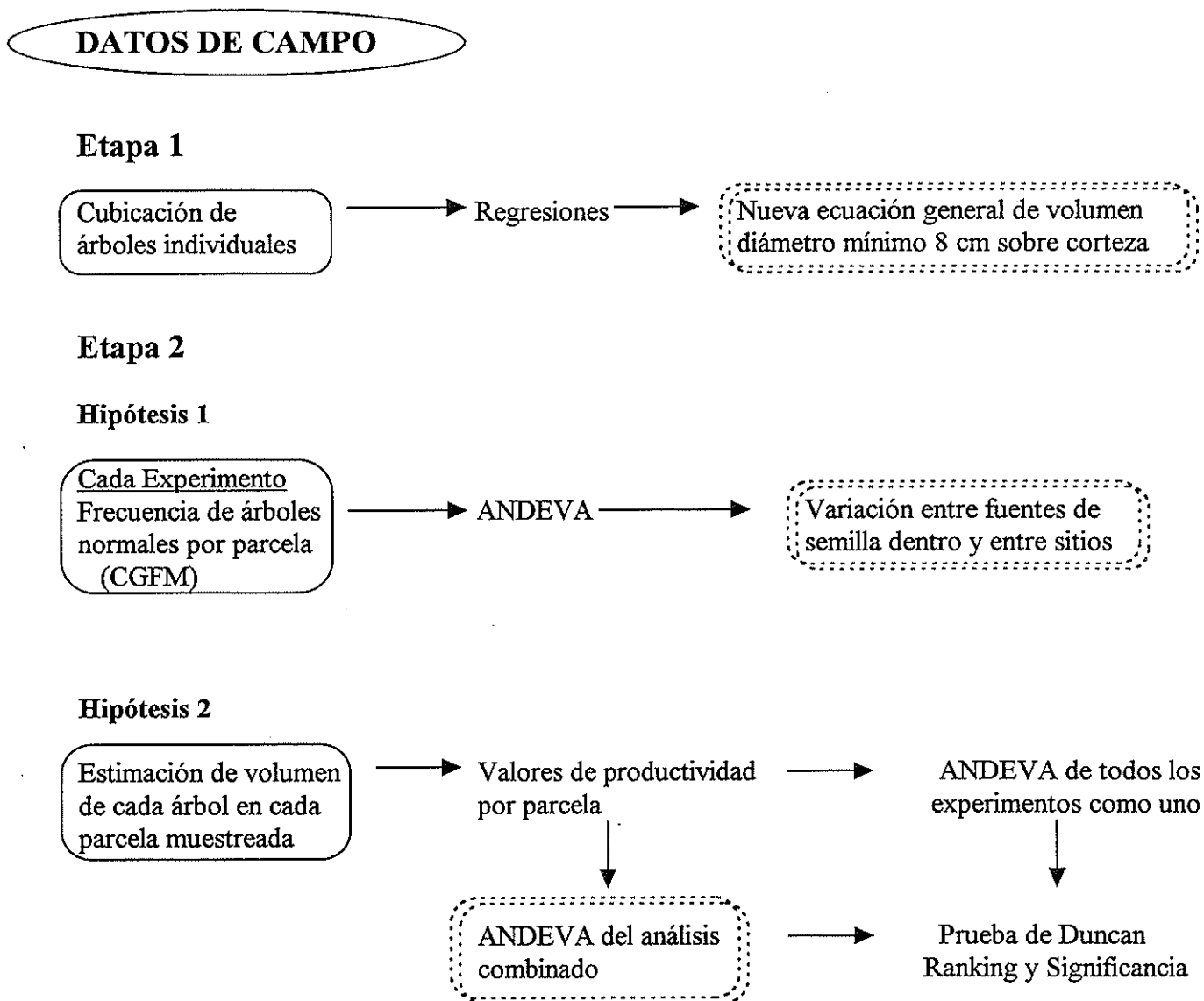
Fuente: Walpole (1974)

### 5.16 Prueba de correlación

Para poder establecer si existe una relación entre productividad y el valor medido se efectuó una correlación múltiple (también conocida como la correlación de Pearson). Se utilizó la función de la hoja electrónica Excel versión 5, para efectuar las correlaciones entre pares de datos. Un coeficiente de correlación positivo y cerca de uno indica que con un aumento en productividad hay un aumento correspondiente en el valor medido (frecuencia de árboles normales o conicidad en este estudio). Un coeficiente negativo describe una reducción en el valor medido conforme aumenta productividad. Cuando el coeficiente de correlación se acerca a cero la relación entre los dos valores es muy débil o inexistente.

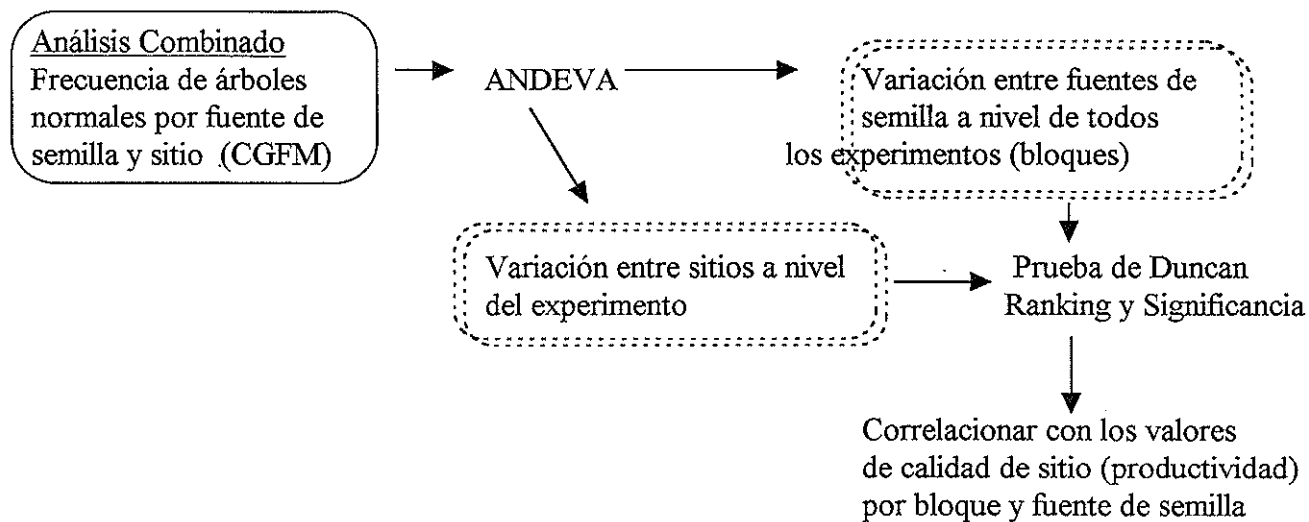
### 5.17 Flujograma: Procedimiento del análisis de datos

En la figura 6 se sintetiza el procedimiento metodológico que se usó en esta investigación.

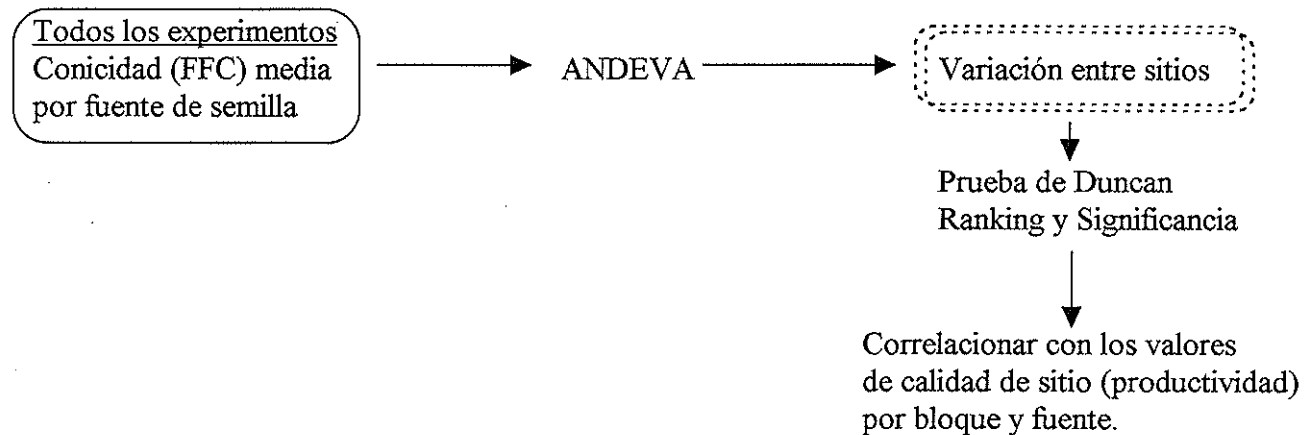


**Figura 6a: Procedimiento de análisis: Etapa 1 e hipótesis 1 y 2 de etapa 2.**

### Hipótesis 1 y 3

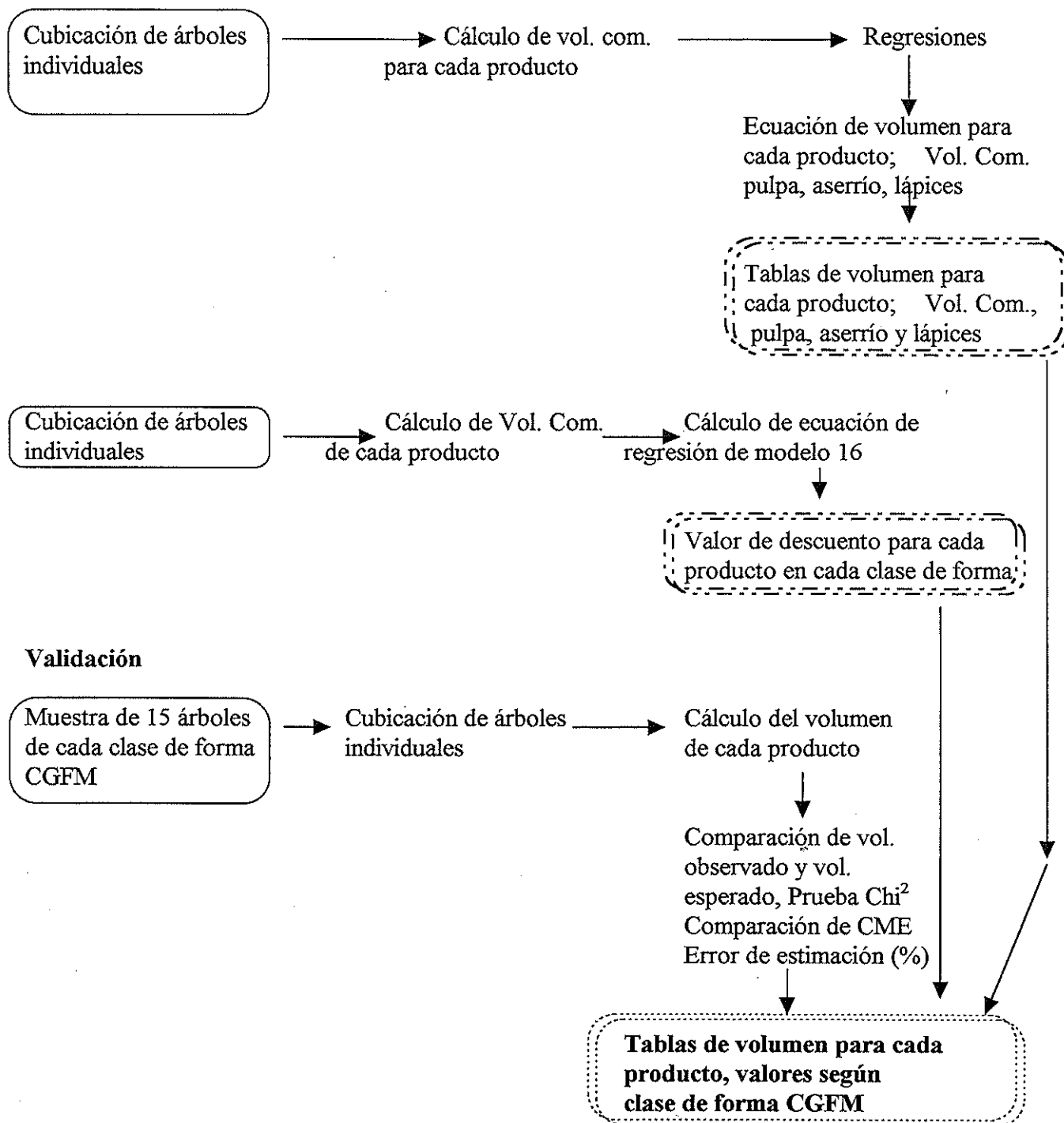


### Hipótesis 4



**Figura 6b: Procedimiento de análisis: etapa 2, hipótesis 1, 3 y 4.**

### Hipótesis 5



**Figura 6 cont.: Procedimiento de análisis: Etapa 2, hipótesis 5, y validación de las ecuaciones de volumen.**



## VI RESULTADOS

### 6.1 Análisis de la hipótesis 1

#### 6.1.1 Relación entre frecuencia de árboles de forma del fuste normal y fuente de semilla

Las variables que se utilizaron para probar la primera Hipótesis son: la fuente de semilla (4) y la frecuencia de árboles con forma de fuste normal, expresado en porcentaje. Se clasificó la forma de los árboles con el sistema CGFM.

#### 6.1.2 Tablas de resultados y ANDEVA para cada experimento

**Cuadro 7 Resultados de los ANDEVA para cada experimento, análisis de la hipótesis 1.**

SITIO	FUENTE DE SEMILLA	MEDIO (% normal)	F <sub>obs</sub>	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
AA1	H109	74.75	0.54	N.S.
	H141	82.50		
	H150	73.75		
	L135	80.75		
AA2	H109	88.75	0.52	N.S.
	H141	85.75		
	H150	89.00		
	L135	90.00		
CA	H109	78.50	0.93	N.S.
	H141	82.50		
	H150	71.50		
	L135	73.25		
QA	H109	77.50	9.13	*** significativa al 1%
	H141	61.00		
	H150	72.00		
	L135	67.50		
RB	H109	74.75	0.89	N.S.
	H141	79.75		
	H150	72.75		
	L135	85.25		

Los resultados completos por cada experimento (Sitio) se encuentran en el Apéndice 4, junto a sus respectivos análisis de varianza (ANDEVA).

Los sitios AA1, AA2, CA y RB no presentaron diferencias significativas al 10% entre fuentes. Por lo tanto para los sitios mencionados se acepta la  $H_0$ : No hay una diferencia en la frecuencia de árboles de forma de fuste normal debido a las fuentes de semilla analizadas de *G. arborea*, en la zona sur oeste de Costa Rica.

En contraste en el sitio QA (Apéndice 4, cuadro 4) se detectó diferencias significativas al 1% entre fuentes de semilla y entre bloques. Para analizar las diferencias observadas entre fuente de semilla se aplicó una prueba de Duncan que se presenta a continuación.

#### **Prueba de Duncan: Frecuencia de árboles de forma de fuste normal, Sitio QA**

##### **Fuente de Semilla**

H141	L135	H150	H109
61	67.5	72	77.5

Valores que comparten una línea no difieren significativamente al 1%

#### **6.1.3 Interpretación a nivel del sitio QA**

La prueba de Duncan encontró diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre un par de fuentes: H141 y H109, lo que demuestra que la frecuencia de árboles de forma del fuste normal de la fuente H141 es significativamente menor ( $P \leq 0.01$ ) que la frecuencia de la fuente H109. Para el sitio QA se concluye que hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas.

El ANDEVA indica que sí existe diferencias entre fuentes en la frecuencia de árboles de forma de fuste normal. Las implicaciones de este resultado para la reforestación con Melina son que, en este sitio, la fuente más apropiada (con respecto a la frecuencia de árboles de forma de fuste normal) es la H109. A la vez, indica que el comportamiento de la fuente H141 con respecto a la frecuencia de árboles con forma del fuste normal es pobre y se debe evitar en plantaciones de condiciones similares de este sitio.

Sin embargo, al observar el sitio QA en el campo es evidente que hay una fuerte influencia de micrositos dentro de los bloques. Esto se debe principalmente a factores edáficos en particular de profundidad de suelo y áreas propensas a la inundación. Estas áreas son indicadas visiblemente por cambios en el sotobosque. Tanto es el efecto de micrositos dentro de bloques que se cree posible que estos pueden haber causado por sí solos las diferencias observadas, y no por verdaderas diferencias en la frecuencia de árboles de forma del fuste normal debidos a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas en la zona sur oeste de Costa Rica.

#### **6.1.4 Resultados a nivel de todos los experimentos la frecuencia de árboles de forma del fuste normal**

El análisis a nivel de todos los experimentos se efectuó utilizando los valores medios de frecuencia de forma de fuste normal por Sitio y Fuente (un valor medio de los resultados de 4 parcelas). La tabla de resultados y ANDEVA se encuentra en el Apéndice 4, Cuadro 6. No se encontraron diferencias al 10% entre las diferentes fuentes de semillas probadas. Por lo tanto, se acepta la  $H_0$  que estipula que no hay una diferencia en la frecuencia de árboles de forma de fuste normal debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas en la zona sur oeste de Costa Rica.

#### **6.1.5 Resultados del análisis combinado de la frecuencia de árboles de forma del fuste normal**

El Análisis Combinado facilitó la comparación de los valores medios de frecuencias de árboles de forma del fuste normal de las diferentes fuentes de semilla a través de los cinco sitios. La tabla de resultados y tabla de ANDEVA para este análisis se encuentra en el Apéndice 4, (Cuadro 7). El análisis combinado de la tabla de ANDEVA demuestra que no existen diferencias significativas entre fuentes probadas en este ensayo a nivel del 10%.

Se acepta la  $H_0$ : que no hay una diferencia en la frecuencia de árboles de forma de fuste normal debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.

#### **6.1.6 Interpretación final análisis de la hipótesis 1:**

En los análisis de cada experimento se encontraron diferencias significativas entre fuentes al 10% solamente en el sitio QA (donde las diferencias fueron significativas al 1%). Sin embargo, el comportamiento de las fuentes en este sitio pueden haber sido afectadas por variaciones de micrositios dentro de los bloques. Además este fue el único sitio con diferencias estadísticamente significativas al 5% entre bloques. Los resultados de todos los demás análisis concuerdan en que no existe diferencias significativas entre las cuatro fuentes de semilla probadas. Este resultado se detectó también en el análisis combinado. Como conclusión general del Análisis 1:

Se acepta la  $H_0$ : que no hay una diferencia en la frecuencia de árboles normales debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas en la zona sur oeste de Costa Rica.

El resultado, que la frecuencia de árboles de forma normal no varía de una a otra fuente de semilla de Costa Rica, concuerda con los resultados de Valerio (1986) y Cornelius (1994). Ambos autores encontraron diferencias no significativas entre la rectitud del fuste y la fuente de semilla. Este hallazgo en las plantaciones de Ston Forestal tiene implicaciones para el mejoramiento de esta característica de la especie. El enfoque del programa de mejoramiento de Ston Forestal es acertado en su búsqueda de árboles plus, con una alta diferencial de selección. Dada la importancia de la forma del fuste en el rendimiento de productos de alto valor, la investigación acerca de esta característica sí merece atención en el programa de mejoramiento.

## 6.2 Análisis de la hipótesis 2

### 6.2.1 Productividad en volumen y fuente de semilla

Ho: No hay una diferencia en productividad en volumen debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.

#### Cálculo de volumen por parcela

Para probar esta hipótesis se estimó el volumen comercial de madera por parcela en cada sitio, ya que esto no se pudo medir directamente. En el campo solo se tomó el DAP y clase de forma CGFM para cada árbol en cada parcela según lo especificado en la etapa 2 de la Colecta de Datos.

La etapa 2 del muestreo proporcionó 64 árboles por sitio, con datos de DAP y Altura total. De estos 64 se seleccionaron solamente los árboles de clase de forma CGFM 1, para uso en la generación de ecuaciones para la estimación de altura total. Se consideró inapropiado usar los árboles de otras clases de forma, porque la relación entre DAP y altura total en árboles bifurcados o con otros defectos de forma, pudieran ser distintas a las de los árboles clase 1. Además, cabe reiterar que se generó una ecuación distinta para cada sitio, eso porque la relación entre DAP y altura total suele diferir de un sitio a otro.

Para calcular el volumen comercial primero se realizó una ecuación de regresión, para determinar la altura total con base al DAP. A continuación se presentan los modelos usados para estimar la altura total con base al DAP.

**Cuadro 8. Modelos para la estimación de Altura total en base de DAP**

MODELO	Variables Significativas
1. $H = b_0 + b_1D$	D
2. $H = b_0 + b_1D^2$	$D^2$
5. $H = b_0 + b_1D + b_2D^2$	D, $D^2$

La selección del modelo más apropiado en cada sitio fue hecho con base en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). En cada sitio el modelo 5 resultó ser el de mejor ajuste como se presenta en el siguiente Cuadro (No. 9):

**Cuadro 9. Selección de las ecuaciones de altura total**

Sitio	$R^2$ por Modelo			Ecuación de Altura Total Modelo seleccionado No. 5
	1.	2.	5.	
AA1	0.78	0.72	0.83	$H = -3.73784 + 1.83984D - 0.03057D^2$
AA2	0.54	0.49	0.57	$H = -2.27969 + 1.73198D - 0.02575D^2$
CA	0.68	0.61	0.75	$H = 2.05821 + 1.53963D - 0.02535D^2$
QA	0.52	0.48	0.53	$H = -1.12360 + 1.67111D - 0.02759D^2$
RB	0.76	0.76	0.78	$H = 4.85917 + 1.08774D - 0.01536D^2$

A partir de los diámetros medidos y alturas estimadas para cada árbol, se calcularon los volúmenes comerciales utilizando la ecuación general del volumen comercial de Ston Forestal. Además, se aplicaron los respectivos valores de descuento para las clases de la forma del fuste CGFM, como se detalla en el Apéndice 8 (Cuadro 1), en el cálculo del volumen comercial para cada árbol. Dado que el tamaño de parcela efectiva variaba en algunos casos (debido a obstáculos físicos en el campo, como son los drenajes, o el efecto de borde) se calculó el volumen en  $m^3$  de madera por hectárea para cada parcela y así facilitar la comparación.

### 6.2.2 Resultados y ANDEVA a nivel de cada experimento

A nivel de cada experimento se compararon valores de productividad por fuente y bloques dentro del sitio. Los resultados a nivel de cada experimento (Sitio) se encuentran en el Apéndice 5, (Cuadros 1 a 5), junto a sus respectivos Análisis de Varianza (ANDEVA). El resumen de los resultados se encuentra a continuación:

**Cuadro 10. Productividad en volumen comercial m<sup>3</sup>/ha por sitio y fuente**

SITIOS	H109	H141	H150	L135	Medio
AA1	227.5	232.4	176.7	191.0	206.9
AA2	281.3	256.2	233.6	252.3	255.9
CA	213.6	256.9	233.4	221.1	231.3
QA	224.5	224.9	222.5	200.7	218.2
RB	170.8	218.8	186.5	189.2	191.3
Medio	223.5	23.78	210.5	210.9	220.7

**Sitios AA1, CA, QA y RB**

El análisis de varianza para la productividad (volumen comercial por parcela expresada en m<sup>3</sup>/ha) no detectó diferencias significativas al 10% entre las fuentes de semilla probadas a nivel de sitio. Por lo tanto, para estos sitios se aceptó la H<sub>0</sub> propuesta que: no hay una diferencia en productividad en volumen comercial debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas en la zona sur oeste de Costa Rica.

En contraste el ANDEVA detectó una diferencia entre fuentes a nivel del 5% para el sitio AA2. Se aplicó una prueba de Duncan para efectuar un ranking de las fuentes de semilla dentro del sitio, la que dio los siguientes resultados (Cuadro 13):

**Prueba de Duncan, productividad, sitio AA2****Fuente de semilla**

H150	L135	H141	H109
233.6	247.0	256.2	281.3

Valores que comparten una línea  
no difieren significativamente al 5%

La prueba de Duncan al 5% muestra diferencias significativas entre un par de fuentes: H150 y H109. Esta demuestra que la productividad en volumen comercial de madera de la fuente H150, es significativamente menor ( $P \leq 0.05$ ) que la productividad de la fuente H109.

Para el sitio AA2:

Se rechaza la  $H_0$ : que no hay una diferencia entre productividad en volumen comercial debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.

El sitio AA2 es plano, sin notables gradientes de calidad que pueden haber afectado los resultados del experimento. En este sitio, la productividad de la mejor fuente H109 superó en más de 20% a la fuente H150. Esta diferencia tan marcada tiene importantes implicaciones para la selección de fuentes de semilla para la siembra en este sitio donde se sugiere la fuente H109 (procedente de Pilangosta, Península de Nicoya) en la ausencia de otras fuentes de superior rendimiento.

### **6.2.3 Productividad: resultados a nivel de todos los experimentos**

En el análisis a nivel de todos los experimentos se utilizó los valores medios de productividad por sitio y fuente (un valor medio de los resultados de 4 parcelas). La tabla de resultados y ANDEVA se encuentra en el Apéndice 5, (Cuadro 6). Se encontraron diferencias significativas solo a nivel de 10% entre las diferentes fuentes de semillas probadas.

Se rechaza la  $H_0$ : que no hay una diferencia entre productividad en volumen comercial debido a las fuentes de semilla de *Gmelina arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.

### **6.2.4 Resultados de análisis combinado, productividad**

La tabla de resultados y de ANDEVA para este análisis se puede encontrar en el Apéndice 5, (Cuadro 7). En el análisis combinado el ANDEVA demuestra que existen diferencias significativas entre fuentes al nivel de 5%.



Se rechaza la  $H_0$ : que no hay una diferencia entre productividad en volumen comercial debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas, en la zona sur oeste de Costa Rica.

### Prueba de Duncan del análisis combinado de productividad

#### Fuente de Semilla

<b>H150</b>	<b>L135</b>	<b>H109</b>	<b>H141</b>
<b>210.5</b>	<b>210.9</b>	<b>223.5</b>	<b>237.8</b>

---

Valores que comparten una línea  
no difieren significativamente al 5%

Se encontraron diferencias significativas al 5% en producción volumétrica entre las fuentes probadas. Estas resultan importantes porque la mejor fuente, la H141, tiene una producción en volumen de un 13% mayor que las dos fuentes inferiores, (L135 y H150). Esta diferencia en productividad en volumen de madera entre las fuentes probadas, tiene implicaciones importantes en la siembra de plantaciones de *G. arborea* en la ausencia de otras fuentes de mayor productividad, pues la selección de la fuente más apropiada influiría en la rentabilidad de la actividad sobre extensiones de envergadura.

#### 6.2.5 Análisis de varianza de sobrevivencia a nivel del experimento

Se efectuó un análisis de varianza a nivel de experimento para los datos de sobrevivencia colectados durante la etapa dos de muestreo. Este análisis y su ANDEVA están en el Apéndice 5, Cuadro 9. No se encontraron diferencias (significativas al 10%) entre fuentes ni sitios en la tasa de sobrevivencia. El promedio de sobrevivencia fue de 82,8% lo que da una densidad media para los rodales de 911 árboles/hectárea. La falta de diferencias significativas en sobrevivencia permite comparar mejor la productividad de las fuentes por que las diferencias no se pueden atribuir a mortalidad dentro de los rodales investigados.

### 6.2.6 Interpretación final del análisis de la hipótesis 2:

En el análisis 2 se encontraron diferencias significativas entre fuentes a distintos niveles: a nivel de Experimento (Sitio AA2), a nivel de todos los experimentos, y en el Análisis Combinado. En cada uno de estos niveles las fuentes H109 y H141 (de Pilangosta y Liberia respectivamente) ocupan las primeras posiciones de productividad según los resultados de la prueba de Duncan. Estas mismas indican que las fuentes H150 y L135 (de Colorado de Abangares y Bananito, Limón respectivamente) son de menor productividad, con una diferencia no significativa entre las dos. Así la conclusión general del Análisis 2 es que:

Se rechaza la  $H_0$ : que no hay una diferencia entre productividad en volumen comercial debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas en la zona sur oeste de Costa Rica.

Se acepta la  $H_a$ : que hay una diferencia entre productividad en volumen comercial debido a las fuentes de semilla de *G. arborea* probadas en la zona sur oeste de Costa Rica.

En la ausencia de mejores fuentes para establecer plantaciones de Melina se sugiere el uso de las fuentes de semilla de Pilangosta y Liberia por su superioridad en producción volumétrica.

### 6.2.7 Comparación de productividad estimada y observada

Cuando se comparó las productividades observadas por sitio con las estimadas por el departamento de Investigación y Desarrollo, de Ston Forestal, se notó que las estimaciones no eran muy precisas en los casos extremos (el mejor y el peor sitio). Los otros tres sitios (de calidad de sitio 3) dieron productividades observadas bastante cercanas a las anticipadas por Ston Forestal. Las calidades predichas y las características de cada sitio se encuentran en el cuadro 3. A continuación se presenta la productividad esperada, la observada para cada sitio muestreado y la diferencia porcentual entre sí.

**Cuadro 11. Comparación de productividad estimada con la observada**

SITIO	PRODUCTIVIDAD (m <sup>3</sup> /ha)		DIFERENCIA %
	ESTIMADA	OBSERVADA	
AA2	330	255.9	-23%
CA	210	231.3	+10%
QA	210	218.2	+4%
RB	210	191.3	-9%
AA1	150	206.9	+38%

El cuadro indica que las estimaciones dadas de calidad de sitio fueron imprecisas en los casos extremos. Por ejemplo, el sitio AA1 clasificado como calidad 4, logró una productividad mayor que el sitio RB clasificado como calidad 3.

Las productividades encontradas en estos sitios superan los mejores crecimientos de *G. arborea* que se citaron en la revisión de literatura. Se debe a condiciones climáticas y edáficas más favorables para el desarrollo de la especie. Estos resultados de productividad tan altos deben estimular interés en la reforestación en la zona sur oeste de Costa Rica, ya que existe la posibilidad de que la actividad sea altamente rentable en períodos de rotación de menor duración que en las demás áreas del país.

Entre los sitios muestreados se encontraron diferencias significativas en productividad entre bloques del sitio QA, La Mariposa, al 10% y del sitio RB, La Cuesta, al 5%. En los demás sitios no se encontraron diferencias en productividad, significativas al 10%, entre bloques. Al encontrar diferencias significativas en productividad a través de áreas tan restringidas como son los de estos experimentos, nos indica que hay una alta variabilidad inherente en la calidad de los sitios en la zona sur oeste de Costa Rica. Dado que el manejo silvicultura y hasta la duración de la rotación de corta son afectadas por la calidad de sitio, es importante que se elaboren mapas detallados de los estratos de calidad de sitio en cada rodal.

En gran medida la precisión de estimaciones de volumen en los inventarios precosecha, depende de la habilidad del silvicultor de efectuar una precisa estratificación de sitios (o rodales) según calidad, medida en productividad volumétrica. Una eficiente estratificación por calidad de sitio permite una reducción en la intensidad del inventario necesario para llegar a un nivel de confianza deseado.

### 6.3 Análisis de la hipótesis 3

#### 6.3.1 Relación entre la frecuencia de árboles de forma del fuste normal y calidad de sitio

Las variables que fueron utilizadas para probar la tercera hipótesis son la forma del fuste medido con el sistema CGFM. Se define la calidad del fuste por parcela como la frecuencia de árboles normales (de Clase 1) por parcela, expresada en porcentaje. La calidad de sitio se expresa como la productividad de madera comercial por fuente de semilla y bloque. La calidad se determinó en el análisis anterior y se expresa en m<sup>3</sup>/ha. Los ANDEVA para productividad de todos los experimentos tomados como uno y del análisis combinado encontraron diferencias significativas entre bloques y bloques dentro de sitios. Los resultados de productividad mencionados se encuentran en Apéndice 5, (cuadro 6 y 7). La prueba de Duncan para bloques (un ranking) de todos los experimentos tomados como uno, para productividad, se presenta en el Apéndice 5, (Cuadro 8).

#### 6.3.2 Frecuencia de árboles de forma del fuste normal resultados a nivel de todos los experimentos

La tabla de resultados y ANDEVA a nivel de todos los experimentos se encuentra en el Apéndice 4, (Cuadro 6), son los mismos que se utilizaron para probar la Hipótesis 1. Entre los sitios se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de los defectos de forma del fuste al 1% con la siguiente prueba de Duncan:

**Prueba de Duncan para la frecuencia de árboles con forma de fuste normal, a nivel de todos los experimentos.**

#### Sitio

QA	CA	AA1	RB	AA2
69.5	76.44	77.94	78.13	88.38

Valores que comparten una línea no difieren significativamente al 1%

A nivel de todos los experimentos: se encuentra que hay una diferencia entre la frecuencia de árboles de forma de fuste normal y la calidad de sitio para *G. arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

### **6.3.3 Resultados a Nivel de todos los experimentos tomados como uno**

El análisis a nivel de todos los experimentos se efectuó utilizando los valores de frecuencia de forma normal por bloque y fuente de semilla. Este análisis empleó los cuatro bloques de cada uno de los cinco sitios, como si fueran 20 bloques dentro de un experimento de Bloques Completos al azar con 4 tratamientos (las fuentes de semilla) por bloque. La tabla de resultados del análisis de todos los experimentos tomados como uno y ANDEVA se encuentran en el Apéndice 6, (Cuadro 1).

El ANDEVA encontró diferencias significativas entre bloques al 1%. Se acepta la hipótesis alterna planteada en la metodología, ya que al menos un par de tratamientos (Bloques) difieren entre sí. Utilizando la prueba de Duncan se efectuó un ranking de cada uno de los bloques, para presentar el orden y significancia de los resultados como se detalla en el Apéndice 6 (Cuadro 2).

Los resultados del análisis de productividad generaron los valores de calidad de sitio para cada fuente de semilla dentro de cada bloque. Utilizando los valores de calidad de sitio por bloque y fuente se aplicó una prueba de correlación múltiple, entre la frecuencia de los defectos de forma del fuste y su respectiva calidad del sitio, como se presenta a continuación en el cuadro 12.

**Cuadro 12. Correlación (Coef. de Correlación Múltiple) entre frecuencia de árboles de forma de fuste normal y calidad de sitio en productividad ( $m^3/ha$ ) por bloque y fuente de semilla.**

Fuente	H 109		H 141		H 150		L 135	
Bloque	Frec. N.	Calidad	Frec. N.	Calidad	Frec. N.	Calidad	Frec. N.	Calidad
AA1 1	72%	243.4	78%	200.9	82%	141.9	91%	189.8
AA1 2	77%	186.5	86%	187.7	88%	195.2	84%	197.7
AA1 3	70%	227.2	90%	205.2	45%	186.7	80%	190.0
AA1 4	80%	252.7	76%	335.7	80%	182.8	68%	186.6
AA2 1	85%	326.7	89%	257.1	83%	232.9	86%	259.1
AA2 2	92%	273.0	91%	239.9	90%	235.6	91%	242.0
AA2 3	88%	266.6	89%	284.3	90%	241.4	90%	248.7
AA2 4	90%	258.9	74%	243.3	93%	224.5	93%	259.3
CA 1	69%	203.2	79%	269.7	81%	201.2	66%	215.3
CA 2	78%	200.5	90%	263.5	58%	263.4	76%	231.8
CA 3	72%	246.0	75%	301.7	78%	242.1	83%	227.6
CA 4	95%	204.8	86%	192.7	69%	226.8	68%	209.8
QA 1	80%	283.3	73%	255.0	80%	237.8	74%	310.3
QA 2	70%	258.4	43%	177.0	53%	215.9	52%	113.9
QA 3	82%	223.9	71%	240.4	78%	227.3	73%	223.9
QA 4	78%	132.3	57%	227.1	77%	208.9	71%	154.5
RB 1	95%	184.5	86%	242.2	88%	184.8	88%	169.4
RB 2	75%	142.4	73%	241.2	85%	183.8	90%	163.5
RB 3	72%	133.4	76%	180.6	79%	146.6	83%	166.0
RB 4	57%	222.7	84%	211.4	39%	230.7	80%	257.9
<b>Correlación</b>		<b>0.2007</b>		<b>0.1847</b>		<b>-0.1403</b>		<b>0.3365</b>

### 6.3.4 Interpretación final de la hipótesis 3.

Los valores del Coeficiente de Correlación entre frecuencia de los defectos de forma y productividad resultaron ser muy bajos. Este resultado demuestra que no existe una relación entre calidad del sitio (medido en productividad en volumen de madera) y la frecuencia de los defectos de forma.

Por lo tanto: se acepta el  $H_0$ : que no hay una relación entre la frecuencia de árboles de forma del fuste normal y calidad de sitio de *G. arborea*, en la zona sur oeste de Costa Rica.

Es importante resaltar los datos en dos sitios para ilustrar este resultado. El sitio AA2 tiene la productividad más alta de los sitios estudiados (255.9 m<sup>3</sup>/ha) y además presenta el más alto índice de frecuencia de forma del fuste normal (88.4%). Sin embargo, el sitio RB que tiene una frecuencia media de forma del fuste normal de 78.1% (el segundo más alto de los cinco sitios), expresa la calidad de sitio más baja de los cinco sitios con solamente 191.3 m<sup>3</sup>/ha. Estas diferencias indican que la frecuencia de árboles de forma del fuste normal no está controlada ni afectada por la productividad del sitio, sino que es controlado por otros factores aún no identificados. Estos factores pueden ser genéticos o ambientales, no relacionados directamente con productividad.

La revisión de literatura a menudo describe una alta frecuencia de árboles defectuosos en sitio de calidad pobre o con condiciones particulares, como son la frecuencias de inundaciones o poca profundidad de suelo. Sin embargo una relación directa con la productividad del sitio no fue citada. Este concuerda con los resultados de este estudio que concluye que no existe una relación directa entre productividad del sitio y la frecuencia de árboles de forma de fuste normal.

Se debe señalar que aún en los sitios de alta frecuencia de los defectos de la forma del fuste, las nuevas prácticas de manejo de los rodales de Melina en especial el raleo, permitirán el mantenimiento únicamente de árboles de forma aceptable para una eventual cosecha de turno final. En todo sitio muestreado existen suficientes árboles de forma de fuste normal para poder constituir un rodal de buena forma para el turno final, después de una intervención silvicultural.

## 6.4 Análisis de la hipótesis 4

### 6.4.1 Relación entre factor de forma y calidad de sitio

La Ho planteó: que no hay una relación entre el factor de forma de *G. arborea* y calidad de sitio por fuente de semilla en la zona sur oeste de Costa Rica.

La calidad de sitio que fue utilizada para probar la cuarta hipótesis fue productividad en Volumen Comercial de madera por bloques y fuente como se determinó en el análisis 2. La otra variable fue la conicidad definida como el Factor de Forma Cilíndrica (FFC), calculado como la relación entre volumen de fuste y el volumen de un cilindro de la misma altura y diámetro DAP (Clutter et al., 1983).

### 6.4.2 Resultados del análisis combinado del factor de forma del fuste

En el Apéndice 7 (Cuadro No. 1) se presenta la tabla de resultados para el Análisis Combinado utilizando el valor medio del factor de forma por parcela de los cuatro árboles a través de los cinco sitios. El ANDEVA comprobó la existencia de diferencias significativas al 5% entre sitios respecto al factor de forma. También se encontraron diferencias significativas al 10% entre repeticiones dentro de los sitios. Por lo tanto, el análisis combinado del factor de forma encontró que hay diferencias entre el factor de forma de *G. arborea* y calidad de sitio en la zona sur oeste de Costa Rica.

**Cuadro 13. Resultados del factor de forma por sitio y fuente de semilla**

SITIOS	H109	H141	H150	L135	Medio
AA1	0.3466	0.3318	0.3293	0.3482	0.3390
AA2	0.3555	0.3822	0.3919	0.3699	0.3749
CA	0.3733	0.3755	0.3752	0.3711	0.3738
QA	0.3447	0.4032	0.3555	0.3671	0.3680
RB	0.3807	0.3807	0.3410	0.3582	0.3670
<b>Medio</b>	<b>0.3602</b>	<b>0.3765</b>	<b>0.3586</b>	<b>0.3629</b>	<b>0.3644</b>



## Prueba de Duncan para el Análisis Combinado de Factor de Forma

### Sitio

AA1	RB	QA	CA	AA2
0.3390	0.3670	0.3676	0.3738	0.3749

Valores que comparten una línea  
no difieren significativamente al 5%

### Interpretación:

El sitio AA1 presenta un factor de forma significativamente menor (al 5%) de los demás sitios. Esto se pudiera atribuir a algún aspecto edáfico o climático del sitio. Se encontró una diferencia significativa al 10% entre fuentes de semilla. El muestreo de esta investigación permitió solamente el análisis con base a la productividad del sitio como se describe a continuación.

### 6.4.3 Análisis de parcelas divididas del factor de forma del fuste

Para el ANDEVA presentado en el Apéndice 7 (Cuadro 2) se utilizó un diseño de parcelas divididas, empleando el valor medio del factor de forma para cada par de árboles en cada parcela, los pares según su diámetro (Tamaño); mayor o menor de 20 cm de DAP. El diseño de las parcelas divididas facilitó una comparación del factor de la forma de los árboles, de cada una de estas dos clases de tamaño (mayor o menor de 20 cm DAP) para probar si la dominancia de los árboles afecta su factor de forma.

En el análisis de la hipótesis 2 (de productividad) se efectuó el mismo análisis a nivel de todos los experimentos entre bloques y fuentes, donde también se encontró diferencias significativas al 1% entre bloques. Los resultados del análisis de productividad generaron los valores de calidad del sitio para cada fuente de semilla, dentro de cada bloque. Se efectuó una correlación entre el factor de forma y su respectiva calidad de sitio para cada fuente de semilla en cada bloque (Cuadro No. 14).

#### 6.4.4 Interpretación de la correlación entre factor de forma y productividad en volumen

Los valores del Coeficiente de Correlación resultaron ser muy bajos, todos por debajo de 0.5. El resultado demuestra que no existe una relación entre la calidad del sitio (medido en productividad en volumen de madera) y el factor de forma.

Por lo tanto se acepta el  $H_0$ : que no hay una relación entre el factor de forma y calidad del sitio por fuente de semilla de *G. arborea*, en la zona sur oeste de Costa Rica.

El análisis de correlación no demuestra ninguna relación entre el factor de la forma y la calidad del sitio por fuente de semilla, sin embargo una de las fuentes mostró un resultado que se debería discutir. La fuente H150 es la única que muestra una correlación positiva entre factor de forma y calidad del sitio (una correlación positiva describe un aumento en el factor de la forma conforme aumenta calidad del sitio). Esta misma fuente también fue destacada en el análisis de productividad. A nivel de sitio se encontró diferencias significativas entre fuentes, solamente, en el sitio AA2 donde la fuente H150 fue la de menor productividad. En el análisis combinado, esta fuente de nuevo figuró como la de menor productividad a nivel de todos los sitios.

Árboles que tiene bajos valores de factor de forma, son menos deseables para el procesamiento a productos sólidos, ya que su ahusamiento es más fuerte y esto ocasiona mayor pérdida de volumen del producto final en la producción de chapas. Además las tablas producidas (especialmente de mayor longitud) tienen menor fuerza estructural debido a que la sierra corta más fibras contra el grano. Sin embargo, los ANDEVA presentados en este estudio (Apéndice 7, Cuadros 1 y 2) demuestran que la diferencia en el factor de forma entre fuentes, es solamente significativa al nivel del 10%. Además, es importante señalar que las diferencias entre los grados de ahusamiento encontradas, no cobran mucha importancia como criterio en la selección de los árboles ya que es más importante favorecer la producción en volumen.

#### 6.4.5 Interpretación final del análisis de la hipótesis 4

El ANDEVA indica que no existe diferencia significativa al 10% entre el factor de forma de los árboles de DAP mayor que 20 cm y los de menor de 20 cm DAP. Este hallazgo tiene implicaciones importantes para la estimación del volumen de árboles con las variables independientes DAP y Altura total. Al no encontrar diferencia significativa entre los tamaños de los árboles nos dice que la forma de estos se mantiene constante dentro de los rodales, para el rango de árboles muestreados. Por lo tanto, se puede esperar que una sola ecuación sea adecuada para estimar volúmenes a través del rango de diámetros utilizados en este estudio, es decir desde los 10 cm DAP hasta 38 cm DAP.

A través de la revisión de literatura se conoce que los árboles suprimidos tienen elevados valores de factor de forma. Esto se debe a que estos árboles reducen su crecimiento en el diámetro del fuste, pero mantienen su crecimiento en altura y el resultado es un aumento en el factor de forma. Es probable que el muestreo en este estudio (de árboles con DAP > 10 cm) excluyó los árboles más suprimidos y por esta razón no se pudo detectar diferencias significativas entre los tamaños de los árboles cubicados. Por lo mismo si se considera que un factor de forma alto (por ejemplo mayor que 0.4) indica que un árbol es suprimido, al no encontrar diferencias significativas entre tamaños de árboles (mayores que 10 cm DAP), se concluye que los árboles muestreados no estaban suprimidos en de los rodales en la época de estudio.

En Ston Forestal la futura práctica del raleo removerá todos los árboles suprimidos de los rodales y en esa acción reducirá el factor de forma medio de los árboles remanentes. Es de esperar que el factor de forma medio encontrado en los rodales de Melina de 0.3644 se reducirá debido a las prácticas del manejo. Estos mismos tienen como meta la concentración de producción volumétrica en madera de mayor diámetro, en el menor tiempo posible. Los árboles resultantes serán de menor factor de forma, es decir más cónicos; con un mayor grado de ahusamiento.

## **6.5 Análisis de la hipótesis 5.**

### **6.5.1 Cálculo de rendimiento de productos de *Gmelina arborea***

La información suministrada por el troceo de los árboles tumbados se utilizó para efectuar la cubicación de cada producto con la hoja electrónica (Excel versión 5). Esta calculó para cada árbol los valores de Volumen Total y Comercial, así como, los volúmenes de cada uno de los productos según sus especificaciones.

### **6.5.2 Formulación de la ecuación general para la estimación de Volumen Comercial**

La fórmula general de volumen comercial de la compañía Ston Forestal S.A. ha venido desarrollándose conforme crecen las plantaciones de Melina. En el año 1992 se produjo la primera fórmula de volumen comercial a partir de datos de árboles de 2 años de edad.

En 1994 se desarrolló una fórmula de volumen comercial a partir de datos de árboles de 3 y 4 años de edad. Los datos de los árboles de 2 años no fueron incluidos en la producción de la nueva ecuación. La razón por lo que no se puede utilizar una misma fórmula de regresión para hallar volúmenes comerciales de árboles de distintos tamaños, se debe a que el fuste puede presentar formas diferentes durante su desarrollo.

Las ecuaciones de volumen comercial existentes han sido usadas para generar tablas de volumen de dos entradas, con ambas variables independientes: DAP y Altura Total. Estas tablas presentan los volúmenes estimados por su ecuación para cada metro de Altura Total y para cada centímetro de DAP.

La ecuación de Volumen General Ston 1996 fue desarrollada por el Departamento de Investigación de Ston Forestal. Unos 90 árboles, los de la etapa 1, de este estudio fueron incluidos con el propósito de aumentar el número de árboles de tamaño superior a 25 cm DAP en la ecuación. En el desarrollo de una ecuación general de volumen es importante tener una distribución de DAP de los árboles de muestra, semejante a la de la población.

### 6.5.3 Fórmula Actual de Volumen Comercial de Ston Forestal

Los equipos de inventario forestal emplean esta ecuación para estimar volumen comercial de árboles en pie (hasta un diámetro mínimo de 8 cm sobre corteza). Se generó con una muestra de 507 árboles de *G. arborea* de 3 a 6 años de edad.

#### Ecuación de Volumen General Ston 1996

$$\text{Volumen Comercial (m}^3 \text{ astillas)*} = 0.011392(\text{DAP}) - 0.00037431(\text{DAP})^2 + 0.000029317(\text{DAP})^2(\text{Alt. total}) - 0.092244$$

n = 507; R<sup>2</sup> = 0.99; Error Estándar de la Estimación = 0.020; Significancia(ANDEVA) = p < 0.0000

\* Hasta 8 cm de diámetro sobre corteza (~7cm bajo corteza).

Fuente: Zeaser D. (1996)

La forma de la actual Ecuación de Volumen de Ston Forestal sigue el modelo número 11 del Cuadro número 4. Este fue escogido con base al ajuste de los parámetros estadísticos como se explicó en la Metodología. La tabla de Volumen Comercial basada en la ecuación Ston 1996 se encuentra en el Apéndice 8 (Cuadro No. 1).

#### Ajuste y validación

Se validó la ecuación Ston 1996 calculando el CME (Cuadrado Medio del Error) para una muestra de 30 árboles, los cuales se tumbaron y cubicaron de la misma manera que los árboles muestreados para la elaboración de la ecuación. Los árboles de validación no se incluyen dentro del conjunto de datos utilizados para la elaboración de la Tabla de Volumen. Se aceptó el modelo como válido porque el CME de la validación se aproximó satisfactoriamente al CME de la ecuación de la regresión como se muestra en el Cuadro 15.

**Cuadro 15. Validación de la ecuación general de volumen, Ston 1996.**

Juego de Datos	Error Típico	CME
Ston 1996(n = 507)	0.020	0.00039
Validación (n = 30)	0.023	0.00054

La ecuación de Volumen General Ston 1996 fue de fundamental importancia para el presente estudio, ya que fue utilizada como punto de partida para la generación de los “valores de descuento”. Estos valores incorporaron al modelo 16 (Ver Metodología) para efectuar un ajuste al valor calculado por la ecuación general, como una manera de estimar el volumen de productos en las diferentes clases de árboles.

#### **6.5.4 Formulación de ecuaciones para la estimación de Volumen de cada producto en cada clase de forma (CGFM).**

Los volúmenes observados de cada producto por árbol, se determinaron según las especificaciones de estos, indicadas en la sección de Clasificación de Uso. Se agruparon los árboles por clase de forma CGFM y se utilizó como la variable dependiente para generar ecuaciones de volumen, los volúmenes de cada producto: volumen comercial, pulpa, aserrío y lápices.

El número de árboles utilizados para generar la variable dependiente volumen dentro de una clase de forma, estuvo sujeto al número de árboles capaces de generar cada producto. Todo árbol cortado tenía volumen comercial y volumen para pulpa, pero no todos tenían volumen para aserrío y aún menos para lápices. Para generar la ecuación para la estimación del volumen de lápices se utilizaron solamente árboles que tenían volumen para este producto, igual se hizo con las ecuaciones de estimación del volumen para aserrío.

Para seleccionar la ecuación más apropiada, para la estimación de cada producto, se utilizó el mismo método usado para la selección de la ecuación general de volumen comercial, en cada clase de forma. Se encontró que, los coeficientes de determinación fueron más reducidos para las ecuaciones de volumen para lápices y aserrío, en comparación con los coeficientes que se encontraron para la estimación del volumen comercial y del volumen para astillas. Esto se debe a que los productos aserrío y lápices tienen restricciones no solamente de diámetro, sino, también de longitud y rectitud de la troza. Estas características de los productos mayores, hacen que las ecuaciones de volumen sean menos precisas en sus estimaciones, que las de volumen comercial y volumen para pulpa.

Se generaron 4 ecuaciones de volumen para cada clase de forma, que son: volumen comercial, volumen para pulpa, para aserrió y para lápices.

Es importante resaltar que las ecuaciones de volumen fueron diseñadas para rendir estimaciones precisas de volúmenes de productos a nivel de rodal y no a nivel de árbol individual. A nivel de árbol, las ecuaciones pueden dar sobre o subestimaciones moderadas, debido a la variabilidad de los productos provenientes de árboles con defectos de forma.

No obstante al sumar los volúmenes estimados se aproximan al valor real del producto por parcela o rodal, con lo que se obtienen estimaciones adecuadamente precisas para los fines del inventario forestal comercial.

#### **6.5.5 Selección de las ecuaciones de regresión por producto, Clase 1 CGFM**

A continuación se muestra gráficamente el comportamiento del conjunto de datos muestreados de la clase de forma 1 CGFM en comparación con cada ecuación seleccionada para la estimación de productos.

Los gráficos que se han presentados son: la curva de regresión ajustada (en el texto) y los gráficos de distribución de residuos estándares y el histograma de los residuos (que se encuentran en el apéndice 8). Estos gráficos fueron ploteados para cada uno de los 3 mejores modelos (según el valor de  $R^2$  y el Índice de Furnival) para cada productos, y fueron utilizados como un criterio para la selección del mejor modelo.

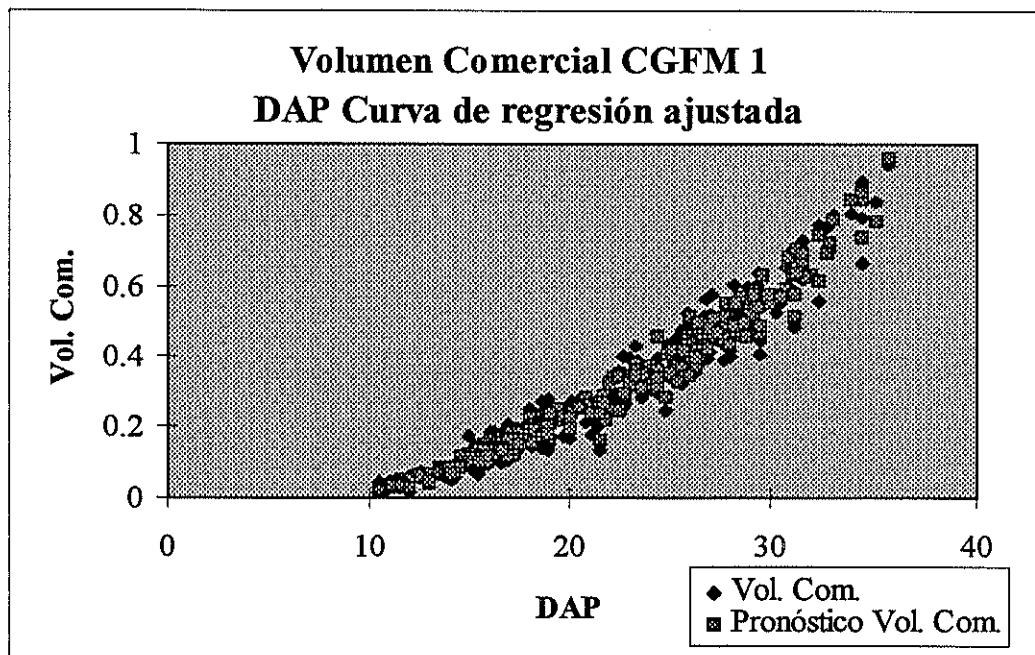
### 6.5.5.1 Volumen Comercial CGFM 1

El modelo 11 fue seleccionado para la ecuación de volumen comercial de la clase de forma 1 del CGFM. La ecuación generada fue:

$$\text{Volumen Comercial (m}^3\text{)} = 0.01165848(\text{DAP}) - 0.00041855(\text{DAP})^2 + \\ 0.00003088(\text{DAP})^2(\text{Alt. total}) - 0.10161071$$

$n = 280$ ;  $R^2 = 0.975$ ; Error Estándar de la Estimación = 0.0315; Significancia(ANDEVA) =  $p < 0.0000$

La curva de regresión ajustada comprueba que el ajuste de la ecuación de los valores observados es muy bueno. Los valores observados no salen del rango de volúmenes estimados por la ecuación. La ecuación seleccionada tiene una muy buena capacidad para estimar los valores reales de volumen comercial.



**Figura 7. Curva de regresión ajustada para volumen comercial CGFM 1**

#### Gráficos de distribución de los residuos

En el apéndice 8, cuadros 1 y 2 se encuentran los gráficos de la distribución de residuos estándares y el histograma de la misma distribución. Estos dos gráficos son de importancia fundamental en la selección de la ecuación de mejor ajuste.



### 6.5.5.2 Volumen de pulpa

El modelo 11 generó la ecuación seleccionada para este producto por presentar el mejor ajuste a los valores observados del volumen para pulpa

$$\text{Volumen de Pulpa (m}^3\text{)} = 0.01111670(\text{DAP}) - 0.00043767(\text{DAP})^2 + 0.000031810(\text{DAP})^2(\text{Alt. total}) - 0.09368520$$

$n = 280$ ;  $R^2 = 0.972$ ; Error Estándar de la Estimación = 0.0331; Significancia(ANDEVA) =  $p < 0.0000$

#### Gráficos del comportamiento de la ecuación:

La curva de regresión ajustada (Figura 8) demuestra un alto nivel de concurrencia entre los valores estimados y valores observados del volumen para Pulpa.

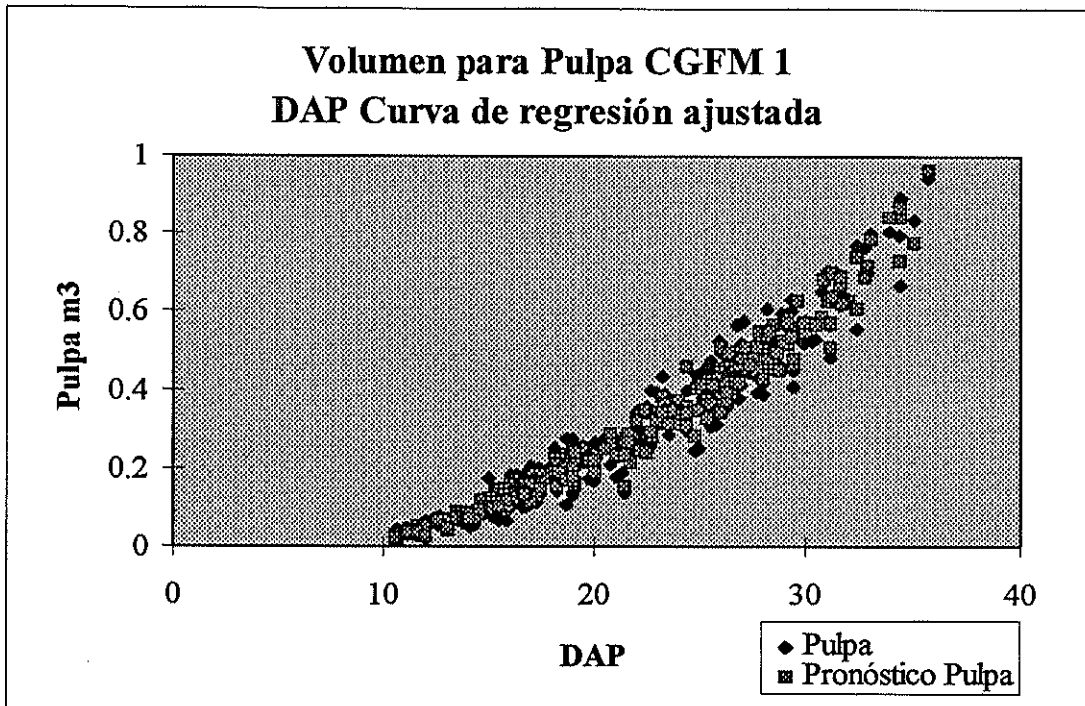


Figura 8. Curva de regresión ajustada volumen para pulpa CGFM 1

#### Gráficos de distribución de los residuos

En el apéndice 8, cuadros 3 y 4 se encuentran los gráficos de la distribución de residuos estándares y el histograma de la misma distribución. Estos dos gráficos son de importancia fundamental en la selección de la ecuación de mejor ajuste.

### 6.5.5.3 Volumen para aserrío

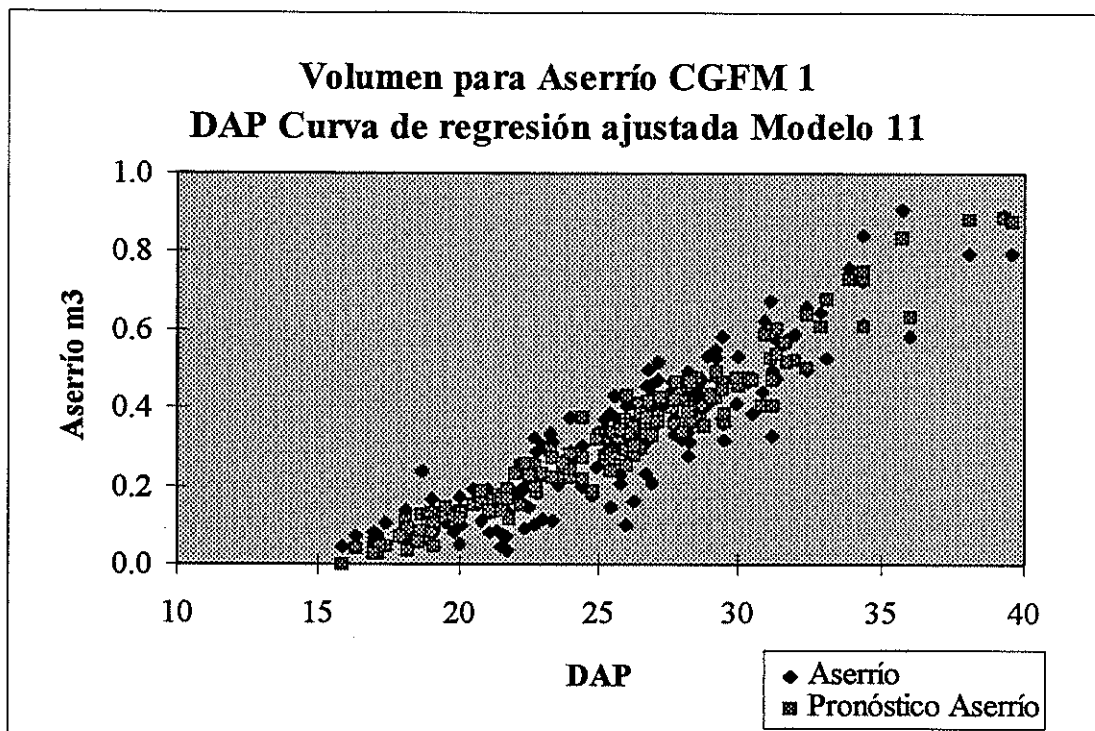
El modelo 11 también se usa para generar la ecuación del volumen para aserrío.

$$\text{Volumen para Aserrío (m}^3\text{)} = 0.03635901(\text{DAP}) - 0.00096202(\text{DAP})^2 + \\ 0.00003320(\text{DAP})^2(\text{Alt. total}) - 0.50332890$$

$n = 181$ ;  $R^2 = 0.887$ ; Error Estándar de la Estimación = 0.0638; Significancia(ANDEVA) =  $p < 0.0000$

#### Gráficos del comportamiento de la ecuación:

La siguiente curva de regresión ajustada (Figura 9) define bien la distribución de los valores observados para el volumen de aserrío, aunque la separación de puntos es más notable que la observada en las ecuaciones anteriores. Por ser un producto más exigente y sujeto a las dimensiones del fuste, esta ecuación presenta un  $R^2$  menor que las ecuaciones anteriores. Se nota que el intercepto en el eje X es de ~16 cm DAP que corresponde al árbol de menor tamaño que presenta volumen para aserrío.



**Figura 9 Curva de regresión ajustada volumen para aserrío CGFM 1**

#### Gráficos de distribución de los residuos

En el apéndice 8, cuadros 5 y 6 se encuentran los gráficos de la distribución de residuos estándares y el histograma de la misma distribución para esta ecuación.

#### 6.5.5.4 Volumen para Lápices CGFM 1

El modelo 15 tuvo el mejor ajuste entre los valores estimados y observados de volumen para lápices entre los 17 modelos probados.

$$\text{Volumen para Lápices (m}^3\text{)} = 0.04304435(\text{DAP}) - 0.00129532(\text{DAP})^2 + 0.00004314(\text{DAP})^2(\text{Alt. total}) - 0.01154732(\text{Alt. total}) - 0.41208715$$

$n = 144$ ;  $R^2 = 0.872$ ; Error Estándar de la Estimación = 0.0602; Significancia(ANDEVA) =  $p < 0.0000$

#### Gráficos del comportamiento de la ecuación:

La curva de regresión ajustada muestra bien el comportamiento de los valores observados y estimados. Como puede verse el intercepto del eje X es de 18,5 cm DAP, que es el DAP mínimo de un árbol que genera madera para lápices.

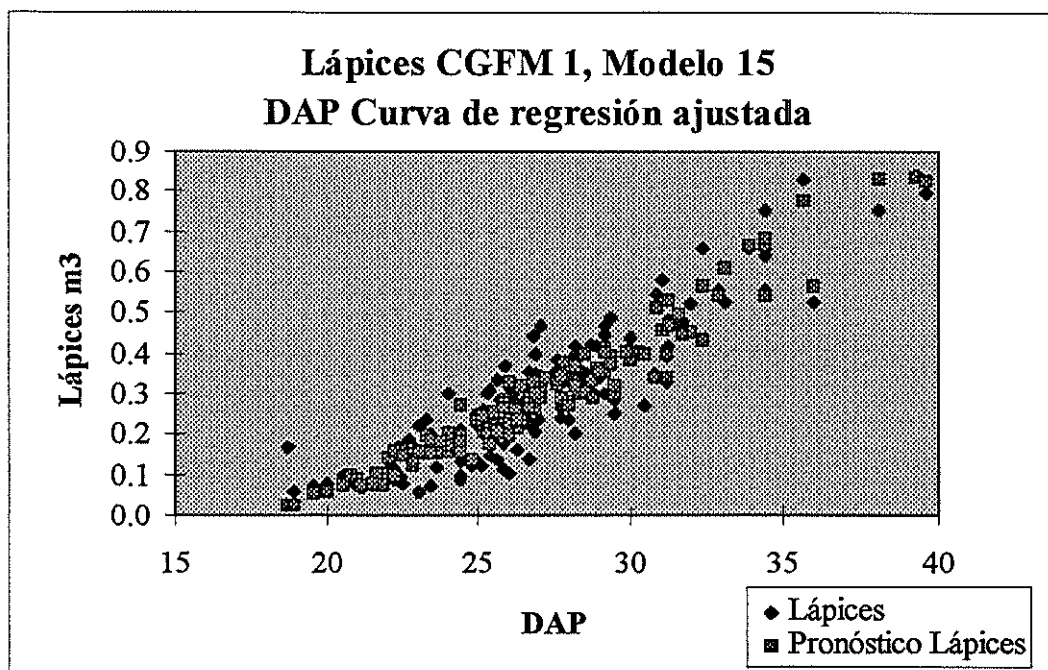


Figura 10 Curva de regresión ajustada, Volumen de Lápices CGFM 1

#### Gráficos de Distribución de los residuos

En el apéndice 8, cuadros 7 y 8 se encuentran los gráficos de la distribución de residuos estándares y el histograma de la misma distribución.

### 6.5.6 Ecuaciones de volumen para clases 2, 3 y 4 del CGFM.

Las ecuaciones seleccionadas para cada clase de forma CGFM y producto se encuentran detalladas a continuación. La selección de las ecuaciones más apropiadas para calcular los volúmenes de cada producto en de clase de forma CGFM fue efectuada utilizando la misma metodología que se presentó en la sección 6.5.5.

Primero las ecuaciones de mejor ajuste entre los 17 modelos probados fueron escogidas con base al  $R^2$ . Segundo, se ploteó los datos para cada una de las mejores ecuaciones para analizar los residuos con gráficos de la curva de regresión ajustada y Volumen Esperado vs Residuo Estándar. Estos dos gráficos permitieron la detección de puntos fugados (outliers), que se eliminaron en casos cuando fue posible definir la razón por la cual un punto salió de la tendencia normal. Por ejemplo, se eliminaron algunos árboles que presentaron pudriciones muy grandes en el fuste, situación que no se contempla dentro del sistema de clasificación de forma de fuste CGFM.

Los dos gráficos anteriores y el ploteo del histograma de los residuos estándares permitieron la identificación de sesgos en los datos, que indica una distribución no lineal. El único modelo transformado probado para las ecuaciones fue el llamado modelo Schumacher Hall, número 17 en la lista de modelos probados que se encuentra en el Cuadro No. 4. Para poder comparar el modelo transformado con los modelos no transformados se utilizó el Índice de Furnival junto con las otras variables estadísticas para la selección de ecuaciones, según la metodología de Salazar y Palmer (1985). Afortunadamente la distribución de los volúmenes para los diferentes productos resultaron, en cada caso, ser lineales, y no fue indicada la selección del modelo transformado en ningún caso.

### Clase de forma CGFM 2

Las ecuaciones de volumen de producto para CGFM 2, tienen muy buenos ajustes para los datos de los productos Volumen Comercial, Pulpa y Lápices con  $R^2$  superiores a 0.93. Esto se debe a la posición del defecto que caracteriza la clase 2 de la CGFM, es decir una bifurcación entre 33% y 80% de altura total (Fig. 3). Siendo un defecto alto la bifurcación no impacta negativamente sobre la producción de madera para lápices, porque raras veces los árboles de Melina a los 6 años han alcanzado un desarrollo suficiente en diámetro en los sectores superiores del fuste para producir madera para lápices. Sin embargo, un defecto relativamente alto si tiene un efecto fuerte sobre la producción de madera para aserrío, esto se predijo en el Cuadro 1, con base a las observaciones de investigaciones publicadas.

**Cuadro 16: Ecuaciones de Volumen CGFM 2**

Producto (m <sup>3</sup> )	Ecuación de Volumen	n	R <sup>2</sup>	D.E.
Vol. Comercial	$V = 1.15265373 (\text{Ston } 1996) - 0.03558923$	34	0.972	0.0386
Pulpa	$V = 1.14859599 (\text{Ston } 1996) - 0.03760438$	34	0.973	0.0379
Aserrío	$V = 1.13173601 (\text{Ston } 1996) - 0.16075535$	23	0.867	0.0737
Lápices	$V = 0.00076028D^2 - 0.00000157D^2H + 0.00585519H - 0.3682478$	21	0.935	0.0504

La clase de forma 2 de la CGFM que tres de las cuatro ecuaciones seleccionadas son del modelo 16, el mismo modelo que se utilizó para calcular los valores de descuento. Es probable que esto se debe a la estrecha relación entre los volúmenes comerciales de árboles CGFM 1 y los volúmenes de los productos en CFGM 2 ya que el defecto, bifurcación alta, tiene el menor efecto real sobre volumen, dado que la mayor proporción del volumen total de un árbol se encuentra en el primer tercio del fuste. También se encontró que, en juegos de datos restringidos (menos que 40) el modelo 16 (el valor de descuento) tuvo mejor ajuste que en juegos de datos más amplios.

### Clase de forma CGFM 3

La clase de defecto de forma CGFM 3 es la más común en los bosques de Melina en la zona sur oeste de Costa Rica. Tiene un efecto negativo sobre la producción de madera para lápices y madera para aserrío como se predijo en el Cuadro 1 de la revisión de literatura. A pesar de ser un defecto frecuente en los rodales de Melina su eliminación es posible con la practica de la deshija o del raleo.

**Cuadro 17: Ecuaciones de Volumen CGFM 3**

Producto (m <sup>3</sup> )	Ecuación de Volumen	n	R <sup>2</sup>	D.E.
Vol. Comercial	$V = 0.00758074D - 0.00021035D^2 + 0.00002911D^2H - 0.08551444$	64	0.944	0.0588
Pulpa	$V = 1.02442463$ (Ston 1996) $- 0.02536748$	64	0.945	0.0538
Aserrio	$V = -0.07494579D - 0.00269999D^2 + 0.00004024D^2H + 0.05037363H - 0.20988758$	36	0.797	0.0803
Lápices	$V = 0.00036860D + 0.00015884D^2 + 0.00000386D^2H - 0.03976806$	20	0.873	0.0325

Nuevamente los ajustes de las ecuaciones para Volumen Comercial y Volumen para Pulpa fueron muy buenos. No fue así para los productos mayores. El rendimiento estimado de aserrío fue más irregular entre árboles en esta clase de forma que en las demás clases. En gran medida el menor valor del R<sup>2</sup> para aserrío se debe al tamaño de muestra y la irregularidad del producto en árboles de esta clase de forma.

El juego de árboles que se usó para generar la ecuación de volumen para lápices fue bastante restringido. Esto se debe a que en muchos casos los árboles con DAP grande pero una bifurcación baja no producían madera para lápices. A menudo por debajo de la bifurcación en un árbol clase 3 no hay 2,4 m (la troza de menor longitud para lápices) de madera apto para el producto. Por arriba de una bifurcación es poco común encontrar madera que cumple con las especificaciones (en particular de diámetro) para el producto lápices. Esta ecuación no se debe aplicar a árboles si es evidente (por la posición del defecto) que el árbol no contiene madera apta para el producto lápices ya que hacerlo produciría un gran sesgo en la estimación del volumen de este.

### Clase de forma CGFM 4

La clase CGFM 4 es una clase de árbol que es muy poco común en los rodales de *G. arborea* de Ston Forestal. Situación que restringió la cantidad de árboles muestreados. Sin embargo los  $R^2$  alcanzados fueron razonables y las ecuaciones son más precisas que las actualmente utilizadas por la compañía. No se calcularon ecuaciones de volumen para aserrío ni lápices para los árboles CGFM 4, porque los árboles de esta clase de forma no generan estos productos en forma consistente.

**Cuadro 18: Ecuaciones de Volumen CGFM 4**

Producto (m <sup>3</sup> )	Ecuación de Volumen	n	R <sup>2</sup>	D.E.
Vol. Comercial	$V = 0.02109307D - 0.00081916D^2 + 0.00003821D^2H - 0.18578757$	12	0.942	0.0193
Pulpa	$V = 0.69782662$ (Ston 1996) - 0.00221450	12	0.834	0.0266

#### 6.5.7 Determinación de los productos reales de un fuste

En los casos cuando los precios de los productos presentan la siguiente tendencia:

$$\text{Madera para lápices} > \text{Madera para aserrío} > \text{Madera para pulpa}$$

y que existiera demanda suficiente para todos los productos, la utilización que maximizaría el valor de cada árbol sería:

$$\text{Volumen de Madera para Lápices} = \text{Vol.L}_{\text{ecuación}}$$

$$\text{Madera para Aserrío} = \text{Vol.A}_{\text{ecuación}} - \text{Vol.L}_{\text{ecuación}}$$

$$\text{Madera para Pulpa} = \text{Vol.P}_{\text{ecuación}} - (\text{Vol.A}_{\text{ecuación}} + \text{Vol.L}_{\text{ecuación}})$$

En donde:

Vol.P<sub>ecuación</sub> = Volumen de madera de pulpa, calculado por la ecuación de volumen.

Vol.A<sub>ecuación</sub> = Volumen de madera de aserrío, calculado por la ecuación de volumen.

Vol.L<sub>ecuación</sub> = Volumen de madera de lápices, calculado por la ecuación de volumen.

Al calcular el volumen real de cada producto es importante tomar en cuenta los volúmenes mínimos posibles (desarrollados a partir de la observación del troceo de árboles muestreados). Para lápices la troza de menor tamaño posible es de 0.0610m<sup>3</sup>, para aserrío de 0.0560m<sup>3</sup> y para pulpa(astillas) de 0.0176m<sup>3</sup>. Tomando en cuenta esta restricción, se incluyó en la hoja electrónica una condición que reduce la estimación de volumen por producto a cero, si el volumen calculado no superaba los volúmenes indicados.

#### 6.5.8 Cálculo de valores de descuento

El valor de descuento es una ecuación que describe la reducción o aumento en el volumen dado por la ecuación general, con respecto de los productos de los árboles clasificados con CGFM. El modelo de la ecuación que se utilizó fue el modelo 16:

$$\text{Modelo 16: } V = b_0 + b_1(\text{STON 1996})$$

en donde:

$$\text{Ston 1996 (Volumen Comercial m}^3 \text{ astillas)*} = 0.011392(\text{DAP}) - 0.00037431(\text{DAP})^2 + \\ 0.000029317(\text{DAP})^2(\text{Alt. total}) - 0.092244$$

n = 507; R<sup>2</sup> = 0.99; Error Estándar de la Estimación = 0.020; Significancia(ANDEVA) = p < 0.0000

\* Hasta 8 cm de diámetro sobre corteza (~7cm bajo corteza).

Fuente: Zeaser D. (1996)



Los valores de descuento seleccionados para cada producto y clase de forma CGFM están presentados en el Cuadro 19.

**Cuadro 19: Valores de descuento por clase de forma y producto**

CGFM	Producto (m <sup>3</sup> )	Ecuación de Volumen/Valor de Descuento	n	R <sup>2</sup>	D.E.
1	Vol. Comercial	$V = 1.00963016 \text{ (Ston 1996)} - 0.010994292$	281	0.97	0.0317
1	Pulpa	$V = 1.00419257 \text{ (Ston 1996)} - 0.01167910$	281	0.97	0.0338
1	Aserrio	$V = 1.00019025 \text{ (Ston 1996)} - 0.10654930$	181	0.88	0.0650
1	Lápices	$V = 0.97014146 \text{ (Ston 1996)} - 0.16423485$	145	0.86	0.0615
2	Vol. Comercial	$V = 1.15230942 \text{ (Ston 1996)} - 0.03624314$	33	0.97	0.0390
2	Pulpa	$V = 1.14836336 \text{ (Ston 1996)} - 0.03804619$	33	0.97	0.0384
2	Aserrio	$V = 1.12331834 \text{ (Ston 1996)} - 0.15443814$	22	0.86	0.0741
2	Lápices	$V = 1.13051001 \text{ (Ston 1996)} - 0.21093993$	20	0.92	0.0560
3	Vol. Comercial	$V = 1.10928332 \text{ (Ston 1996)} - 0.02381790$	64	0.93	0.0647
3	Pulpa	$V = 1.02442463 \text{ (Ston 1996)} - 0.02536748$	64	0.94	0.0538
3	Aserrio	$V = 0.79516583 \text{ (Ston 1996)} - 0.11820944$	36	0.77	0.0852
3	Lápices	$V = 0.49789772 \text{ (Ston 1996)} - 0.04800409$	24	0.54	0.0938
4	Vol. Comercial	$V = 0.90267054 \text{ (Ston 1996)} - 0.00681872$	12	0.94	0.0197
4	Pulpa	$V = 0.69782662 \text{ (Ston 1996)} - 0.00221497$	12	0.83	0.0266

Se considera que sería posible substituir la ecuación general de volumen Ston 1996, con otras ecuaciones generales para el volumen comercial de madera de Melina (hasta un mínimo de 8 cm sobre corteza), sin mayor pérdida de precisión en las estimaciones del volumen del producto de los árboles clasificados con el sistema CGFM. Estos valores de descuento posiblemente podrían ser utilizados con tablas locales de volumen, donde solo se requiere la medición de DAP para estimar el volumen comercial. Esto significaría un ahorro importante en el costo del inventario, ya que la medición de alturas no sería un requisito para la estimación de volúmenes de diferentes productos. La aplicación de los valores de descuento o las ecuaciones de volumen en sitios (o bajo condiciones de manejo) distintas a las de este estudio, requiere de una validación previa utilizando la metodología detallada en 5.13.

### 6.5.9 Validación de ecuaciones de volumen por producto

Se efectuó una corta de validación con una muestra de 15 árboles por clase de forma CGFM dando un total de 60 árboles. Los árboles fueron escogidos con base en su forma en las fincas AA1 y AA2 de Salamá. La distribución de DAP en la muestra se asemejó a la distribución de DAP que se encontró en todo el estudio.

Los valores de volumen de cada uno de los productos, lápices, aserrío y pulpa, fueron comparados con los valores estimados por las ecuaciones. Se consideró válida cada ecuación, que estimó con un buen grado de precisión el volumen observado. Para los fines del inventario forestal y de este estudio se consideró que un error de estimación de +/- 10% sería aceptable.

Los resultados de la validación se encuentran en el siguiente cuadro (No. 20). Los datos completos de la validación están en el Apéndice 8 (Cuadro 16).

**Cuadro 20 Validación de las 14 ecuaciones de Volumen por Clase de Forma y Producto**

Clase de Forma	Producto	CHI <sup>2</sup>		CME		% error de la Validación
		de tabla(5%)	Validación	Ecuación	Validación	
1	Vol. Comercial	23.69	0.0384	0.0010	0.0009	-4.2%
1	Pulpa	23.69	0.0395	0.0011	0.0010	-4.8%
1	Aserrío	23.69	0.0694	0.0041	0.0014	-7.4%
1	Lápices	23.69	0.0505	0.0036	0.0008	-3.8%
2	Vol. Comercial	23.69	0.0272	0.0015	0.0005	-2.9%
2	Pulpa	23.69	0.0266	0.0014	0.0004	-2.2%
2	Aserrío	23.69	0.1407	0.0054	0.0030	3.9%
2	Lápices	23.69	0.0560	0.0025	0.0010	13.4%
3	Vol. Comercial	23.69	0.0743	0.0035	0.0012	3.0%
3	Pulpa	23.69	0.0924	0.0029	0.0012	0.4%
3	Aserrío	23.69	0.2655	0.0065	0.0032	6.6%
3	Lápices	23.69	0.4317	0.0011	0.0032	40.3%
4	Vol. Comercial	23.69	0.0773	0.0004	0.0007	6.7%
4	Pulpa	23.69	0.0830	0.0007	0.0005	-7.2%

### 6.5.9.1 Resultados de la Validación

Todas las sumas de valores de  $\text{Chi}^2$  resultaron menores que el valor de tabla. Así se concluye que los valores estimados por cada uno de los modelos no variaron en manera estadísticamente significativa de los valores observados.

En cada caso los valores de CME de validación y ecuación se asemejan. En pocos casos el valor del CME de la validación excedió al de la ecuación. Como conclusión general de las comparaciones de valores de CME se considera que el ajuste fue aceptable y hasta muy bueno, dependiendo de la ecuación.

Finalmente, se calculó el error en estimación, que se encontró en el rango de -7.4% hasta +40.3%. La mayoría se encontraron entre +/-10% de los valores estimados por las ecuaciones de regresión, lo que representa una variación bastante aceptable para los fines de inventario forestal. La validación de la ecuación de volumen de lápices para clase de forma 3 CGFM, presentó un +40.3% de diferencia entre volumen estimado y volumen observado. Este grado de diferencia es poco aceptable para la estimación de volumen de este producto. Se puede decir que el ajuste de la ecuación del volumen para lápices de CGFM 3 es pobre, pero que las demás ecuaciones son válidas para los fines de inventario forestal comercial.

Como resultado de la validación se rechaza la  $H_0$ : no es posible estimar el rendimiento de productos de *G. arborea* con defectos de forma de fuste a través de inventarios precosecha, en la zona sur oeste de Costa Rica.

El sistema de inventario precosecha desarrollado en este estudio dio excelentes estimaciones de volúmenes comercial en su validación, excepto en las ecuaciones para lápices en las clases 3 y 4 de la CGFM. El uso de las dos ecuaciones mencionadas debe hacérselo con mucha cautela, ya que en la validación sus estimaciones tuvieron un margen de error demasiado grande, como para poder garantizar que las estimaciones de volumen para estos productos sean fieles. La metodología permite buenas estimaciones de volumen para 4 productos, de 4 clases de forma del fuste (con las excepciones mencionadas anteriormente) a través de la generación de una ecuación de volumen para cada producto en cada clase de forma. Su habilidad de estimar volúmenes de productos para árboles con defectos, es superior a la precisión de sistemas similares citados en la literatura. Por lo tanto será una herramienta importante en la planificación del manejo y cosecha de las plantaciones de Melina en la zona sur oeste de Costa Rica.

### **6.5.10 Aplicación de las ecuaciones en el inventario comercial**

En el inventario precosecha es necesario tomar la altura total y DAP para cada árbol. En adición a estos valores, para aplicar las ecuaciones desarrolladas en este estudio se debe anotar la forma de cada árbol según CGFM. La forma del árbol define las ecuaciones apropiadas para la determinación de volumen de los productos. La intensidad de muestreo no tiene que superar la intensidad aplicada anteriormente. La estratificación de la plantación con base en la frecuencia de defectos de los fustes es de suma importancia, para asegurar que las estimaciones de volúmenes de productos mantengan su validez a nivel del rodal.

Para aprovechar al máximo la utilidad de estas ecuaciones se deben desarrollar metodologías más exactas de muestreo para el inventario. Uno de los mayores beneficios de este sistema de inventario es que sólo se necesita tomar los datos de una variable adicional que es, la forma del árbol según CGFM, a diferencia de los inventarios rutinarios que no lo hacen. Por lo tanto, el aumento en los costos para la aplicación de este sistema será insignificante en comparación con la utilidad de la información brindada sobre la mezcla de productos del rodal.

### **6.5.11 Tablas de volumen de cada producto para las cuatro clases CGFM**

Las 14 ecuaciones validadas se usaron para generar tablas de volumen de doble entrada (DAP y altura total). Estas tablas se encuentran en el Apéndice 8 (Cuadros del 9 al 23).

Estas tablas permitirán a cualquier productor de Melina (cuyo rodal presenta las mismas condiciones que los de este estudio) estimar con un alto grado de certeza los volúmenes de madera para cada producto disponible antes de la cosecha. Las tablas son muy fáciles de usar y pueden ser aplicadas con un mínimo de entrenamiento. Además, no demandan el uso de caros instrumentos silviculturales ni de una habilidad matemática desarrollada. Este tipo de conocimiento da al productor la capacidad de saber el rendimiento de diferentes productos, lo que le permitirá buscar el mejor uso para el recurso maderable y obtener su valor máximo.

Para los fines de un inventario comercial de una compañía grande, es más probable que las ecuaciones sean aplicadas en una hoja electrónica. Esta escogería las ecuaciones apropiadas para la estimación de volúmenes comerciales con base a la clase de forma. Los únicos datos que se requerían tomar en el campo son: DAP, altura total y clase de forma CGFM. La generación de una hoja práctica, fácil de entender y utilizar en el campo o en la oficina, sería una herramienta útil para el cálculo de volúmenes de productos y conservaría el mayor grado de precisión posible en el inventario precosecha.

## VII Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye:

1. La metodología empleada en las diferentes etapas del estudio fue adecuada para detectar la existencia de diferencias entre las fuentes de semilla probadas por medio de las variables analizadas: frecuencia de árboles de forma de fuste normal, factor de forma cilíndrico y productividad.
2. Entre las fuentes de semilla estudiadas no existen diferencias en la frecuencia de árboles con forma de fuste normal.
3. La frecuencia de árboles con forma de fuste normal no tiene relación directa con la calidad de sitio medido en productividad ( $m^3/ha$ ) hasta los seis años. La frecuencia de defectos de forma tendría que estar ligado a algún factor ambiental o genético aún no identificado.
4. Existe una diferencia significativa en productividad entre las fuentes estudiadas; las de mayor productividad fueron H109 y H141, de Pilangosta y Liberia respectivamente y las de menor productividad fueron H150 y L135, de Colorado de Abangares y Bananito. Las diferencias en productividad entre fuentes justificaron la práctica de utilizar múltiples fuentes de semilla para establecer las plantaciones en Ston Forestal.
5. El sistema de clasificación de la forma del fuste CGFM es valioso porque separa el rodal en clases de árboles. Dentro de cada clase, la variabilidad de rendimiento es menor, hecho que permite mejores estimaciones de volumen de diferentes productos con ecuaciones de regresión.
6. La intensidad del muestreo de los árboles en cada clase de forma fue adecuada para la generación de ecuaciones de volumen, con la excepción de la clase 4 CGFM, donde la muestra fue restringida. Se tomaron pocas muestras de árboles de esta clase de forma debido a que hay una frecuencia muy baja de éstos en los rodales de Melina.

7. Los modelos empleados para determinar cada ecuación de volumen describen adecuadamente el comportamiento de las variables independientes (DAP y altura total) y dependientes (volumen de producto) para esta especie.
8. Los  $R^2$  obtenidos fueron casi sin excepción muy altos, describiendo fuertes tendencias lineales en la estimación de volúmenes con base en las variables DAP y altura total.
9. Se determinaron un total de 14 ecuaciones de volumen para los productos: volumen comercial, volumen para pulpa, aserrío y lápices, cubriendo las diferentes clases de forma CGFM. Para la clase 4 CGFM (árboles sin dominancia apical o muy retorcidos) no se pudo determinar ecuaciones de volumen para aserrío ni lápices, debido a que estos árboles no generaron en forma consistente estos productos.
10. Las ecuaciones de estimación de volumen generadas para cada producto son inclusivas, estiman el valor máximo del producto según sus especificaciones. Por eso una sección del fuste puede ser atribuida a varios productos según sus especificaciones. Por diferencias entre las ecuaciones del volumen correspondientes, se pueden calcular los volúmenes reales de cada producto, restando el valor de los productos mayores. Este sistema de ecuaciones permite más flexibilidad en la asignación del producto bajo posibles cambios en precios y demanda del mercado.
11. Se determinaron 14 “Valores de Descuento” que eficientemente estimaron los rendimientos de diversos productos, efectuando un ajuste al volumen estimado por la ecuación general para volumen comercial.
12. No hay diferencias significativas entre el factor de forma de árboles de 10 a 20 cm DAP comparados con los de 20 a 38 cm DAP. Dado que el factor de forma no varió con el DAP en los árboles muestreados, se consideran aplicables las ecuaciones de volumen generadas a través del rango de DAP mencionado.
13. No se encontró una relación entre factor de forma y calidad de sitio expresado en  $m^3/ha$ , por lo que las ecuaciones de volumen generadas son válidas para todos los sitios muestreados.

14. El efecto, de defectos de forma del fuste sobre rendimiento de productos valiosos como son la madera para aserrío y lápices es negativo, además la presencia de defectos ocasiona mayores costos de aprovechamiento y troceo.
15. La validación mostró que la estimación de volúmenes de productos con restricciones en longitud y calidad de troza, como en el caso del volumen para lápices de las clases de forma CGFM 3 y 4, se dificulta debido a la naturaleza del producto.

## 7.2 Recomendaciones

1. Utilizar el sistema CGFM para la clasificación de forma del fuste de Melina en inventarios precosecha, debido a su efectividad para clasificar las diferentes formas de los árboles según sus efectos sobre volúmenes comerciales.
2. Se recomienda el uso de las fuentes mejoradas de semilla de *G. arborea* producidas por la compañía Ston Forestal, para permitir el máximo rendimiento de madera comercial en las plantaciones.
3. Se recomienda validar las ecuaciones de volumen generadas para productos, en otras localidades donde hay plantaciones de Melina.
4. Probar el ajuste de los valores de descuento para cada producto en cada clase de forma del fuste en otras localidades, sustituyendo la ecuación general Ston 1996 con la ecuación general local.
5. Se requiere más investigación acerca del producto lápices para los árboles de clase de forma 2 y 3, con el fin de desarrollar ecuaciones apropiadas para la estimación de volumen del producto.
6. Es conveniente profundizar las investigaciones sobre las causas de los defectos de forma del fuste de *G. arborea* para evitar o remediar estas condiciones.
7. El manejo y en especial el raleo es el método más eficiente para la eliminación de árboles con defectos de forma del fuste del rodal.

## VIII. Referencias

- Amateis R.L. and Burkhart H.E. (1987) Tree Volume and Taper of Loblolly Pine Varies by Stand Origin. *Southern Journal of Applied Forestry* Vol. 11 pp. 185-189.
- Avery T.E. and Burkhart H.E. (1983) *Forest Measurements* 3rd Ed. McGraw-Hill pp. 331.
- Awang K. and Amran M. (1984) Initial performance of *Gmelina arborea* Roxb. and *Acacia mangium* Willd. under plantation conditions. *The Malaysian Forester* Vol. 47, No. 4 pp. 255-262.
- Basurco F. (1973) Apuntes de dasometría. Proyecto PNUD/FAO/COL/65/516. Medellín, Colombia, Centro de Publicaciones Universidad Nacional. pp. 121.
- Biging G.S. (1984) Taper Equations for Second-Growth Mixed Conifers of Northern California. *Forest Science* Vol. 30 pp. 1103-1117.
- Briggs D.G. (1992) How to predict future log grades and product value. In Lund, H. Gyde et al. *Stand Inventory Technologies 92; Proceedings of the Stand Inventory Technologies: An International Resource Conference*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, USA. pp. 376.
- Brown A.G. and Miller R.G. (1975) Effect of sweep on sawn recovery from Radiata Pine logs. *Australian Forestry Research* Vol. 7, pp. 29-39.
- Bruce D., Curtis R.O. and Vancoevering C. (1968) Development of a System of Taper and Volume Tables for Red Alder. *Forest Science* Vol 14, No.3, pp. 339-350.
- Bruce D. (1972) Some Transformations of the Behre Equation of Tree Form. *Forest Science* Vol. 18, No.2, pp. 164-166.
- Cancino C.J. (1993) Modelo optimizador de trozado de árboles basado en funciones de ahusamiento y programación dinámica. Tesis de Mag Sc. CATIE, pp. 230.
- CATIE (1986) *Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central*. Serie Técnica, Informe Técnico No. 86 pp 219.
- Claughton-Wallin H. (1918) The absolute form quotient. *Journal of Forestry* (EE. UU.) 16(5) : 523-534.
- Clutter J.L., Fortson J.C., Pienaar L.V., Brister G.H. and Bailey R.L. (1983) *Timber Management - A quantitative approach*. John Wiley and Sons, New York pp. 333.



- Cown D.J., McConchie D.L. and Treloar C. (1984) Timber recovery from pruned *Pinus radiata* butt logs at Mangatu: Effect of log sweep. *New Zealand Journal of Forestry Science* Vol. 13, No. 1, pp. 109-123.
- Deadman M.W. y Goulding C.J. (1979) A method for assessment of recoverable volume by log types. *New Zealand Journal of Forestry Science*. Vol. 9 No. 2, pp. 225-239.
- Duff G. (1956) Estimation of volume of forked trees in exotic coniferous stands in New Zealand. *Forest Research Notes*. No. 6, 10 pp.
- Eng G., Daellenbach H.G. and Whyte A.G.D. (1986) Bucking Tree-length stems optimally. *Canadian Journal of Forestry Research* Vol. 16, pp. 1030-1035.
- Evans J. (1982) *Plantation forestry in the tropics*. Clarendon Press, Oxford, Great Britain pp 472.
- FAO (1995) *State of the Worlds Forests*. FAO, Ords and Publications Oxford, U.K. pp 48
- Farrar R.M.Jr. (1987) Stem-profile functions for predicting multiple-product volumes in natural Longleaf Pines. *Southern Journal of Applied Forestry* Vol. 11 No. 3 pp. 161-167.
- Freese F. (1978) Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. *Manual de Agricultura Núm. 317*. Servicio Forestal. Departamento de Agricultura de los EE. UU. de A. pp. 101.
- Furnival G.M. (1961) An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* Volume 7, No. 4 pp. 337-341.
- Galloway G., L. Ugalde A. and W. Vasquez. (1995). Management of tropical plantations under stress. Paper presented at the 20th IUFRO World Congress. August 6-12, Tampere, Finland.
- Garland J., Sessions J. and Olsen E.D. (1989) Manufacturing logs with computer-aided bucking at the stump. *Forest Products Journal* Vol. 39 No. 3 pp. 62-66.
- Geerts J.M.P. and Twaddle A.A. (1985) A method to assess log value loss caused by cross-cutting practice on the skidsite. *New Zealand Journal of Forestry* Vol. 29, No. 2 pp. 173-184.
- Genys J.B. (1981) Diversity among progenies of selected phenotypes of yellow birch. In proceedings of the Second North Central Tree Improvement Conference, Lincoln, Nebraska, 1981 pp. 106-110.
- Greaves, A. (1981) *Gmelina arborea*. Annotated Bibliography No. F 20, CAB, Oxford pp 20.
- Heiner H. (1995). International Forests, How they affect the United States. *Journal of Forestry*. October. pp. 7-11.

- Holdridge L.R. (1979) Ecología; basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez Saa. Ed. rev. San José, Costa Rica, IICA. pp. 216.
- Johnson F.A. and Hartmann G.B.Jr. (1972) Fall, Buck, and Scale Cruising. Journal of Forestry. September 1972 pp. 566-568.
- Laarman J.G. and Sedjo R.A. (1992) Global Forests - Issues for six billion people. McGraw-Hill New York. pp. 337.
- Lamprecht H. (1990) Silvicultura en los trópicos. Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, República Federal de Alemania. pp 335.
- Larson P.R. (1963) Stem Form Development of Forest Trees. Forest Science Monograph No. 5 pp. 42.
- Lega Rounda F.F. (1988) Estudio de la forma de *Gmelina arborea* (Roxb.) análisis de las plantaciones de Manila, Siquirres. Tesis de Maestría UCR/CATIE, Turrialba Costa Rica pp 146.
- Max T.A. and Burkhart H.E. (1976) Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations. Forest Science Vol. 22 No. 3 pp. 283-289.
- Meza Montoya A. (1995) Modelos de Integración Bosque Industria - Basados en plantaciones forestales de medianos y pequeños reforestadores en Costa Rica. Memoria Seminario Taller, ITCR, Cartago, Costa Rica. pp. 102.
- Miller R.G. (1975) Visual assessment of stem straightness in Radiata pine. Australian Forestry Research Vol. 7, pp. 45-46.
- Monserud, R.A. (1981) Estimating truncated tree volumes with Behre hyperboloid and existing total volumen equations. Forest Science Vol. 27(2) pp. 253-265.
- Muir N.G. (1996) Un sistema simplificado para la clasificación de la forma del fuste en *Gmelina arborea*. Inedito
- Murillo O. y Valerio J. (1991) Melina: *Gmelina arborea* Roxb., Especie de árbol de uso multiple en America Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE pp. 72.
- O'Laughlin J. y Messina M.G. (1988) Swedish forestry and forest policy. Journal of Forestry. July. pp. 17-26.
- Otegbeye G.O. and Samarawira I. (1992) Correlations of growth and form characteristics of *Eucalyptus camadulensis* Dehnh. provenances in northern Nigeria. Forest Ecology and Management No. 50 pp. 275-285.

- Pearce S.C. (1983) *The Agricultural Field Experiment - A statistical examination of theory and practice.* John Wiley and Sons pp. 335.
- Pechmann H. Von (1969) [The influence of heredity and environment on the foundation of reaction wood] *Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereims.* No. 46, pp. 159-169.
- Pnevmaticos S.M. and Mann S.H. (1972) Dynamic programming in tree bucking. *Forest Products Journal* Vol. 22 No. 2 pp. 26-30.
- Rose D.W. and Ugalde A., L. (1988) Data base management applications in forestry research, An international workshop. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 102.
- Rustagi K.P. and Loveless R.S. (1990) Improved cubic volume prediction using a new measure of form factor. *Forest Ecology and Management* Vol. 40, pp.1-11.
- Salazar R. y Palmer H.J. (1985) Tablas de volumen para *Gmelina arborea* Roxb. en Manila de Siquirres, Costa Rica. *Turrialba* Vol. 35, No. 4, pp. 425-433.
- Sedjo R.A. (1987) Forest resources of the world: Forests in transition. In *The global forest sector: An analytical perspective*, eds M. Kallio, D.P. Dykstra, C.S. Brinkley. London and New York. Wiley Interscience.
- Sedjo R.A. and Lyon K.S (1992) *The long-term adequacy of the world timber supply.* Washington D.C. Resources for the future.
- Sessions J., Olsen E. and Garland (1989) Tree Bucking for Optimal Stand Value with Log Allocation Constraints. *Forest Science* Vol. 35, No. 1 pp. 271-276.
- Steel R.G.D. y Torrie J.H. (1988) *Bioestadística: Principios y Procedimientos.* 1º edición en Español pp. 622.
- Torres Córdoba G., Luján F., R y Pineda V., M. (1995) *Diagnostico técnico del proceso de producción forestal en plantaciones de pequeña escala en Costa Rica.* Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, pp. 106.
- Vásquez C., W. y Ugalde A., L. (1995). Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Serie Técnica. Volumen Técnico No. 256. Madeleña-3 (CATIE). pp. 33.
- Verwijst T (1988) Environmental correlates of multiple-stem formation in *Betula pubescens* ssp. *tortosa*. *Vegetatio* No. 76 (1-2) pp. 29-36.
- Walpole R.E. (1974) *Introduction to Statistics.* 2nd ed. Macmillan Publishing New York. EEUU pp.340.

- Wong C.Y. and Jones N. (1986) Improving tree form through vegetative propagation of *Gmelina arborea*. Commonwealth Forestry Review Vol 65, No. 4 pp.321-324.
- Zeaser D. (1996) Tabla de Volumen Comercial, Melina hasta 6 años edad. Investigación y Desarrollo, Ston Forestal. pp 1.
- Zeaser D. (1995) Conceptos generales sobre la selección de sitios para plantar melina (*Gmelina arborea*) en el sur de la provincia de Puntarenas. Reporte 24.95. Departamento de Investigación y Desarrollo. Ston Forestal. pp 4.
- Zeaser D. (1994) Volume Table, Research and Development, Ston Forestal. Report No. 19.94 pp 9.
- Zeaser D. (1993) Evaluación de árboles de Melina, Departamento de Investigación y Desarrollo, Ston Forestal S.A. pp.2.
- Zeaser D. y Murillo R. (1992) Evaluación de los factores edáficos limitantes al crecimiento temprano de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.), plantado en suelos inceptisoles en la Región Brunca de Costa Rica. Nota Técnica 4. Ston Forestal. pp. 3.

# Apéndices

## Apéndice 1

Evaluación de árboles de Melina. Clasificación de Forma, Sistema "DANIDA" modificado por Zeaser D. (1993), Departamento de Investigación y desarrollo, Ston Forestal S.A.

STON FORESTAL S.A., DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO, 1993

### EVALUACION DE ARBOLES DE MELINA

1. DOMINANCIA DEL EJE: 1 (peor) hasta 7 (mejor); ver figura 1.
2. ALTURA DE BIFURCACION (RAMAS GROSAS VIVAS): 1 (peor) hasta 9 (mejor) ver figura 2
3. FRECUENCIA DE BIFURCACION:
 

7 - sin bifurcación
6 - 1 bifurcación
5 - 2        "
4 - 3        "
3 - 4        "
2 - 5        "
1 - 6 ó más bifurcaciones

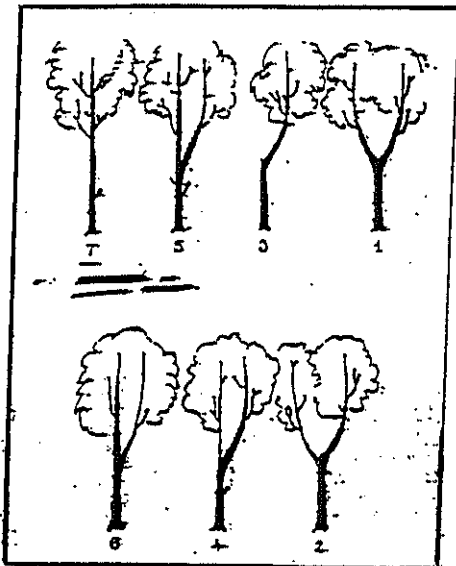


FIGURA 1



FIGURA 2

4. CALIDAD DEL FUSTE: (Apreciación del árbol entero)

#### ARBOLES CON FUSTES RECTAS:

Año que hay defectos menores, es muy evidente que el árbol demuestra una tendencia marcada para producir un fuste recto.

Fuste y ramas rectas; -----	9
y libre de defectos	
Similar al anterior, pero con algunos defectos -----	8
Peor que anterior -----	7

#### ARBOLES CON FUSTES ACEPTABLES:

Arboles aceptables para aprovechamiento para madera pero que tienen fustes ligeramente hasta moderadamente torcidos.

Enfite Libre de -----	6
torceduras abruptas pero con ligera sinuosidad	
Similar al anterior, con curvas más pronunciadas -----	5
Peor que el anterior con torceduras abruptas y curvas más pronunciadas -----	4

Apéndice 1 continua

Evaluación de árboles de Melina. Clasificación de Forma, Sistema "DANIDA" modificado por Zeaser D. (1993), Departamento de Investigación y desarrollo, Ston Forestal S.A.

ARBOLES CON FUSTES NO ACEPTABLES

Los árboles en este grupo poseen fustes muy torcidos ó simosidad pronunciada, que afecta el mayor parte de las fustes ó ramas.

Mejor que el árbol a ..... 3  
continuación (2)  
Mejor que el árbol a ..... 2  
continuación (1)  
Árbol completamente ..... 1  
torcida, simoso (poco común)

5. OBSERVACIONES SOBRE EL FUSTE: B - Torcedura en el parte basal del fuste  
C - Fuste con curvatura que extiende sobre el mayor parte.

6. SANIDAD: 1 - árbol atacado por ambos insectos y enfermedades  
2 - árbol atacado por insectos ó enfermedad  
3 - árbol sano

7. OBSERVACIONES SOBRE SANIDAD: I - árbol atacado por insectos  
E - árbol atacado por enfermedad

EJEMPLO:

EVALUACION DEL ARBOL EN FIGURA 2:

1. DOMINANCIA DEL EJE: 5
2. ALTURA DEL BIFURCACION: 4
3. FRECUENCIA DE BIFURCACION: 4
4. CALIDAD DEL FUSTE: 8

EVALUACION DEL ARBOL EN FIGURA 3

1. DOMINANCIA DEL EJE: 1
2. ALTURA DEL BIFURCACION: 2
3. FRECUENCIA DE BIFURCACION: 3
4. CALIDAD DEL FUSTE: 4

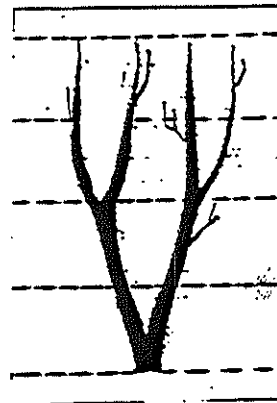


FIGURA 3

STON FORESTAL S.A., DEPT. DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

PAGINA 1 DE 36

ENSAYO: ROBLES 98  
FINCA: APT. BLOQUE I

RODAL: 10

FECHA: 15/6/01

HECHOS POR: DFE, DM

NU.	dap	alt	RODAL		frec./ bifurca.	calidad/ fuste	observ. fuste	sanidad	observ. sanidad	muestrear saderal	densidad
			1 domin. del eje	2 altura/ ramas							
1	17	17	5	4	4	B	—	3	—	—	—
2	16	18	1	2	3	A	C	3	—	—	—
3	15	18	7	7	2	D	—	3	—	56	0.35
4	16	19	2	4	—	D	BC	2	I	—	—

## APÉNDICE 2

### ENSAYO DE PROCEDENCIAS

#### HOJA DE DATOS

Distribución de DAP y Clases de Forma (CGFM) por Parcela

Sitio: **RB** Fuente de Semilla: **L135** Bloque: **3**

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	28.5	21.6	19.8	19	16.2	X	18.1	14.3	X
	3	1	1	1	3		1	1	
2.	19.1	20.5	24	17.3	X	15.9	11	12.3	26.3
	1	1	1	1		3	1	1	2
3.	18.3	28	12.6	13	24	10.1	20	X	X
	1	1	1	1	1	3	3		
4.	X	26	22.9	17.3	29.5	13.3	25	10.5	16
		1	1	1	1	4	1	4	1
5.	23.1	12.8	14	X	16.2	21.3	12.5	26.9	15.6
	1	1	1		1	1	2	1	1
6.	19.2	15.7	19.5	13.1	11.1	10	21.9	10.3	15.4
	1	1	1	3	3	1	1	1	1
7.	14.4	3.5	24	26.3	9.2	23.1	X	11.6	11.2
	3	1	1	1	1	3		1	1
8.	29.6	29.3	11.4	23.3	16.6	12.6	21	18.8	X
	2	1	1	1	1	1	1	1	
9.	23.4	18	13.9	10	14.9	16.4	14.4	13.3	10
	1	1	1	4	1	1	1	1	3



DAP (Diámetro Altura de Pecho) en cm al milímetro más cercano  
Clase de Forma CGFM

# Poste de Identificación de Parcel; Posición para empezar mediciones

#### OBSERVACIONES

Se toman los datos de todos los 81 árboles por parcela (incluyendo los bordes) porque así el investigador puede ubicarse dentro de la parcela con más facilidad, tomando como referencia los árboles pintados que están ubicados en las esquinas

# Apéndice 3

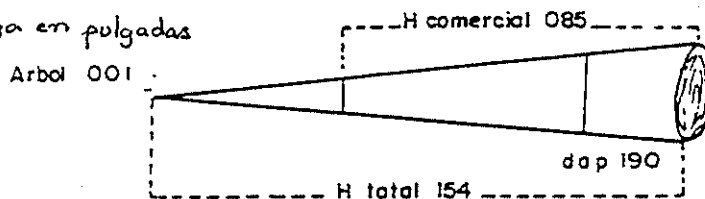
## Formulario 7/1 del sistema MIRA desarrollado para la toma de datos de cubicación de árboles

### FORMULARIO PARA MEDICIÓN DE ARBOLES EN SECCIONES PARA ELABORAR TABLAS DE VOLUMEN

CATIE Form 7/1  
DRNR rev. julio 84

Columnas	Casilla	Registro	0 = datos del árbol entero ; instrucciones al dorso
01 - 03	1	Registro 1, 2, 3... en adelante = datos por traza o sección, en tríos de AR/dcc/dsc Use un registro para cada eje o rama. Un eje puede ocupar más que una hilera de casillas, si tiene más de 5 tríos de mediciones.	
04 - 06	2	Altura (dm) relativa de la primera traza (000 cuando es la base) (altura relativa es la altura en relación a la base del eje o rama actual, y no necesariamente en relación a la base del árbol)	
07 - 09	3	Diámetro con corteza (mm), a la altura de la primera traza. Diámetro 000 indica ápice del eje	
10 - 12	4	Diámetro sin corteza (mm) a la altura de la primera traza (si mide el grosor de corteza, multiplíquelo x 2 y el resultado restelo del diámetro con corteza), u opción de grosor de corteza.	
13 - 15	5	Altura hasta la segunda traza (acumulativa)	
16 - 18	6	Diámetro con corteza a la altura de la segunda traza	
etc.		Diámetro sin corteza a la altura de la segunda traza etc.	

Nota: grosor de corteza en pulgadas



Sitio AA 1  
Fuente H150  
Bloque 2

Hoja \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Columna	01-03	04-06	07-09	10 - 12	13-15	16 - 18	19-21	22-24	25-27	28-30	31-33	34-36	37-39	40-42	43-4
Casilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
empleo	Arbol Nº 001	dap 190	h total 154	Nº tríos 004 en total	h. comerc. 085	Nº ejes	Nº tríos 1er. eje	Nº tríos 2º eje	Nº tríos 3er. eje						
Registros	000 h	Primer trío 250 dcc	214 dsc	Segundo trío 039 h	160 dcc	132 dsc	085 h	Tercer trío 100 dcc	084 dsc	154 h	Cuarto trío 000 dcc	000 dsc			
0	409	16.6	168												
1	000	199	.55	010	140	.375	013	137 093		020	123	.25	030	117	.235
	040	110	.19	050	108	.19	060	101	.175	070	100	.20	080	090	.20
	090	086	.18	095	080	.17									
	000	095	.28	010	090	.22	020	086	.21	026	080	.19			



## Apéndice 4

**Análisis de la hipótesis 1:** Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Cuadro 1a** Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio AA1

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	72	77	70	80	299	74.75
H 141	78	86	90	76	330	82.5
H 150	82	88	45	80	295	73.75
L 135	91	84	80	68	323	80.75
<b>Total (Y.j)</b>	323	335	285	304	1247	
<b>Medio(Y.j)</b>	80.75	83.75	71.25	76		77.94

## Cuadro 1b

Tabla de ANDEVA nivel de experimento

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	360.7	120.2	0.87	2.81	3.86
Fuentes de Semilla	3	225.7	75.2	0.54	2.81	3.86
Error (B*F)	9	1248.6	138.7			
<b>TOTAL</b>	15	1834.9				

### Interpretación:

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla ni bloques para el sitio AA1.

Se acepta el  $H_0$ : que no hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *G. arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

## Apéndice 4, Cuadro 2a

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio AA2**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	85	92	88	90	355	88.75
H 141	89	91	89	74	343	85.75
H 150	83	90	90	93	356	89
L 135	86	91	90	93	360	90
<b>Total (Y.j)</b>	343	364	357	350	1414	
<b>Medio(Y.j)</b>	85.75	91	89.25	75.5		88.38

## Cuadro 2b

**Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	61.3	20.4	0.79	2.81	3.86
Fuentes de Semilla	3	40.3	13.4	0.52	2.81	3.86
Error (B*F)	9	232.3	25.8			
<b>TOTAL</b>	15	333.8				

### Interpretación:

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla ni bloques para el sitio AA2.

**Se acepta el Ho:** que no hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *Gmelina arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

### Apéndice 4, Cuadro 3a

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio CA**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	69	78	72	95	314	78.5
H 141	79	90	75	86	330	82.5
H 150	81	58	83	69	286	71.5
L 135	66	76	83	68	293	73.25
<b>Total (Y.j)</b>	295	302	308	318	1223	
<b>Medio(Y.j)</b>	73.75	75.5	77	79.5		76.44

### Cuadro 3b

**Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	71.2	23.7	0.22	2.81	3.86
Fuentes de Semilla	3	302.2	100.7	0.93	2.81	3.86
Error (B*F)	9	974.6	108.3			
<b>TOTAL</b>	15	1347.9				

#### Interpretación:

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla ni bloques para el sitio CA.

**Se acepta el Ho:** que no hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *Gmelina arborea*

## Apéndice 4, Cuadro 4a

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio QA**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	80	70	82	78	310	77.5
H 141	73	43	71	57	244	61
H 150	80	53	78	77	288	72
L 135	74	52	73	71	270	67.5
<b>Total (Y.j)</b>	307	218	304	283	1112	
<b>Medio(Y.j)</b>	76.75	54.5	76	70.75		69.5

## Cuadro 4b

**Tabla de ANDEVA Nivel de Experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					5%	1%
Bloques	3	1285.5	428.5	20.3	3.86	6.99*
Fuentes de Semilla	3	586.0	195.3	9.13	3.86	6.99*
Error (B*F)	9	192.5	21.4			
<b>TOTAL</b>	15	2064.0				

### Interpretación:

El ANDEVA detecta una diferencia entre bloques y entre fuentes al nivel del 1% para el sitio QA. Para poder despejar las razones por estas diferencias observadas se hizo una prueba de Duncan como se detalla a continuación.

### Cuadro 4c

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Prueba de Duncan Sitio QA**

p	2	3	4
r <sub>p</sub>	3.199	3.339	3.420
R <sub>p</sub>	7.397	7.721	7.908

#### Fuente de Semilla

H141	L135	H150	H109
61	67.5	72	77.5

#### Bloques

2	4	3	1
54.5	70.75	76	76.75

Valores que comparten una línea  
no difieren significativamente al 5%

#### Interpretación:

La prueba de Duncan al 5% encontró diferencias significativas entre las siguientes fuentes: H141 y H150, H141 y H109, L135 y H109.

A nivel de bloques el bloque 2 difiere de los demás a una significancia de 5%.

**Se rechaza el H<sub>0</sub>:** que no hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *Gmelina arborea*

**Se acepta el H<sub>a</sub>:** que hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *Gmelina arborea*

### Apéndice 4, Cuadro 5a

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio RB**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	95	75	72	57	299	74.75
H 141	86	73	76	84	319	79.75
H 150	88	85	79	39	291	72.75
L 135	88	90	83	80	341	85.25
<b>Total (Y.j)</b>	357	323	310	260	1250	
<b>Medio(Y.j)</b>	89.25	80.75	77.5	65		78.13

### Cuadro 5b

**Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	1213.3	404.4	2.89	2.81*	3.86
Fuentes de Semilla	3	374.8	124.9	0.89	2.81	3.86
Error (B*F)	9	1259.8	140.0			
<b>TOTAL</b>	15	2847.8				

#### Interpretación:

El ANDEVA detecta diferencias significativas al 10% entre bloques para el sitio RB no se encuentra diferencias significativas debidos a las fuentes de semilla.

Se acepta el  $H_0$ : que no hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste debido a las fuentes de semilla de *Gmelina arborea* probadas.

### Apéndice 4, Cuadro 6a

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla  
**Tabla de resultados a nivel de todos los experimentos**

Sitio	Fuente de Semilla				Sitio	
	H 109	H 141	H 150	L 135	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
AA1	74.75	82.5	73.75	80.75	311.75	77.94
AA2	88.75	85.75	89.00	90.00	353.5	88.38
CA	78.5	82.5	71.5	73.25	305.75	76.44
QA	77.5	61.00	72.75	67.5	278.0	69.5
RB	74.75	79.75	72.75	85.25	312.5	78.13
<b>Total (Y.j)</b>	394.25	391.50	379.00	396.75	1561.50	
<b>Medio(Y.j)</b>	78.85	78.30	75.80	79.35		78.08

### Cuadro 6b

**Tabla de ANDEVA a nivel de todos los experimentos**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla		
					10%	5%	1%
Fuentes de Semilla	3	37.3	12.4	0.43	2.61	3.49	5.95
Sitios	4	729.3	205.9	6.34	2.48	3.26	5.41*
Error (B*F)	12	345.0	28.7				
<b>TOTAL</b>	19	1111.5					

#### Interpretación:

El ANDEVA detecta diferencias significativas al 1% entre sitios no se encuentra diferencias significativas debidos a las fuentes de semilla.

**Cuadro 6c**

Frecuencia de árboles de forma de fuste normal y fuente de semilla

**Prueba de Duncan:** A nivel de todos los experimentos

<b>p</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>r<sub>p</sub></b>	4.320	4.504	4.622	4.706
<b>R<sub>p</sub></b>	10.358	10.800	11.083	11.284

**Sitios**

<b>QA</b>	<b>CA</b>	<b>AA1</b>	<b>RB</b>	<b>AA2</b>
<b>69.5</b>	<b>76.44</b>	<b>77.94</b>	<b>78.13</b>	<b>88.38</b>

**Valores que comparten una línea  
no difieren significativamente al 1%**



**Apéndice 4, Cuadro 7a****Frecuencia de árboles normales: Tabla de resultados análisis combinado**

SITIO		Fuente de Semilla				Sitio	
		H 109	H 141	H 150	L 135	Total(Y.j)	Medio(Y.j)
AA1	1	72	78	82	91	323	80.75
	2	77	86	88	84	335	83.75
	3	70	90	45	80	285	71.25
	4	80	76	80	68	304	76.00
	<b>SUMA</b>	299	330	295	323	1247	
AA2	1	85	89	83	86	343	85.75
	2	92	91	90	91	364	91.00
	3	88	89	90	90	357	89.25
	4	90	74	93	93	350	87.50
	<b>SUMA</b>	355	343	356	360	1414	
CA	1	69	79	81	66	295	73.75
	2	78	90	58	76	302	75.50
	3	72	75	78	83	308	77.00
	4	95	86	69	68	318	79.50
	<b>SUMA</b>	314	330	286	293	1223	
QA	1	80	73	80	74	307	76.75
	2	70	43	53	52	218	54.50
	3	82	71	78	73	304	76.00
	4	78	57	77	71	283	70.75
	<b>SUMA</b>	310	244	288	270	1112	
RB	1	95	86	88	88	357	89.25
	2	75	73	85	90	323	80.75
	3	72	76	79	83	310	77.50
	4	57	84	39	80	260	65.00
	<b>SUMA</b>	299	319	291	341	1250	
Total (Y.j)		1577	1566	1516	1587		
Medio (Y.j)		78.85	78.3	75.8	79.35		78.08

## Apéndice 4, Cuadro 7b

### Frecuencia de árboles normales

#### Tabla de ANDEVA, análisis combinado.

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla		
					10%	5%	1%
Sitios	4	2917.2	729.3	3.66	2.36	3.06*	4.89
R/S	15	2991.9	199.5	2.30	1.66	1.92*	2.52
Fuentes de Semilla	3	149.0	49.7	0.57	2.23	2.82	4.26
S x F	12	1379.8	115.0				
Error F x (R/S)	45	3907.6	86.8				
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>11346</b>					

**Fuentes:**  $F_{obs} < F_{tabla}$ , se concluye que la diferencia no es significativa al nivel de 10%.

**Sitios:**  $F_{obs} > F_{tabla}$  al 5% (diferencia significativa al 5%)

**R/S:**  $F_{obs} > F_{tabla}$  al 5% (diferencia significativa al 5%)

## Apéndice 5

### Análisis 2: Productividad en volumen (m<sup>3</sup>/ha) y fuente de semilla

#### Cuadro 1a

Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio AA1

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4		
H 109	243.4	186.5	227.2	252.7	909.8	227.5
H 141	200.9	187.7	205.2	335.7	929.5	232.4
H 150	141.9	195.2	186.7	182.8	706.6	176.7
L 135	189.8	197.7	190.0	186.6	764.1	191.0
Total (Y.j)	776.0	767.1	809.1	957.8	3310.0	
Medio(Y.j)	194.0	191.8	202.3	239.5	206.9	

#### Cuadro 1b

Tabla de ANDEVA nivel de experimento

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	5904.3	1968.1	1.38	2.81	3.86
Fuentes de Semilla	3	8953.4	2984.5	2.09	2.81	3.86
Error (B*F)	9	12823	1424.8			
TOTAL	15	27681				

#### Interpretación:

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla ni bloques para el sitio AA1.

Se acepta la Ho: que no hay una relación entre productividad en volumen comercial y fuente de semilla de *Gmelina arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

## Apéndice 5, Cuadro 2a

**Productividad: Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio AA2**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	326.7	273.0	266.6	258.9	1125.2	281.3
H 141	257.1	239.9	284.3	243.3	1024.6	256.2
H 150	232.9	235.6	241.4	224.5	934.4	233.6
L 135	259.1	242.0	227.6	259.3	988.0	247.0
<b>Total (Y.j)</b>	1075.8	990.5	1019.9	986.0	4072.2	
<b>Medio(Y.j)</b>	269.0	247.6	255.0	246.5		254.5

## Cuadro 2b

**Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					5%	1%
Bloques	3	1281.2	427.1	1.06	3.86	6.99
Fuentes de Semilla	3	4856.1	1618.7	4.01	3.86*	6.99
Error (B*F)	9	3636.4	404.0			
<b>TOTAL</b>	15	9773.7				

### Interpretación:

El ANDEVA detecta diferencias significativas al 5% entre fuentes de semilla para el sitio AA2.

**Se rechaza la Ho:** que no hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *Gmelina arborea*

**Se acepta la Ha:** que hay una diferencia en la frecuencia de defectos de forma del fuste y fuente de semilla de *Gmelina arborea*

### Apéndice 5, Cuadro 3a

**Productividad (m<sup>3</sup>/ha): Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio CA**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	203.2	200.5	246.0	204.8	854.5	213.6
H 141	269.7	263.5	301.7	192.7	1027.6	256.9
H 150	201.2	263.4	242.1	226.8	933.5	233.4
L 135	215.3	231.8	227.6	209.8	884.5	221.1
<b>Total (Y.j)</b>	889.4	959.2	1017.4	834.1	3700.1	
<b>Medio(Y.j)</b>	222.4	239.8	254.4	208.5		231.3

### Cuadro 3b

**Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
<b>Bloques</b>	3	4809.4	1603.1	2.72	2.81	3.86
<b>Fuentes de Semilla</b>	3	4302.4	1434.1	2.43	2.81	3.86
<b>Error (B*F)</b>	9	5308.0	589.8			
<b>TOTAL</b>	15	14420				

#### Interpretación:

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla

Se encuentra diferencias al 10% entre bloques para el sitio CA.

**Se acepta la Ho:** que no hay una diferencia en productividad en volumen comercial debido a fuente de semilla de *Gmelina arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

### Apéndice 5, Cuadro 4a

**Productividad: Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio QA**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	283.3	258.4	223.9	132.3	897.9	224.5
H 141	255.0	177.0	240.4	227.1	899.5	224.9
H 150	237.8	215.9	227.3	208.9	889.9	222.5
L 135	310.3	113.9	223.9	154.5	802.6	200.7
<b>Total (Y.j)</b>	1086.4	765.2	915.5	722.8	3489.9	
<b>Medio(Y.j)</b>	271.6	191.3	228.9	180.7		218.1

### Cuadro 4b

**Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	20381	6793.8	3.24	2.81	3.86
Fuentes de Semilla	3	1640.7	546.9	0.26	2.81	3.86
Error (B*F)	9	18877	2097.4			
<b>TOTAL</b>	15	40899				

### Interpretación:

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla ni bloques para el sitio QA.

Se acepta la  $H_0$ : que no hay una diferencia en productividad en volumen comercial debido a fuente de semilla de *Gmelina arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

**Apéndice 5, Cuadro 5a****Productividad: Tabla de resultados nivel de experimento: Sitio RB**

Fuente de Semilla	Bloque				Fuente de Semilla	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
H 109	184.5	142.4	133.4	222.7	683.0	170.8
H 141	242.1	241.2	180.6	211.4	875.3	218.8
H 150	184.8	183.8	146.6	230.7	745.9	186.5
L 135	169.4	163.5	166.0	257.9	756.8	189.2
<b>Total (Y.j)</b>	780.8	730.9	626.6	922.7	3061.0	
<b>Medio(Y.j)</b>	195.2	182.7	156.7	230.7		191.3

**Cuadro 5b****Tabla de ANDEVA nivel de experimento**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					10%	5%
Bloques	3	11359	3786.3	5.54	2.81	3.86*
Fuentes de Semilla	3	4830.5	1610.2	2.36	2.81	3.86
Error (B*F)	9	6152.5	683.6			
<b>TOTAL</b>	15	22342				

**Interpretación:**

El ANDEVA no detecta diferencias significativas al 10% entre fuentes de semilla

Entre bloques se detecta diferencias significativas al 5% para el sitio RB.

**Se acepta la Ho:** que no hay una diferencia en productividad en volumen comercial debido a la fuente de semilla de *Gmelina arborea* en la zona sur oeste de Costa Rica.

**Apéndice 5, Cuadro 6a****Productividad. Tabla de resultados a nivel de todos los experimentos**

Sitio	Fuente de Semilla				Sitio	
	H 109	H 141	H 150	L 135	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
AA1	227.5	232.4	176.7	191.0	827.6	206.9
AA2	281.3	256.2	233.6	252.3	1018.1	255.9
CA	213.6	256.9	233.4	221.1	925.0	231.3
QA	224.5	224.9	222.5	200.7	872.6	218.2
RB	170.8	218.8	186.5	189.2	765.3	191.3
<b>Total (Y.j)</b>	1117.7	1189.2	1052.7	1054.3	4413.9	
<b>Medio(Y.j)</b>	223.5	237.8	210.5	210.9		220.7

**Cuadro 6b****Tabla de ANDEVA a nivel de todos los experimentos**

Fuente de Variación					F de Tabla		
	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	10%	5%	1%
Fuentes de Semilla	3	2510	836.5	2.81	2.61*	3.49	5.95
Sitios	4	9627	2406.7	8.08	2.48	3.26	5.41*
Error (B*F)	12	3576	298.0				
<b>TOTAL</b>	19	15712					

**Fuentes:** F obs < F tabla, concluye que la diferencia es significativa al 10%**Sitios:** F obs > F tabla, diferencia significativa al 1%



**Apéndice 5, Cuadro 7a****Productividad. Tabla de resultados análisis combinado**

SITIO		Fuente de Semilla				Sitio	
		H 109	H 141	H 150	L 135	Total(Y.j)	Medio(Y.j)
AA1	1	243.4	200.9	141.9	189.8	776.0	194.0
	2	186.5	187.7	195.2	197.7	767.1	191.8
	3	227.2	205.2	186.7	190.0	809.1	202.3
	4	252.7	335.7	182.8	186.6	957.8	239.5
	<b>SUMA</b>	909.8	929.5	706.6	764.1	3310.0	206.9
AA2	1	326.7	257.1	232.9	259.1	1075.8	269.0
	2	273.0	239.9	235.6	242.0	990.5	247.6
	3	266.6	284.3	241.4	248.7	1041.0	260.3
	4	258.9	243.3	224.5	259.3	986.0	246.5
	<b>SUMA</b>	1125.2	1024.6	934.4	1009.1	4093.3	255.8
CA	1	203.2	269.7	201.2	215.3	889.4	222.4
	2	200.5	263.5	263.4	231.8	959.2	239.8
	3	246.0	301.7	242.1	227.6	1017.4	254.4
	4	204.8	192.7	226.8	209.8	834.1	208.5
	<b>SUMA</b>	854.5	1027.6	933.5	884.5	3700.1	231.3
QA	1	283.3	255.0	237.8	310.3	1086.4	271.6
	2	258.4	177.0	215.9	113.9	765.2	191.3
	3	223.9	240.4	227.3	223.9	915.5	228.9
	4	132.3	227.1	208.9	154.5	722.8	180.7
	<b>SUMA</b>	897.9	899.5	889.9	802.6	3489.9	218.1
RB	1	184.5	242.1	184.8	169.4	780.8	195.2
	2	142.4	241.2	183.8	163.5	730.9	182.7
	3	133.4	180.6	146.6	166.0	626.6	156.7
	4	222.7	211.4	230.7	257.9	922.7	230.7
	<b>SUMA</b>	683.0	875.3	745.9	756.8	3061	191.3
<b>Total (Y.j)</b>		4470.4	4756.5	4210.3	4217.1	17654.3	
<b>Medio (Y.j)</b>		223.5	237.8	210.5	210.9		220.7

**Cuadro 7b**

**Tabla de ANDEVA, análisis combinado para productividad (m<sup>3</sup>/ha)**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla	
					5%	1%
Sitios	4	38513	9628.2	3.29	3.06*	4.89
R/S	15	43838	2922.5	2.45	1.92*	2.52
Fuentes de Semilla	3	10038	3345.8	3.26	2.82*	4.26
S x F	12	14312	1192.7			
Error F x (R/S)	45	46209	1026.9			
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>152909</b>				

**Fuentes:** F obs < F tabla, se concluye que la diferencia es significativa al nivel de 5%.

**Sitios:** F obs < F tabla, se concluye que la diferencia es significativa al nivel de 5%.

**R/S:** F obs < F tabla, se concluye que la diferencia es significativa al nivel de 5%.

**Cuadro 7c****Prueba de Duncan**

p	2	3	4
r <sub>p</sub>	3.014	3.160	3.250
R <sub>p</sub>	21.597	22.647	23.288

**Fuente de Semilla**

<b>H150</b>	<b>L135</b>	<b>H109</b>	<b>H141</b>
<b>210.5</b>	<b>210.9</b>	<b>223.5</b>	<b>237.8</b>

**Valores que comparten una línea no difieren significativamente al 5%**

**Apndice 5, Cuadro 8**  
**Productividad por Bloque (m<sup>3</sup>/ha), Todos los experimentos tomados como uno**

**Prueba de Duncan**

p	2	3	4	5	6	7	8	9	10
rp	2.829	2.976	3.073	3.143	3.198	3.241	3.277	3.307	3.333
Rp	20.61	21.68	22.39	22.90	23.30	23.61	23.88	24.10	24.28

Valores que comparten una línea no difieren significativamente al 5%

**Bloques**

Sitio	RB	QA	RB	QA	AA1	AA1	RB	AA1	RB	AA1	CA	CA	QA	QA	RB	AA1	CA	AA2	AA2	CA	AA2	AA2	QA	
Bloque	3	4	2	2	1	1	3	4	1	3	4	1	3	4	2	4	2	4	2	3	3	1	1	
VC m <sup>3</sup> /ha	156.7	180.7	182.7	191.3	191.8	194.0	195.2	202.3	208.5	222.4	228.9	230.7	239.5	239.8	246.5	247.6	254.4	255.0	269.0	271.6				

### Apéndice 5, Cuadro 9a Sobrevivencia (%)

Tabla de resultados a nivel de todos los experimentos

Sitio	Bloque				Sitio	
	1	2	3	4	Total (Y.j)	Medio(Y.j)
AA1	77	85	71	72	305	76.25
AA2	67	90	94	82	333	83.25
CA	81	83	93	74	331	82.75
QA	94	81	88	85	348	87.0
RB	94	90	78	77	339	84.75
<b>Total (Y.j)</b>	412	429	424	390	1656	
<b>Medio(Y.j)</b>	82.6	85.8	84.8	78		82.8

### Cuadro 9b

Tabla de ANDEVA a nivel de todos los experimentos

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla		
					10%	5%	1%
Bloques	3	180.4	60.1	0.84	2.61	3.49	5.95
Sitios	4	258.2	64.6	0.90	2.48	3.26	5.41
Error (B*F)	12	862.6	71.9				
<b>TOTAL</b>	19	1301.2					

**Bloques:**  $F_{obs} < F_{tabla}$ , concluye que la diferencia no es significativa al 10%

**Sitios:**  $F_{obs} < F_{tabla}$ , concluye que la diferencia no es significativa al 10%

## Apéndice 6

**Análisis de la hipótesis 3:** Frecuencia de árboles de forma del fuste normal y calidad de sitio.

### Cuadro 1a

**Tabla de resultados:** Análisis de los bloques a nivel de todos los experimentos tomado como un solo experimento

Bloque	Fuentes de Semilla				Bloque	
	H 109	H 141	H 150	L 135	Total (Y <sub>j</sub> )	Medio(Y <sub>j</sub> )
AA1 1	72	78	82	91	323	80.75
AA1 2	77	86	88	84	335	83.75
AA1 3	70	90	45	80	285	71.25
AA1 4	80	76	80	68	304	76.00
AA2 1	85	89	83	86	343	85.75
AA2 2	92	91	90	91	364	91.00
AA2 3	88	89	90	90	357	89.25
AA2 4	90	74	93	93	350	87.50
CA 1	69	79	81	66	295	73.75
CA 2	78	90	58	76	302	75.50
CA 3	72	75	78	83	308	77.00
CA 4	95	86	69	68	318	79.50
QA 1	80	73	80	74	307	76.75
QA 2	70	43	53	52	218	54.50
QA 3	82	71	78	73	304	76.00
QA 4	78	57	77	71	283	70.75
RB 1	95	86	88	88	357	89.25
RB 2	75	73	85	90	323	80.75
RB 3	72	76	79	83	310	77.50
RB 4	57	84	39	80	260	65.00
<b>Fuentes de Semilla</b>	<b>1577</b>	<b>1566</b>	<b>1516</b>	<b>1587</b>	<b>6246</b>	
<b>Total (Y<sub>j</sub>)</b>						
<b>Medio (Y<sub>j</sub>)</b>	<b>78.85</b>	<b>78.30</b>	<b>75.80</b>	<b>79.35</b>		<b>78.08</b>

## Apéndice 7, Cuadro 1b

**Tabla de ANDEVA todos los experimentos tomados como uno**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla		
					10%	5%	1%
<b>Fuentes de Semilla</b>	3	149.0	49.7	0.54	2.18	2.78	4.16
<b>Bloques</b>	19	5909.0	311.0	3.35	1.54	1.76	2.23*
<b>Error (B*F)</b>	57	5287.5	92.8				
<b>TOTAL</b>	79	11346					

**Fuentes:**  $F_{obs} < F_{tabla}$ , concluye que la diferencia no es significativa al 10%

**Bloques:**  $F_{obs} > F_{tabla}$ , diferencia significativa al 1%

**Apndice 6, Cuadro 2**  
**Frecuencia Normal, Todos los experimentos tomados como uno**

**Prueba de Duncan**

p	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ip	2.829	2.976	3.073	3.143	3.198	3.241	3.277	3.307	3.333
Rp	6.093	6.409	6.618	6.769	6.887	6.980	7.057	7.122	7.178

Valores que comparten una línea no difieren significativamente al 5%

**Bloques**

Sitio	QA	RB	QA	AA1	CA	CA	AA1	QA	QA	CA	RB	CA	AA1	RB	AA1	AA2	AA2	AA2	RB	AA2
Bloque	2	4	3	1	2	4	3	1	3	1	3	4	1	2	2	1	4	3	1	2
Frec.	54.50	65.00	70.75	71.25	73.25	75.50	76.00	76.00	76.75	77.00	77.50	79.50	80.75	80.75	83.75	85.75	87.50	89.25	89.25	91.00

Frecuencia Normal expresado como el porcentaje de árboles de forma Clase 1 CGFM

## Apéndice 7

### Análisis 4: Relación entre factor de forma y calidad de sitio

**Cuadro 1a** Tabla de resultados análisis combinado

SITIO	Bloque	Fuente de Semilla				Sitio	
		H 109	H 141	H 150	L 135	Total(Y.j)	Medio(Y.j)
AA1	1	.3344	.3419	.2962	.3415	1.3140	.3285
	2	.3583	.3061	.3490	.3145	1.3279	.3320
	3	.3445	.3492	.3164	.3485	1.3586	.3397
	4	.3495	.3299	.3556	.3881	1.4231	.3558
	<b>SUMA</b>	1.3867	1.3271	1.3172	1.3926	5.4236	
AA2	1	.3717	.3724	.4083	.3897	1.5421	.3855
	2	.3559	.3848	.4086	.3425	1.4918	.3730
	3	.3504	.3737	.3480	.3759	1.4480	.3620
	4	.3439	.3978	.4025	.3715	1.5157	.3789
	<b>SUMA</b>	1.4219	1.5287	1.5674	1.4796	5.9976	
CA	1	.3736	.3800	.3859	.3556	1.4951	.3738
	2	.3840	.4202	.3500	.3638	1.5180	.3795
	3	.4019	.3465	.3938	.4110	1.5532	.3883
	4	.3335	.3554	.3710	.354	1.4139	.3535
	<b>SUMA</b>	1.4930	1.5021	1.5007	1.4844	5.9802	
QA	1	.3631	.3580	.3351	.3386	1.3948	.3487
	2	.3352	.4308	.3456	.3468	1.4656	.3664
	3	.3268	.3965	.3335	.3796	1.4364	.3591
	4	.3535	.4276	.4078	.4033	1.5922	.3981
	<b>SUMA</b>	1.3786	1.6129	1.4220	1.4683	5.8890	
RB	1	.3646	.3606	.3474	.3741	1.4467	.3617
	2	.3725	.3876	.3489	.3658	1.4748	.3687
	3	.3485	.3774	.3325	.3447	1.4031	.3508
	4	.4373	.4262	.3350	.3481	1.5466	.3867
	<b>SUMA</b>	1.5229	1.5226	1.3638	1.4327	5.8712	
<b>Total (Y.j)</b>		7.2031	7.5226	7.1711	7.2576	29.1544	
<b>Medio (Y.j)</b>		.3602	.3765	.3586	.3629		.3644



## Apéndice 7, Cuadro 1b

**Tabla de ANDEVA, análisis combinado factor de forma**

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla		
					10%	5%	1%
Sitios	4	0.01376	0.00344	3.75	2.36	3.06*	4.89
R/S	15	0.01377	0.00092	1.67	1.66*	1.92	2.52
Fuentes de Semilla	3	0.00384	0.00129	2.33	2.23*	2.82	4.26
S x F	12	0.01364	0.00114				
Error F x (R/S)	45	0.02478	0.00055				
TOTAL	79	0.06980					

**Sitios:** F obs > F tabla al 5% (diferencia significativa al 5%)

**R/S:** F obs > F tabla al 10% (diferencia significativa al 10%)

**Fuentes:** F obs > F tabla al 10% (diferencia significativa al 10%).

Modelo:  $Y_i = \mu + S + (R / S) + F + (S \times F) + \text{Error B}$   
 en donde:

$Y_i$  = Valor estimado

$\mu$  = Media muestral

S = Sitios

(R / S) = Repeticiones por Sitio (Error A)

F = Fuentes de Semilla

(S x F) = Interacción Sitios por Fuentes de Semilla

## Apéndice 7, Cuadro 2

ANDEVA parcelas divididas de factor de forma

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F de Tabla		
					10%	5%	1%
Sitios	4	0.0310	0.0078	5.01	2.36	3.06	4.89*
Rep./Sitios	15	0.0232	0.0015	0.94	1.66	1.92	2.52
Fuentes	3	0.0020	0.0007	0.42	2.23	2.84	4.31
S x F	12	0.0180	0.0015				
F x (R/S)	45	0.0707	0.0016				
Tamaño	1	0.0023	0.0023	2.43	2.79	4.00	7.08
T x S	4	0.0101	0.0025				
T x F	3	0.0045	0.0015				
T x S x F	12	0.0227	0.0019				
Error (c)	60	0.0567	0.0009				
TOTAL	159	0.2412					

Modelo:  $Y_i = \mu + S + (R / S) + F + (S \times F) + F \times (R / S) + T + (T \times S) + (T \times F) + (T \times S \times F) + \text{Error}(c)$

en donde:

$Y_i$  = Valor observado

$\mu$  = Media muestral

S = Sitios

(R / S) = Repeticiones por Sitio (Error a)

F = Fuentes de Semilla

(S x F) = Interacción Sitios por Fuentes de Semilla

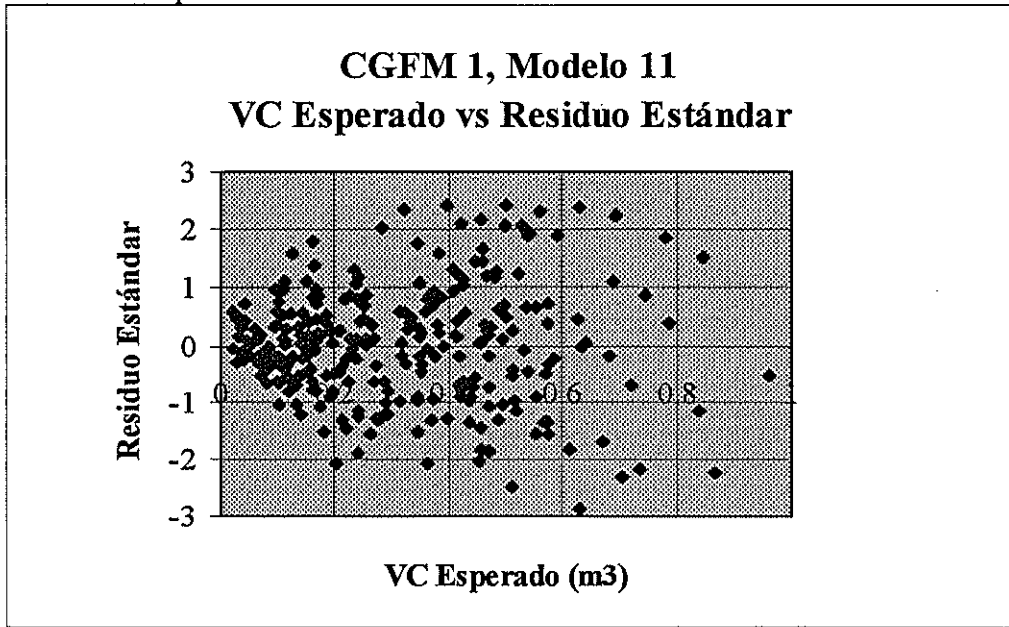
F x (R/S) = Error(b)

T = Tamaño (de árbol)

**Apéndice 8**

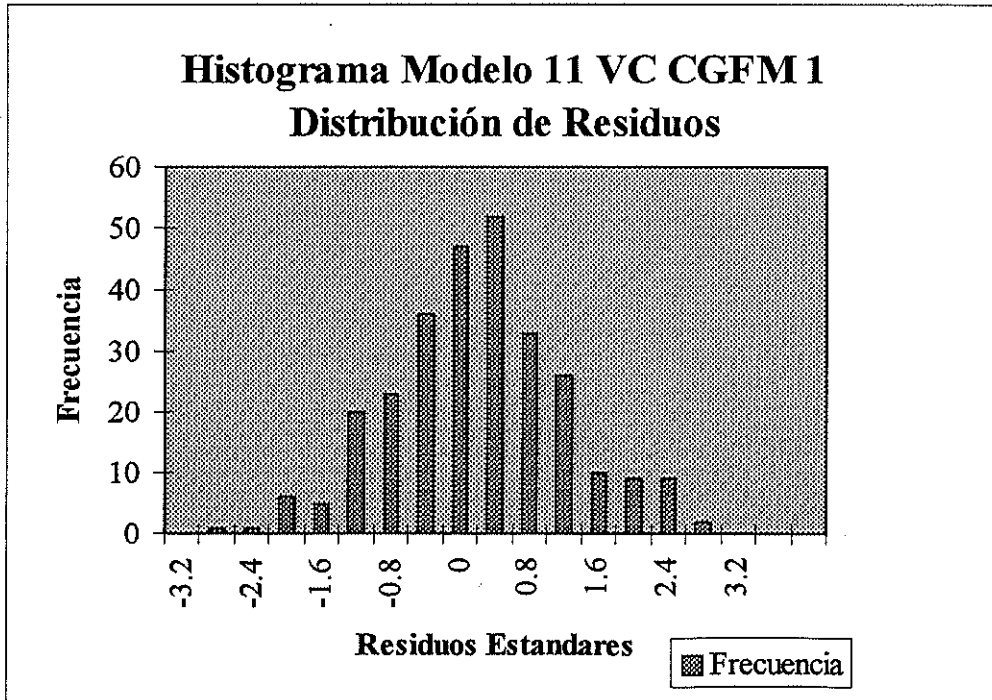
**Análisis de la hipótesis 5 Cuadro 1**

El gráfico muestra el comportamiento de los residuos de los valores observados comparados con la ecuación. Los residuos presentan una distribución normal alrededor de la línea de cero.



**Distribución de Residuos Estándares, Volumen Comercial CGFM 1**

**Apéndice 8, Cuadro 2** El histograma de la ecuación del volumen comercial para CGFM 1.

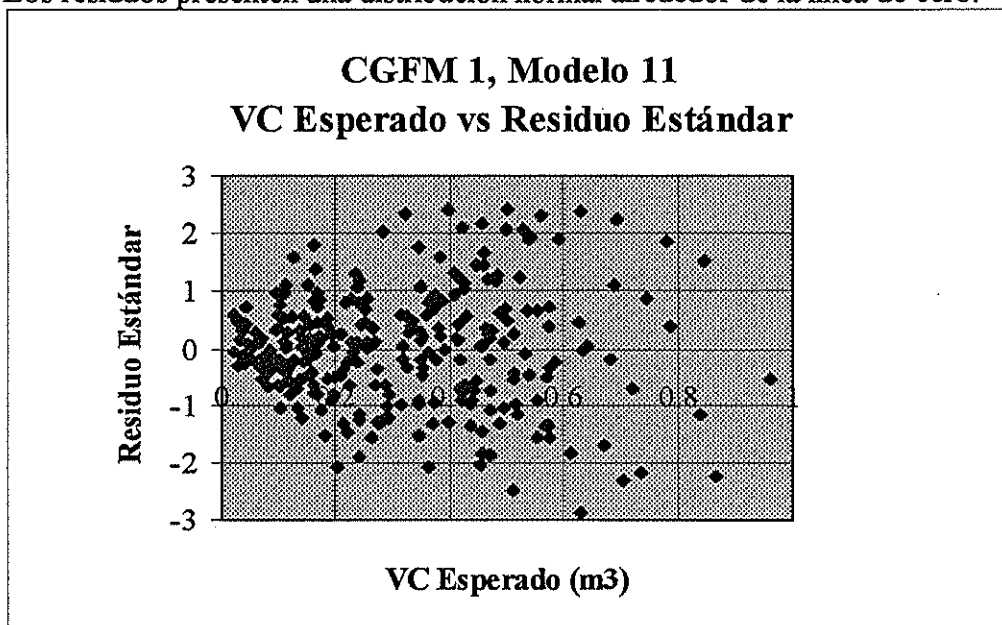


**Histograma de Residuos Estándares, ecuación de Volumen Comercial CGFM 1**

## Apéndice 8

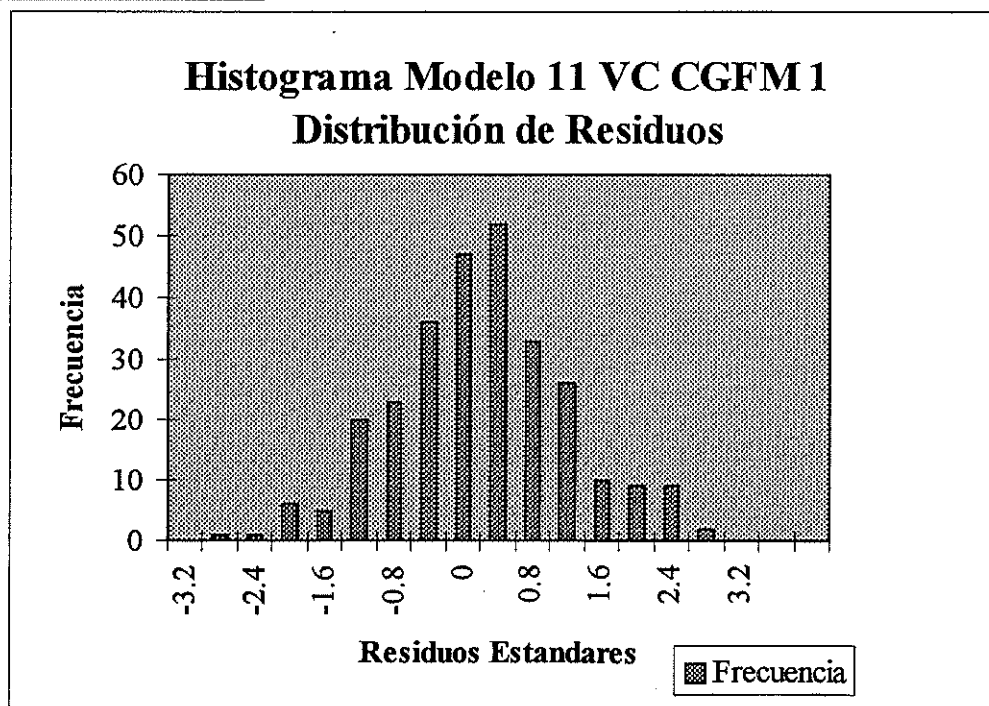
### Análisis de la hipótesis 5 **Cuadro 1**

El gráfico muestra el comportamiento de los residuos de los valores observados comparados con la ecuación. Los residuos presentan una distribución normal alrededor de la línea de cero.



**Distribución de Residuos Estándares, Volumen Comercial CGFM 1**

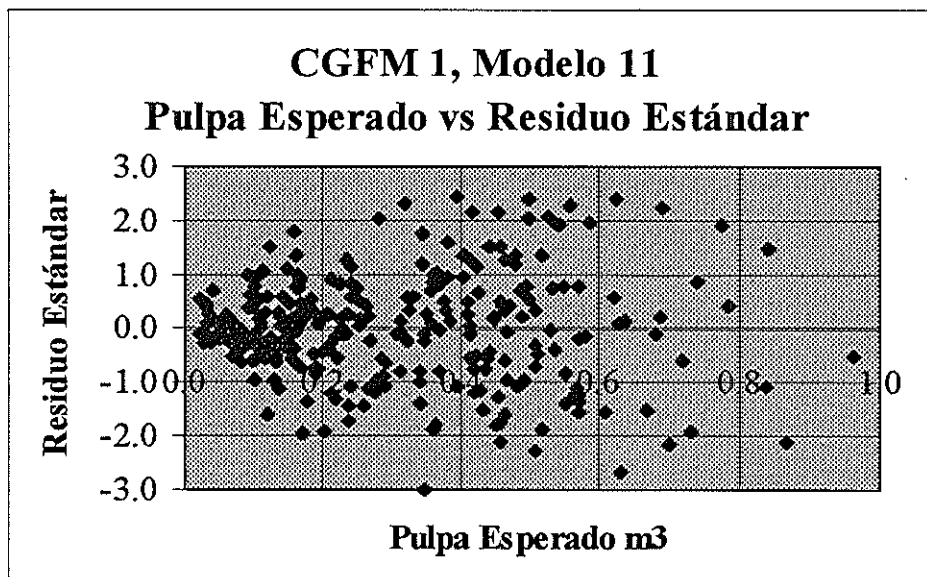
**Apéndice 8, Cuadro 2** El histograma de la ecuación del volumen comercial para CGFM 1.



**Histograma de Residuos Estándares, ecuación de Volumen Comercial CGFM 1**

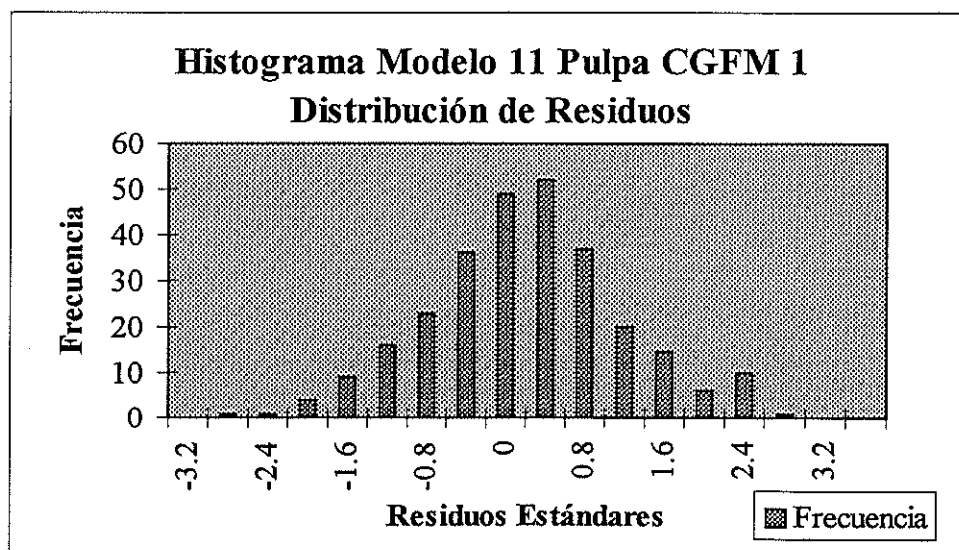
### Apéndice 8, Cuadro 3

La ecuación de Volumen para Pulpa se basa en el mismo modelo utilizado en la ecuación general de volumen. Las figuras muestran la distribución normal de residuos a través del rango de valores.



Distribución de Residuos Estándares, Volumen para Pulpa CGFM 1

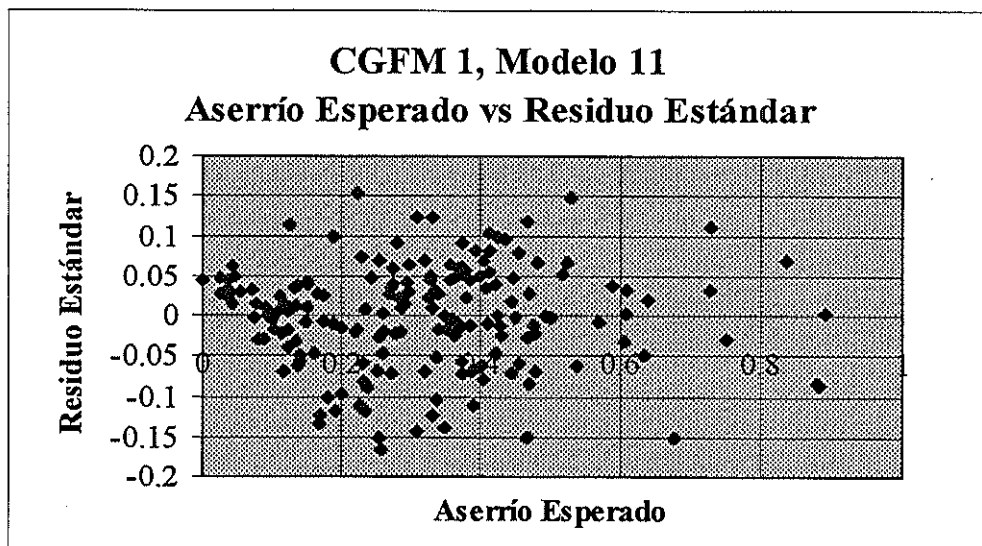
### Apéndice 8, Cuadro 4



Histograma de Residuos Estándares, ecuación de volumen para Pulpa CGFM 1

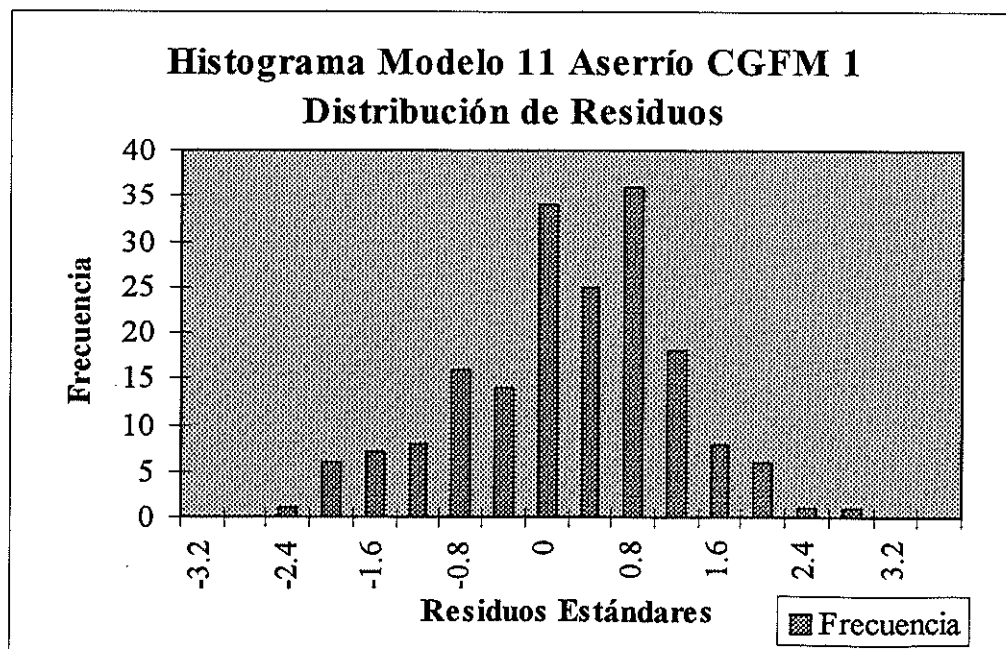
## Apéndice 8, Cuadro 5

El gráfico de la distribución de residuos estándares (Figura 16) presenta un comportamiento aceptable de estos a través del rango de tamaños (según DAP) de árboles muestreados. El histograma (Figura 12) muestra una distribución de los residuos similar a la normal con un ligero sesgo hacia el lado positivo. Sin embargo, entre los modelos probados esta distribución fue el más satisfactoria.



Distribución de Residuos Estándares, Volumen para Aserrió CGFM 1

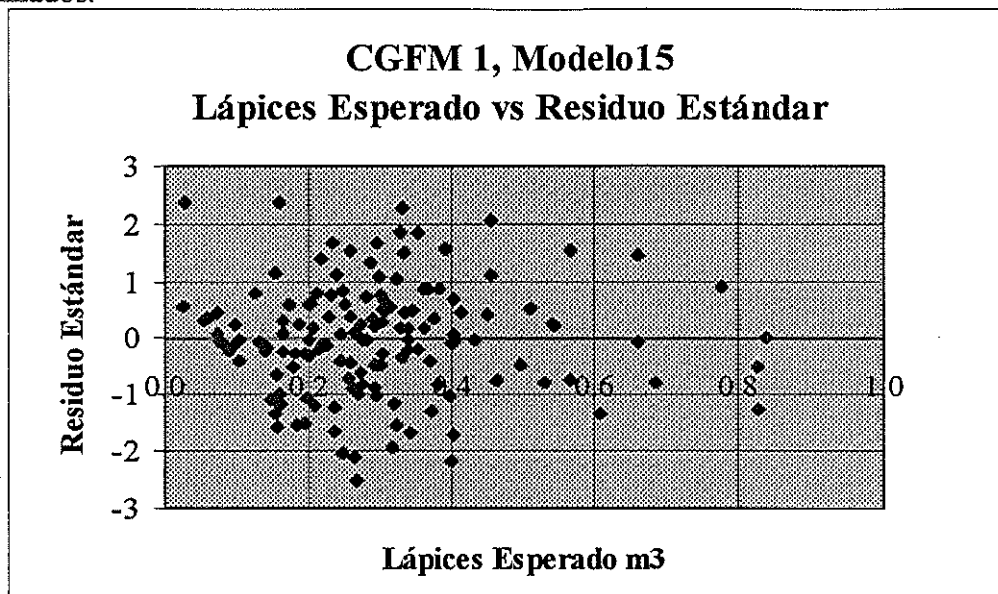
## Apéndice 8, Cuadro 6



Histograma de Residuos Estándares, ecuación de volumen para aserrió CGFM 1

### Apéndice 8, Cuadro 7

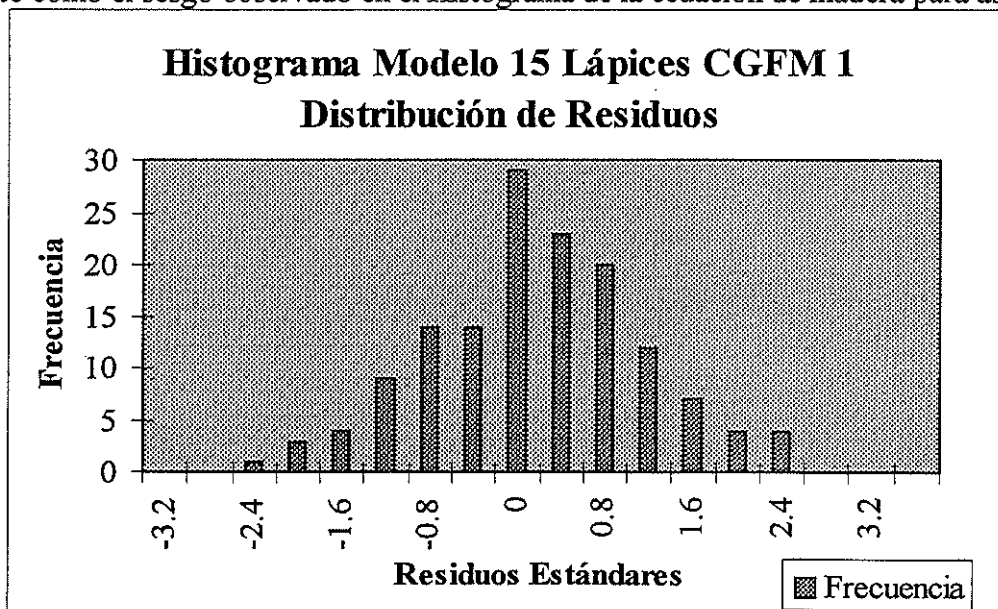
En la figura 19 la distribución de los residuos es bastante normal en el rango de los tamaños de árboles utilizados.



**Distribución de Residuos Estándares, Volumen para Lápices CGFM 1**

### Apéndice 8, Cuadro 8

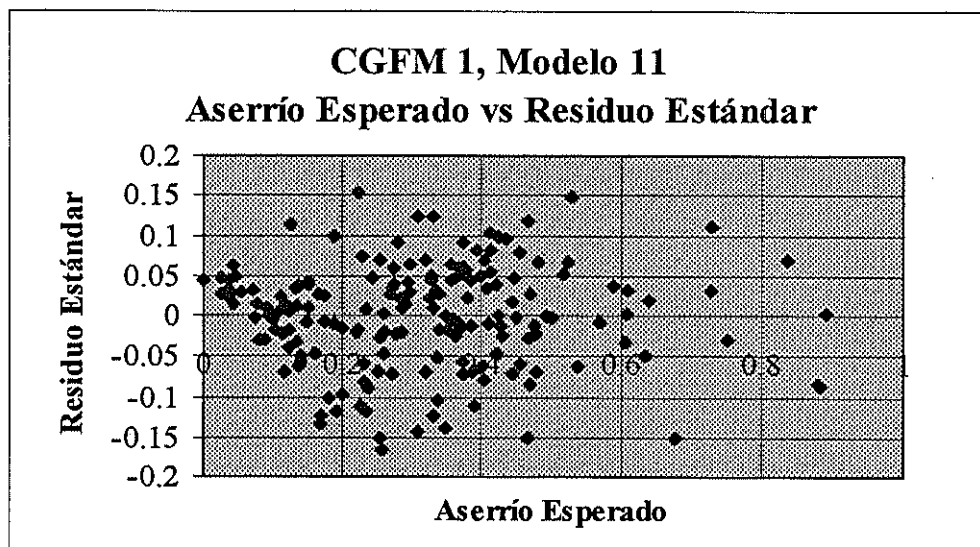
El histograma de volumen para Lápices muestra una distribución bastante normal alrededor del punto cero de residuos estándares. Se observa un ligero sesgo hacia el lado positivo del gráfico aunque no es tan fuerte como el sesgo observado en el Histograma de la ecuación de madera para aserrío CG 1.



**Histograma de Residuos Estándares, ecuación de volumen para Lápices CGFM 1**

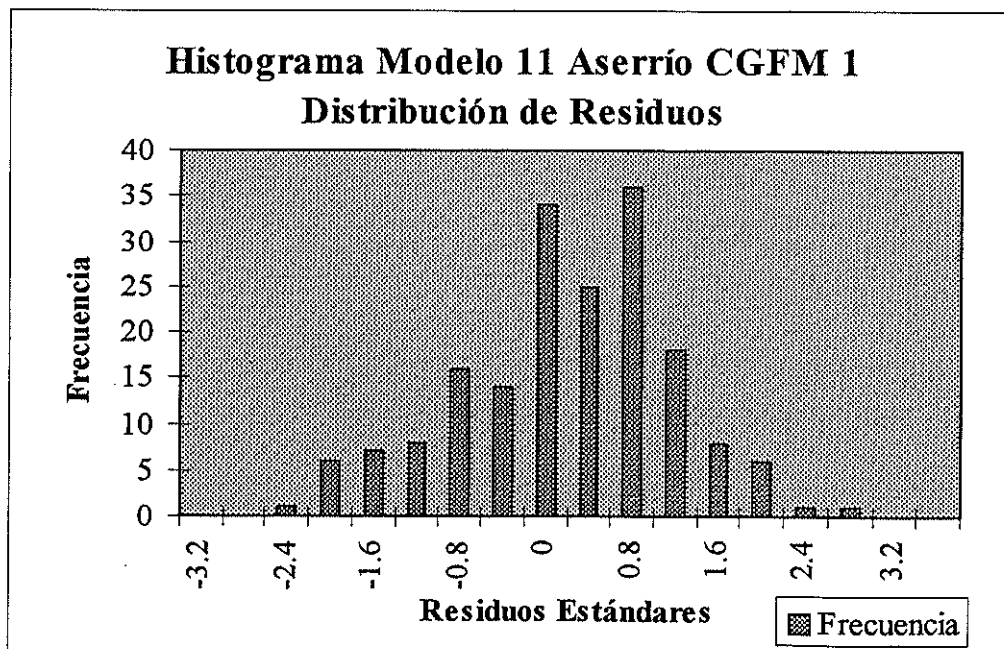
## Apéndice 8, Cuadro 5

El gráfico de la distribución de residuos estándares (Figura 16) presenta un comportamiento aceptable de estos a través del rango de tamaños (según DAP) de árboles muestreados. El histograma (Figura 12) muestra una distribución de los residuos similar a la normal con un ligero sesgo hacia el lado positivo. Sin embargo, entre los modelos probados esta distribución fue el más satisfactoria.



Distribución de Residuos Estándares, Volumen para Aserrió CGFM 1

## Apéndice 8, Cuadro 6



Histograma de Residuos Estándares, ecuación de volumen para aserrió CGFM 1



Apéndice 8, cuadro 9: Tabla General de Volumen Comercial (STON 1996)

DAP (cm)	Altura Total (m)															
	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>		
<u>16</u>	0.1218	0.1293	0.1368	0.1443	0.1518	0.1593	0.1668	0.1743	0.1818							
<u>17</u>	0.1373	0.1458	0.1542	0.1627	0.1712	0.1796	0.1881	0.1966	0.2051	0.2135						
<u>18</u>	0.1530	0.1625	0.1720	0.1815	0.1910	0.2005	0.2100	0.2195	0.2290	0.2385	0.2480					
<u>19</u>	0.1690	0.1796	0.1902	0.2007	0.2113	0.2219	0.2325	0.2431	0.2537	0.2642	0.2748	0.2854				
<u>20</u>	0.1852	0.1970	0.2087	0.2204	0.2321	0.2439	0.2556	0.2673	0.2790	0.2908	0.3025	0.3142	0.3259			
<u>21</u>	0.2017	0.2146	0.2276	0.2405	0.2534	0.2664	0.2793	0.2922	0.3051	0.3181	0.3310	0.3439	0.3569	0.3698		
<u>22</u>	0.2184	0.2326	0.2468	0.2610	0.2752	0.2894	0.3036	0.3178	0.3319	0.3461	0.3603	0.3745	0.3887	0.4029		
<u>23</u>	0.2354	0.2509	0.2664	0.2819	0.2974	0.3130	0.3285	0.3440	0.3595	0.3750	0.3905	0.4060	0.4215	0.4370		
<u>24</u>	0.2526	0.2695	0.2864	0.3033	0.3202	0.3371	0.3540	0.3708	0.3877	0.4046	0.4215	0.4384	0.4553	0.4722		
<u>25</u>	0.2701	0.2884	0.3068	0.3251	0.3434	0.3617	0.3800	0.3984	0.4167	0.4350	0.4533	0.4717	0.4900	0.5083		
<u>26</u>	0.2878	0.3076	0.3275	0.3473	0.3671	0.3869	0.4067	0.4266	0.4464	0.4662	0.4860	0.5058	0.5256	0.5455		
<u>27</u>	0.3058	0.3272	0.3485	0.3699	0.3913	0.4127	0.4340	0.4554	0.4768	0.4981	0.5195	0.5409	0.5623	0.5836		
<u>28</u>	0.3240	0.3470	0.3700	0.3930	0.4159	0.4389	0.4619	0.4849	0.5079	0.5309	0.5539	0.5768	0.5998	0.6228		
<u>29</u>	0.3425	0.3671	0.3918	0.4164	0.4411	0.4658	0.4904	0.5151	0.5397	0.5644	0.5890	0.6137	0.6383	0.6630		
<u>30</u>	0.3612	0.3876	0.4140	0.4403	0.4667	0.4931	0.5195	0.5459	0.5723	0.5987	0.6250	0.6514	0.6778	0.7042		
<u>31</u>		0.4083	0.4365	0.4647	0.4928	0.5210	0.5492	0.5774	0.6055	0.6337	0.6619	0.6901	0.7182	0.7464		
<u>32</u>		0.4594	0.4894	0.5194	0.5495	0.5795	0.6095	0.6395	0.6695	0.6996	0.7296	0.7596	0.7896			
<u>33</u>		0.5146		0.5465	0.5784	0.6104	0.6423	0.6742	0.7061	0.7381	0.7700	0.8019	0.8339			
<u>34</u>				0.5741	0.6080	0.6419	0.6758	0.7096	0.7435	0.7774	0.8113	0.8452	0.8791			
<u>35</u>					0.6380	0.6740	0.7099	0.7458	0.7817	0.8176	0.8535	0.8894	0.9253			
<u>36</u>						0.7066	0.7446	0.7826	0.8206	0.8586	0.8966	0.9346	0.9726			
<u>37</u>							0.7801	0.8202	0.8603	0.9005	0.9406	0.9807	1.0209			
<u>38</u>								0.8585	0.9008	0.9432	0.9855	1.0278	1.0702			
<u>39</u>									0.9421	0.9867	1.0313	1.0759	1.1205			
<u>40</u>											1.0310	1.0779	1.1248	1.1718		

$$\text{Volumen Comercial de Madera} = (0.011392 * \text{DAP}) - (0.00037431 * (\text{DAP})^2) + (0.000029317 * (\text{DAP})^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.092244$$

Apéndice 8, cuadro 10: Tabla de Volumen Comercial de Madera CGFM 1

		Altura Total (m)																		
		<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>					
DAP (cm)		0.1122	0.1201	0.1280	0.1359	0.1438	0.1517	0.1596	0.1675	0.1754										
<u>16</u>		0.1122	0.1201	0.1280	0.1359	0.1438	0.1517	0.1596	0.1675	0.1754										
<u>17</u>		0.1273	0.1363	0.1452	0.1541	0.1630	0.1720	0.1809	0.1898	0.1987	0.2077									
<u>18</u>		0.1427	0.1527	0.1627	0.1727	0.1827	0.1927	0.2027	0.2128	0.2228	0.2328	0.2428								
<u>19</u>		0.1583	0.1695	0.1806	0.1918	0.2029	0.2141	0.2252	0.2363	0.2475	0.2586	0.2698	0.2809							
<u>20</u>		0.1741	0.1865	0.1988	0.2112	0.2235	0.2359	0.2482	0.2606	0.2729	0.2853	0.2976	0.3100	0.3223						
<u>21</u>		0.1901	0.2038	0.2174	0.2310	0.2446	0.2582	0.2719	0.2855	0.2991	0.3127	0.3263	0.3399	0.3536	0.3672					
<u>22</u>		0.2064	0.2213	0.2363	0.2512	0.2662	0.2811	0.2961	0.3110	0.3259	0.3409	0.3558	0.3708	0.3857	0.4007					
<u>23</u>		0.2228	0.2392	0.2555	0.2718	0.2882	0.3045	0.3208	0.3372	0.3535	0.3698	0.3862	0.4025	0.4189	0.4352					
<u>24</u>		0.2395	0.2573	0.2751	0.2928	0.3106	0.3284	0.3462	0.3640	0.3818	0.3996	0.4174	0.4351	0.4529	0.4707					
<u>25</u>		0.2564	0.2757	0.2950	0.3143	0.3336	0.3529	0.3722	0.3915	0.4108	0.4301	0.4494	0.4687	0.4880	0.5073					
<u>26</u>		0.2734	0.2943	0.3152	0.3361	0.3569	0.3778	0.3987	0.4196	0.4404	0.4613	0.4822	0.5031	0.5239	0.5448					
<u>27</u>		0.2907	0.3133	0.3358	0.3583	0.3808	0.4033	0.4258	0.4483	0.4708	0.4933	0.5159	0.5384	0.5609	0.5834					
<u>28</u>		0.3083	0.3325	0.3567	0.3809	0.4051	0.4293	0.4535	0.4777	0.5019	0.5261	0.5504	0.5746	0.5988	0.6230					
<u>29</u>		0.3260	0.3519	0.3779	0.4039	0.4299	0.4558	0.4818	0.5078	0.5337	0.5597	0.5857	0.6116	0.6376	0.6636					
<u>30</u>		0.3439	0.3717	0.3995	0.4273	0.4551	0.4829	0.5107	0.5385	0.5662	0.5940	0.6218	0.6496	0.6774	0.7052					
<u>31</u>		0.3917	0.4214	0.4511	0.4808	0.5104	0.5401	0.5698	0.5995	0.6291	0.6588	0.6885	0.7182	0.7478						
<u>32</u>		0.4437	0.4753	0.5069	0.5385	0.5702	0.6018	0.6334	0.6650	0.6966	0.7283	0.7599	0.7915							
<u>33</u>		0.4999	0.5335	0.5671	0.6008	0.6344	0.6680	0.7017	0.7353	0.7689	0.8025	0.8362								
<u>34</u>		0.5606	0.5963	0.6320	0.6677	0.7034	0.7391	0.7748	0.8105	0.8462	0.8819									
<u>35</u>		0.6259	0.6638	0.7016	0.7394	0.7772	0.8151	0.8529	0.8907	0.9286										
<u>36</u>		0.6961	0.7361	0.7762	0.8162	0.8562	0.8962	0.9362	0.9763											
<u>37</u>		0.7714	0.8136	0.8559	0.8982	0.9405	0.9827	1.0250												
<u>38</u>		0.8518	0.8964	0.9410	0.9856	1.0302	1.0747													
<u>39</u>		0.9376	0.9846	1.0316	1.0785	1.1255														
<u>40</u>		1.0291	1.0785	1.1279	1.1773															

$$\text{Volumen Comercial} = 0.01165848 * (\text{DAP}) - 0.00041855 * (\text{DAP}^2) + 0.00003088 * (\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.10161071$$

# Apéndice 8, cuadro 11: Tabla de Volumen de Madera para Pulpa CGFM 1

	Altura Total (m)															
	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>		
<b>DAP (cm)</b>	16	0.1106	0.1187	0.1269	0.1350	0.1431	0.1513	0.1594	0.1676	0.1757						
	<u>17</u>	0.1251	0.1343	0.1435	0.1527	0.1619	0.1711	0.1803	0.1894	0.1986	0.2078					
	<u>18</u>	0.1398	0.1501	0.1604	0.1707	0.1810	0.1914	0.2017	0.2120	0.2223	0.2326	0.2429				
	<u>19</u>	0.1548	0.1662	0.1777	0.1892	0.2007	0.2122	0.2237	0.2351	0.2466	0.2581	0.2696	0.2811			
	<u>20</u>	0.1699	0.1826	0.1953	0.2081	0.2208	0.2335	0.2462	0.2590	0.2717	0.2844	0.2971	0.3099	0.3226		
	<u>21</u>	0.1852	0.1993	0.2133	0.2273	0.2413	0.2554	0.2694	0.2834	0.2975	0.3115	0.3255	0.3395	0.3536	0.3676	
	<u>22</u>	0.2008	0.2162	0.2316	0.2470	0.2624	0.2778	0.2932	0.3086	0.3240	0.3393	0.3547	0.3701	0.3855	0.4009	
	<u>23</u>	0.2165	0.2334	0.2502	0.2670	0.2838	0.3007	0.3175	0.3343	0.3512	0.3680	0.3848	0.4016	0.4185	0.4353	
	<u>24</u>	0.2325	0.2508	0.2691	0.2875	0.3058	0.3241	0.3424	0.3608	0.3791	0.3974	0.4157	0.4340	0.4524	0.4707	
	<u>25</u>	0.2487	0.2686	0.2884	0.3083	0.3282	0.3481	0.3680	0.3878	0.4077	0.4276	0.4475	0.4674	0.4872	0.5071	
	<u>26</u>	0.2650	0.2865	0.3081	0.3296	0.3511	0.3726	0.3941	0.4156	0.4371	0.4586	0.4801	0.5016	0.5231	0.5446	
	<u>27</u>	0.2816	0.3048	0.3280	0.3512	0.3744	0.3976	0.4208	0.4440	0.4671	0.4903	0.5135	0.5367	0.5599	0.5831	
	<u>28</u>	0.2984	0.3234	0.3483	0.3732	0.3982	0.4231	0.4480	0.4730	0.4979	0.5229	0.5478	0.5727	0.5977	0.6226	
	<u>29</u>	0.3154	0.3422	0.3689	0.3957	0.4224	0.4492	0.4759	0.5027	0.5294	0.5562	0.5829	0.6097	0.6364	0.6632	
	<u>30</u>	0.3326	0.3612	0.3899	0.4185	0.4471	0.4758	0.5044	0.5330	0.5616	0.5903	0.6189	0.6475	0.6762	0.7048	
	<u>31</u>		0.3806	0.4112	0.4417	0.4723	0.5029	0.5334	0.5640	0.5946	0.6251	0.6557	0.6863	0.7168	0.7474	
	<u>32</u>		0.4328	0.4653	0.4979	0.5305	0.5631	0.5956	0.6282	0.6608	0.6934	0.7259	0.7585	0.7911		
	<u>33</u>			0.4894	0.5240	0.5586	0.5933	0.6279	0.6626	0.6972	0.7319	0.7665	0.8011	0.8358		
	<u>34</u>				0.5506	0.5873	0.6241	0.6609	0.6976	0.7344	0.7712	0.8080	0.8447	0.8815		
	<u>35</u>					0.6165	0.6555	0.6945	0.7334	0.7724	0.8114	0.8503	0.8893	0.9283		
	<u>36</u>						0.6875	0.7287	0.7699	0.8112	0.8524	0.8936	0.9348	0.9761		
	<u>37</u>							0.7636	0.8072	0.8507	0.8943	0.9378	0.9814	1.0249		
	<u>38</u>								0.8451	0.8910	0.9370	0.9829	1.0288	1.0748		
	<u>39</u>									0.9321	0.9805	1.0289	1.0773	1.1257		
	<u>40</u>										1.0249	1.0758	1.1267	1.1776		

$$\text{Volumen de Madera para Pulpa} = 0.0111670(\text{DAP}) - 0.00043767(\text{DAP}^2) + 0.00003181(\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.09368520$$

Apéndice 8, cuadro 12: Tabla de Volumen de Madera de Aserrió para Aserrió CGFM 1

		Altura Total (m)													
		<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>DAP (cm)</u>															
<u>16</u>															
<u>17</u>								0.0670	0.0766	0.0862					
<u>18</u>					0.0653	0.0761	0.0868	0.0976	0.1084	0.1191	0.1299				
<u>19</u>			0.0679	0.0799	0.0919	0.1039	0.1159	0.1278	0.1398	0.1518	0.1638	0.1758			
<u>20</u>	0.0648	0.0781	0.0914	0.1046	0.1179	0.1312	0.1445	0.1578	0.1710	0.1843	0.1976	0.2109	0.2242		
<u>21</u>	0.0849	0.0995	0.1141	0.1288	0.1434	0.1581	0.1727	0.1873	0.2020	0.2166	0.2313	0.2459	0.2606	0.2752	
<u>22</u>	0.1041	0.1202	0.1363	0.1523	0.1684	0.1845	0.2005	0.2166	0.2327	0.2487	0.2648	0.2809	0.2969	0.3130	
<u>23</u>	0.1226	0.1402	0.1577	0.1753	0.1928	0.2104	0.2280	0.2455	0.2631	0.2807	0.2982	0.3158	0.3333	0.3509	
<u>24</u>	0.1403	0.1594	0.1785	0.1976	0.2168	0.2359	0.2550	0.2741	0.2932	0.3124	0.3315	0.3506	0.3697	0.3889	
<u>25</u>	0.1571	0.1779	0.1986	0.2194	0.2401	0.2609	0.2816	0.3024	0.3231	0.3439	0.3646	0.3854	0.4061	0.4269	
<u>26</u>	0.1732	0.1957	0.2181	0.2405	0.2630	0.2854	0.3079	0.3303	0.3528	0.3752	0.3976	0.4201	0.4425	0.4650	
<u>27</u>	0.1885	0.2127	0.2369	0.2611	0.2853	0.3095	0.3337	0.3579	0.3821	0.4063	0.4305	0.4547	0.4789	0.5031	
<u>28</u>	0.2030	0.2290	0.2550	0.2811	0.3071	0.3331	0.3592	0.3852	0.4112	0.4372	0.4633	0.4893	0.5153	0.5414	
<u>29</u>	0.2167	0.2446	0.2725	0.3004	0.3284	0.3563	0.3842	0.4121	0.4401	0.4680	0.4959	0.5238	0.5517	0.5797	
<u>30</u>	0.2296	0.2595	0.2893	0.3192	0.3491	0.3790	0.4089	0.4387	0.4686	0.4985	0.5284	0.5583	0.5881	0.6180	
<u>31</u>	0.2736	0.3055	0.3374	0.3693	0.4012	0.4331	0.4650	0.4969	0.5288	0.5607	0.5926	0.6245	0.6565		
<u>32</u>		0.3210	0.3550	0.3890	0.4230	0.4570	0.4910	0.5250	0.5590	0.5930	0.6270	0.6610	0.6950		
<u>33</u>			0.3720	0.4081	0.4443	0.4804	0.5166	0.5527	0.5889	0.6251	0.6612	0.6974	0.7335		
<u>34</u>				0.4267	0.4651	0.5035	0.5419	0.5803	0.6186	0.6570	0.6954	0.7338	0.7722		
<u>35</u>					0.4855	0.5262	0.5668	0.6075	0.6482	0.6889	0.7295	0.7702	0.8109		
<u>36</u>						0.5484	0.5915	0.6345	0.6775	0.7206	0.7636	0.8066	0.8496		
<u>37</u>							0.6158	0.6612	0.7067	0.7521	0.7976	0.8430	0.8885		
<u>38</u>								0.6877	0.7356	0.7836	0.8315	0.8794	0.9274		
<u>39</u>									0.7644	0.8149	0.8654	0.9159	0.9664		
<u>40</u>										0.8460	0.8992	0.9523	1.0054		

$$\text{Volumen de Madera de Aserrió} = 0.03635901(\text{DAP}) - 0.00096202(\text{DAP}^2) + 0.00003320(\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.50332890$$

Apéndice 8, cuadro 13: Tabla de Volumen de Madera para Lápices CGFM 1

DAP (cm)	Altura Total (m)													
	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>16</u>														
<u>17</u>														
<u>18</u>														
<u>19</u>														
<u>20</u>														
<u>21</u>		0.0627	0.0702	0.0776	0.0851	0.0926	0.1001	0.1075	0.1150	0.1225	0.1300	0.1375	0.1449	
<u>22</u>	0.0666	0.0759	0.0853	0.0946	0.1039	0.1133	0.1226	0.1319	0.1413	0.1506	0.1599	0.1693	0.1786	0.1879
<u>23</u>	0.0844	0.0956	0.1069	0.1182	0.1295	0.1407	0.1520	0.1633	0.1746	0.1858	0.1971	0.2084	0.2196	0.2309
<u>24</u>	0.1010	0.1143	0.1276	0.1409	0.1542	0.1675	0.1808	0.1941	0.2074	0.2207	0.2340	0.2473	0.2606	0.2739
<u>25</u>	0.1165	0.1319	0.1473	0.1628	0.1782	0.1936	0.2090	0.2244	0.2398	0.2552	0.2707	0.2861	0.3015	0.3169
<u>26</u>	0.1309	0.1485	0.1661	0.1837	0.2014	0.2190	0.2366	0.2542	0.2718	0.2894	0.3070	0.3247	0.3423	0.3599
<u>27</u>	0.1442	0.1641	0.1840	0.2039	0.2238	0.2437	0.2636	0.2835	0.3034	0.3233	0.3432	0.3631	0.3830	0.4029
<u>28</u>	0.1563	0.1786	0.2008	0.2231	0.2454	0.2677	0.2899	0.3122	0.3345	0.3568	0.3790	0.4013	0.4236	0.4459
<u>29</u>	0.1673	0.1920	0.2168	0.2415	0.2662	0.2910	0.3157	0.3404	0.3652	0.3899	0.4146	0.4394	0.4641	0.4888
<u>30</u>	0.1772	0.2045	0.2318	0.2590	0.2863	0.3136	0.3409	0.3681	0.3954	0.4227	0.4500	0.4773	0.5045	0.5318
<u>31</u>		0.2159	0.2458	0.2757	0.3056	0.3355	0.3654	0.3953	0.4252	0.4552	0.4851	0.5150	0.5449	0.5748
<u>32</u>			0.2589	0.2915	0.3241	0.3567	0.3894	0.4220	0.4546	0.4873	0.5199	0.5525	0.5851	0.6178
<u>33</u>				0.3064	0.3418	0.3773	0.4127	0.4481	0.4836	0.5190	0.5544	0.5899	0.6253	0.6607
<u>34</u>					0.3588	0.3971	0.4354	0.4738	0.5121	0.5504	0.5887	0.6271	0.6654	0.7037
<u>35</u>						0.4163	0.4576	0.4989	0.5402	0.5815	0.6228	0.6641	0.7054	0.7467
<u>36</u>							0.4791	0.5235	0.5678	0.6122	0.6566	0.7009	0.7453	0.7896
<u>37</u>								0.5475	0.5950	0.6426	0.6901	0.7376	0.7851	0.8326
<u>38</u>									0.6218	0.6726	0.7233	0.7741	0.8248	0.8756
<u>39</u>										0.7022	0.7563	0.8104	0.8645	0.9185
<u>40</u>											0.7890	0.8465	0.9040	0.9615

Volumen de Madera para Lápices =  $0.04304435(\text{DAP}) - 0.00129532 * (\text{DAP}^2) +$

$0.00004314(\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.01154732(\text{Alt.Tot.}) - 0.41208715$

# Apéndice 8, cuadro 14: Tabla de Volumen Comercial de Madera CGFM 2

Altura Total (m)

DAP (cm)	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>16</u>	0.1036	0.1123	0.1209	0.1296	0.1382	0.1469	0.1555	0.1642	0.1728					
<u>17</u>	0.1214	0.1312	0.1409	0.1507	0.1605	0.1702	0.1800	0.1898	0.1995	0.2093				
<u>18</u>	0.1395	0.1504	0.1614	0.1723	0.1833	0.1942	0.2052	0.2161	0.2271	0.2380	0.2490			
<u>19</u>	0.1578	0.1700	0.1822	0.1944	0.2066	0.2188	0.2310	0.2432	0.2554	0.2676	0.2798	0.2920		
<u>20</u>	0.1765	0.1900	0.2035	0.2170	0.2305	0.2441	0.2576	0.2711	0.2846	0.2981	0.3116	0.3252	0.3387	
<u>21</u>	0.1954	0.2103	0.2252	0.2401	0.2550	0.2699	0.2848	0.2997	0.3146	0.3295	0.3444	0.3593	0.3742	0.3891
<u>22</u>	0.2146	0.2310	0.2473	0.2637	0.2800	0.2964	0.3127	0.3291	0.3454	0.3618	0.3782	0.3945	0.4109	0.4272
<u>23</u>	0.2341	0.2520	0.2698	0.2877	0.3056	0.3235	0.3413	0.3592	0.3771	0.3950	0.4129	0.4307	0.4486	0.4665
<u>24</u>	0.2539	0.2733	0.2928	0.3123	0.3317	0.3512	0.3707	0.3901	0.4096	0.4291	0.4485	0.4680	0.4874	0.5069
<u>25</u>	0.2739	0.2951	0.3162	0.3373	0.3584	0.3795	0.4007	0.4218	0.4429	0.4640	0.4851	0.5063	0.5274	0.5485
<u>26</u>	0.2943	0.3171	0.3400	0.3628	0.3857	0.4085	0.4314	0.4542	0.4770	0.4999	0.5227	0.5456	0.5684	0.5913
<u>27</u>	0.3149	0.3396	0.3642	0.3888	0.4135	0.4381	0.4627	0.4874	0.5120	0.5366	0.5613	0.5859	0.6105	0.6352
<u>28</u>	0.3359	0.3623	0.3888	0.4153	0.4418	0.4683	0.4948	0.5213	0.5478	0.5743	0.6008	0.6273	0.6538	0.6803
<u>29</u>	0.3571	0.3855	0.4139	0.4423	0.4707	0.4992	0.5276	0.5560	0.5844	0.6128	0.6413	0.6697	0.6981	0.7265
<u>30</u>	0.3786	0.4090	0.4394	0.4698	0.5002	0.5306	0.5610	0.5915	0.6219	0.6523	0.6827	0.7131	0.7435	0.7739
<u>31</u>	0.4328	0.4653	0.4978	0.5302	0.5627	0.5952	0.6277	0.6601	0.6926	0.7251	0.7576	0.7900	0.8225	
<u>32</u>		0.4916	0.5262	0.5608	0.5954	0.6300	0.6646	0.6992	0.7338	0.7684	0.8031	0.8377	0.8723	
<u>33</u>			0.5552	0.5920	0.6288	0.6656	0.7024	0.7392	0.7760	0.8128	0.8496	0.8864	0.9232	
<u>34</u>				0.6237	0.6627	0.7018	0.7409	0.7799	0.8190	0.8581	0.8971	0.9362	0.9752	
<u>35</u>					0.6973	0.7387	0.7801	0.8215	0.8629	0.9043	0.9457	0.9871	1.0285	
<u>36</u>						0.7763	0.8201	0.8639	0.9077	0.9515	0.9953	1.0391	1.0829	
<u>37</u>							0.8609	0.9071	0.9534	0.9997	1.0459	1.0922	1.1385	
<u>38</u>								0.9512	1.0000	1.0488	1.0976	1.1464	1.1952	
<u>39</u>									1.0475	1.0989	1.1503	1.2017	1.2531	
<u>40</u>										1.1499	1.2040	1.2581	1.3121	

Volumen Comercial =  $1.15265373(0.011392(DAP) - 0.00037431(DAP^2)) + 0.000029317(DAP^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.092244) - 0.03558923$

Alternamente =  $1.15265373(STON 1996) - 0.03558923$

Apéndice 8, cuadro 15: Tabla de Volumen de Madera para Astillas CGFM 2

Altura Total (m)

	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<b>DAP (cm)</b>	<u>16</u>	0.1011	0.1098	0.1184	0.1270	0.1356	0.1442	0.1529	0.1615	0.1701				
	<u>17</u>	0.1188	0.1286	0.1383	0.1480	0.1578	0.1675	0.1772	0.1870	0.1967	0.2064			
	<u>18</u>	0.1368	0.1478	0.1587	0.1696	0.1805	0.1914	0.2023	0.2132	0.2241	0.2350	0.2459		
	<u>19</u>	0.1551	0.1673	0.1794	0.1916	0.2038	0.2159	0.2281	0.2402	0.2524	0.2645	0.2767	0.2889	
	<u>20</u>	0.1737	0.1872	0.2006	0.2141	0.2276	0.2411	0.2545	0.2680	0.2815	0.2949	0.3084	0.3219	0.3353
	<u>21</u>	0.1926	0.2074	0.2223	0.2371	0.2520	0.2668	0.2817	0.2965	0.3114	0.3262	0.3411	0.3559	0.3708
	<u>22</u>	0.2117	0.2280	0.2443	0.2606	0.2769	0.2932	0.3095	0.3258	0.3421	0.3584	0.3747	0.3910	0.4073
	<u>23</u>	0.2311	0.2489	0.2668	0.2846	0.3024	0.3202	0.3380	0.3558	0.3736	0.3914	0.4093	0.4271	0.4449
	<u>24</u>	0.2508	0.2702	0.2896	0.3090	0.3284	0.3478	0.3672	0.3866	0.4060	0.4254	0.4448	0.4642	0.4836
	<u>25</u>	0.2708	0.2919	0.3129	0.3340	0.3550	0.3761	0.3971	0.4182	0.4392	0.4602	0.4813	0.5023	0.5234
	<u>26</u>	0.2911	0.3139	0.3366	0.3594	0.3822	0.4049	0.4277	0.4505	0.4732	0.4960	0.5187	0.5415	0.5643
	<u>27</u>	0.3117	0.3362	0.3608	0.3853	0.4099	0.4344	0.4590	0.4835	0.5081	0.5326	0.5572	0.5817	0.6063
	<u>28</u>	0.3325	0.3589	0.3853	0.4117	0.4381	0.4645	0.4909	0.5173	0.5437	0.5701	0.5965	0.6229	0.6493
	<u>29</u>	0.3537	0.3820	0.4103	0.4386	0.4669	0.4953	0.5236	0.5519	0.5802	0.6085	0.6369	0.6652	0.6935
	<u>30</u>	0.3751	0.4054	0.4357	0.4660	0.4963	0.5266	0.5569	0.5872	0.6175	0.6478	0.6782	0.7085	0.7388
	<u>31</u>	0.4292	0.4615	0.4939	0.5262	0.5586	0.5910	0.6233	0.6557	0.6880	0.7204	0.7528	0.7851	0.8175
	<u>32</u>	0.4878	0.5222	0.5567	0.5912	0.6257	0.6602	0.6946	0.7291	0.7636	0.7981	0.8326	0.8670	
	<u>33</u>	0.5511	0.5877	0.6244	0.6611	0.6978	0.7344	0.7711	0.8078	0.8444	0.8811	0.9178		
	<u>34</u>			0.6193	0.6583	0.6972	0.7361	0.7750	0.8140	0.8529	0.8918	0.9307	0.9697	
	<u>35</u>				0.6927	0.7340	0.7752	0.8165	0.8577	0.8990	0.9402	0.9815	1.0227	
	<u>36</u>					0.7714	0.8151	0.8587	0.9024	0.9460	0.9897	1.0333	1.0769	
	<u>37</u>						0.8557	0.9018	0.9479	0.9940	1.0401	1.0862	1.1323	
	<u>38</u>							0.9457	0.9943	1.0430	1.0916	1.1402	1.1888	
	<u>39</u>								1.0417	1.0929	1.1441	1.1953	1.2465	
	<u>40</u>									1.1438	1.1976	1.2515	1.3054	

$$\text{Volumen de Madera para Pulpa} = 1.14859599(0.011392(\text{DAP}) - 0.00037431(\text{DAP}^2)) + 0.000029317(\text{DAP}^2 * \text{Alt. Tot.}) - 0.092244) - 0.03760438$$

Alternamente =

$$1.14859599(\text{STON } 1996) - 0.03760438$$

# Apéndice 8, cuadro 16: Tabla de Volumen de Madera para Aserrió CGFM 2

Altura Total (m)

	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>16</u>														
<u>17</u>							0.0605	0.0701	0.0797					
<u>18</u>					0.0649	0.0756	0.0864	0.0971	0.1079	0.1186				
<u>19</u>		0.0651	0.0771	0.0890	0.1010	0.1130	0.1250	0.1370	0.1489	0.1609				
<u>20</u>	0.0607	0.0740	0.0873	0.1005	0.1138	0.1271	0.1404	0.1536	0.1669	0.1802	0.1934	0.2067		
<u>21</u>	0.0660	0.0807	0.0953	0.1099	0.1246	0.1392	0.1538	0.1685	0.1831	0.1977	0.2124	0.2270	0.2416	0.2562
<u>22</u>	0.0849	0.1009	0.1170	0.1331	0.1491	0.1652	0.1812	0.1973	0.2134	0.2294	0.2455	0.2615	0.2776	0.2937
<u>23</u>	0.1040	0.1216	0.1391	0.1567	0.1742	0.1918	0.2093	0.2269	0.2444	0.2620	0.2795	0.2971	0.3147	0.3322
<u>24</u>	0.1235	0.1426	0.1617	0.1808	0.1999	0.2190	0.2381	0.2572	0.2763	0.2955	0.3146	0.3337	0.3528	0.3719
<u>25</u>	0.1432	0.1639	0.1846	0.2054	0.2261	0.2468	0.2676	0.2883	0.3091	0.3298	0.3505	0.3713	0.3920	0.4127
<u>26</u>	0.1631	0.1856	0.2080	0.2304	0.2529	0.2753	0.2977	0.3201	0.3426	0.3650	0.3874	0.4099	0.4323	0.4547
<u>27</u>	0.1834	0.2076	0.2318	0.2560	0.2802	0.3043	0.3285	0.3527	0.3769	0.4011	0.4253	0.4495	0.4737	0.4978
<u>28</u>	0.2039	0.2300	0.2560	0.2820	0.3080	0.3340	0.3600	0.3860	0.4120	0.4381	0.4641	0.4901	0.5161	0.5421
<u>29</u>	0.2248	0.2527	0.2806	0.3085	0.3364	0.3643	0.3922	0.4201	0.4480	0.4759	0.5038	0.5317	0.5596	0.5875
<u>30</u>	0.2459	0.2757	0.3056	0.3355	0.3653	0.3952	0.4250	0.4549	0.4848	0.5146	0.5445	0.5744	0.6042	0.6341
<u>31</u>	0.2992	0.3310	0.3629	0.3948	0.4267	0.4586	0.4905	0.5223	0.5542	0.5861	0.6180	0.6499	0.6818	
<u>32</u>		0.3569	0.3909	0.4248	0.4588	0.4928	0.5268	0.5607	0.5947	0.6287	0.6627	0.6966	0.7306	
<u>33</u>			0.4193	0.4554	0.4915	0.5277	0.5638	0.5999	0.6361	0.6722	0.7083	0.7445	0.7806	
<u>34</u>				0.4865	0.5249	0.5632	0.6016	0.6400	0.6783	0.7167	0.7550	0.7934	0.8317	
<u>35</u>					0.5588	0.5995	0.6401	0.6808	0.7214	0.7621	0.8027	0.8434	0.8840	
<u>36</u>						0.6364	0.6794	0.7224	0.7654	0.8084	0.8514	0.8944	0.9374	
<u>37</u>							0.7194	0.7649	0.8103	0.8557	0.9011	0.9466	0.9920	
<u>38</u>								0.8081	0.8560	0.9040	0.9519	0.9998	1.0477	
<u>39</u>									0.9027	0.9531	1.0036	1.0541	1.1045	
<u>40</u>											1.0033	1.0563	1.1094	1.1625

Volumen de Madera para Aserrió = 1.13173601(0.011392(DAP) - 0.00037431(DAP<sup>2</sup>) +

0.000029317(DAP<sup>2</sup> \* Alt.Tot.) - 0.092244) - 0.16075535

Alternamente =

1.13173601(STON 1996) - 0.16075535

Ing. Nicholas Muir Ston/CATIE



Apéndice 8, cuadro 17: Tabla de Volumen de Madera para Lápices CGFM 2

		Altura Total (m)															
		<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>		
<u>16</u>																	
<u>17</u>	DAP (cm)																
<u>18</u>																	
<u>19</u>																	
<u>20</u>																	
<u>21</u>			0.0651	0.0703	0.0755	0.0806	0.0858	0.0909	0.0961	0.1013	0.1064	0.1116	0.1168	0.1219			
<u>22</u>		0.0863	0.0914	0.0965	0.1016	0.1067	0.1118	0.1169	0.1220	0.1271	0.1322	0.1373	0.1424	0.1475	0.1526		
<u>23</u>		0.1194	0.1244	0.1294	0.1344	0.1395	0.1445	0.1495	0.1545	0.1596	0.1646	0.1696	0.1746	0.1797	0.1847		
<u>24</u>		0.1538	0.1588	0.1637	0.1687	0.1736	0.1786	0.1835	0.1885	0.1934	0.1984	0.2033	0.2083	0.2132	0.2182		
<u>25</u>		0.1898	0.1947	0.1995	0.2044	0.2093	0.2142	0.2190	0.2239	0.2288	0.2336	0.2385	0.2434	0.2483	0.2531		
<u>26</u>		0.2272	0.2320	0.2368	0.2416	0.2464	0.2512	0.2560	0.2608	0.2655	0.2703	0.2751	0.2799	0.2847	0.2895		
<u>27</u>		0.2661	0.2708	0.2755	0.2802	0.2849	0.2896	0.2943	0.2991	0.3038	0.3085	0.3132	0.3179	0.3226	0.3273		
<u>28</u>		0.3064	0.3110	0.3157	0.3203	0.3249	0.3295	0.3342	0.3388	0.3434	0.3480	0.3527	0.3573	0.3619	0.3665		
<u>29</u>		0.3482	0.3528	0.3573	0.3618	0.3664	0.3709	0.3754	0.3800	0.3845	0.3891	0.3936	0.3981	0.4027	0.4072		
<u>30</u>		0.3915	0.3960	0.4004	0.4048	0.4093	0.4137	0.4182	0.4226	0.4271	0.4315	0.4359	0.4404	0.4448	0.4493		
<u>31</u>		0.4406	0.4450	0.4493	0.4537	0.4580	0.4623	0.4667	0.4710	0.4754	0.4797	0.4841	0.4884	0.4928			
<u>32</u>			0.4910	0.4952	0.4995	0.5037	0.5080	0.5122	0.5165	0.5207	0.5250	0.5292	0.5335	0.5377			
<u>33</u>				0.5426	0.5468	0.5509	0.5550	0.5592	0.5633	0.5675	0.5716	0.5758	0.5799	0.5841			
<u>34</u>					0.5955	0.5995	0.6036	0.6076	0.6116	0.6157	0.6197	0.6238	0.6278	0.6318			
<u>35</u>						0.6496	0.6535	0.6575	0.6614	0.6653	0.6693	0.6732	0.6771	0.6811			
<u>36</u>							0.7049	0.7088	0.7126	0.7164	0.7202	0.7240	0.7279	0.7317			
<u>37</u>								0.7615	0.7652	0.7689	0.7726	0.7763	0.7800	0.7838			
<u>38</u>									0.8193	0.8229	0.8265	0.8301	0.8337	0.8372			
<u>39</u>										0.8783	0.8818	0.8852	0.8887	0.8922			
<u>40</u>											0.9385	0.9418	0.9452	0.9485			

$$\text{Volumen de Madera para Lápices} = 0.00076028(\text{DAP}^2) - 0.00000157(\text{DAP}^2 * \text{Alt. Tot.}) + 0.00585519(\text{Alt. total}) - 0.3682478$$

Apéndice 8, cuadro 18: Tabla de Volumen Comercial de Madera CGFM 3

DAP (cm)	Altura Total (m)														
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
16	0.1086	0.1161	0.1235	0.1310	0.1384	0.1459	0.1533	0.1608	0.1682						
17	0.1256	0.1340	0.1424	0.1508	0.1592	0.1676	0.1761	0.1845	0.1929	0.2013					
18	0.1431	0.1525	0.1620	0.1714	0.1808	0.1903	0.1997	0.2091	0.2186	0.2280	0.2374				
19	0.1612	0.1717	0.1822	0.1928	0.2033	0.2138	0.2243	0.2348	0.2453	0.2558	0.2663	0.2768			
20	0.1799	0.1915	0.2032	0.2148	0.2265	0.2381	0.2498	0.2614	0.2731	0.2847	0.2963	0.3080	0.3196		
21	0.1991	0.2120	0.2248	0.2377	0.2505	0.2633	0.2762	0.2890	0.3018	0.3147	0.3275	0.3404	0.3532	0.3660	
22	0.2190	0.2331	0.2471	0.2612	0.2753	0.2894	0.3035	0.3176	0.3317	0.3458	0.3598	0.3739	0.3880	0.4021	
23	0.2393	0.2547	0.2701	0.2855	0.3009	0.3163	0.3317	0.3471	0.3625	0.3779	0.3933	0.4087	0.4241	0.4395	
24	0.2603	0.2771	0.2938	0.3106	0.3274	0.3441	0.3609	0.3777	0.3944	0.4112	0.4280	0.4447	0.4615	0.4783	
25	0.2818	0.3000	0.3182	0.3364	0.3546	0.3728	0.3910	0.4092	0.4274	0.4456	0.4637	0.4819	0.5001	0.5183	
26	0.3039	0.3236	0.3433	0.3629	0.3826	0.4023	0.4220	0.4417	0.4613	0.4810	0.5007	0.5204	0.5400	0.5597	
27	0.3266	0.3478	0.3690	0.3902	0.4115	0.4327	0.4539	0.4751	0.4963	0.5176	0.5388	0.5600	0.5812	0.6024	
28	0.3498	0.3726	0.3954	0.4183	0.4411	0.4639	0.4867	0.5095	0.5324	0.5552	0.5780	0.6008	0.6237	0.6465	
29	0.3736	0.3981	0.4226	0.4470	0.4715	0.4960	0.5205	0.5450	0.5694	0.5939	0.6184	0.6429	0.6674	0.6918	
30	0.3980	0.4242	0.4504	0.4766	0.5028	0.5290	0.5551	0.5813	0.6075	0.6337	0.6599	0.6861	0.7123	0.7385	
31	0.4509	0.4788	0.5068	0.5348	0.5628	0.5907	0.6187	0.6467	0.6747	0.7026	0.7306	0.7586	0.7866		
32	0.5080	0.5378	0.5676	0.5974	0.6272	0.6571	0.6869	0.7167	0.7465	0.7763	0.8061	0.8359			
33	0.5696	0.6013	0.6330	0.6647	0.6964	0.7281	0.7598	0.7915	0.8232	0.8549	0.8866				
34	0.6357	0.6694	0.7030	0.7367	0.7703	0.8040	0.8376	0.8713	0.9049	0.9386					
35	0.7066	0.7423	0.7779	0.8136	0.8493	0.8849	0.9206	0.9562	0.9919						
36	0.7825	0.8202	0.8579	0.8956	0.9334	0.9711	1.0088	1.0465							
37	0.8634	0.9033	0.9431	0.9830	1.0228	1.0627	1.1025								
38	0.9496	0.9917	1.0337	1.0757	1.1178	1.1598									
39	1.0413	1.0856	1.1299	1.1742	1.2184										
40	1.1387	1.1852	1.2318	1.2784											

$$\text{Volumen Comercial} = 0.00758074(\text{DAP}) - 0.00021035(\text{DAP}^2) + 0.00002911(\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.08551444$$

## Apéndice 8, cuadro 19: Tabla de Volumen de Madera para Pulpa CGFM 3

DAP (cm)	Altura Total (m)													
	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>16</u>	0.0984	0.1061	0.1137	0.1214	0.1291	0.1368	0.1445	0.1522	0.1599					
<u>17</u>	0.1142	0.1229	0.1315	0.1402	0.1489	0.1576	0.1662	0.1749	0.1836	0.1923				
<u>18</u>	0.1302	0.1400	0.1497	0.1594	0.1691	0.1789	0.1886	0.1983	0.2081	0.2178	0.2275			
<u>19</u>	0.1465	0.1574	0.1682	0.1791	0.1899	0.2007	0.2116	0.2224	0.2333	0.2441	0.2550	0.2658		
<u>20</u>	0.1631	0.1751	0.1871	0.1991	0.2112	0.2232	0.2352	0.2472	0.2592	0.2712	0.2832	0.2952	0.3073	
<u>21</u>	0.1799	0.1932	0.2064	0.2196	0.2329	0.2461	0.2594	0.2726	0.2859	0.2991	0.3124	0.3256	0.3388	0.3521
<u>22</u>	0.1970	0.2115	0.2261	0.2406	0.2551	0.2697	0.2842	0.2987	0.3133	0.3278	0.3423	0.3569	0.3714	0.3860
<u>23</u>	0.2143	0.2302	0.2461	0.2620	0.2779	0.2937	0.3096	0.3255	0.3414	0.3573	0.3732	0.3891	0.4050	0.4208
<u>24</u>	0.2319	0.2492	0.2665	0.2838	0.3011	0.3184	0.3357	0.3530	0.3703	0.3876	0.4049	0.4222	0.4395	0.4568
<u>25</u>	0.2497	0.2685	0.2873	0.3060	0.3248	0.3436	0.3624	0.3811	0.3999	0.4187	0.4374	0.4562	0.4750	0.4937
<u>26</u>	0.2678	0.2881	0.3084	0.3287	0.3490	0.3693	0.3896	0.4099	0.4302	0.4505	0.4708	0.4911	0.5114	0.5317
<u>27</u>	0.2862	0.3081	0.3299	0.3518	0.3737	0.3956	0.4175	0.4394	0.4613	0.4832	0.5051	0.5270	0.5489	0.5708
<u>28</u>	0.3048	0.3283	0.3518	0.3754	0.3989	0.4225	0.4460	0.4696	0.4931	0.5167	0.5402	0.5638	0.5873	0.6109
<u>29</u>	0.3236	0.3489	0.3741	0.3994	0.4246	0.4499	0.4752	0.5004	0.5257	0.5509	0.5762	0.6014	0.6267	0.6520
<u>30</u>	0.3427	0.3697	0.3968	0.4238	0.4508	0.4779	0.5049	0.5319	0.5589	0.5860	0.6130	0.6400	0.6671	0.6941
<u>31</u>		0.3909	0.4198	0.4487	0.4775	0.5064	0.5352	0.5641	0.5930	0.6218	0.6507	0.6796	0.7084	0.7373
<u>32</u>			0.4432	0.4739	0.5047	0.5355	0.5662	0.5970	0.6277	0.6585	0.6892	0.7200	0.7507	0.7815
<u>33</u>				0.4997	0.5324	0.5651	0.5978	0.6305	0.6632	0.6959	0.7286	0.7613	0.7940	0.8267
<u>34</u>					0.5605	0.5953	0.6300	0.6647	0.6994	0.7341	0.7689	0.8036	0.8383	0.8730
<u>35</u>						0.6260	0.6628	0.6996	0.7364	0.7732	0.8100	0.8467	0.8835	0.9203
<u>36</u>							0.6962	0.7351	0.7741	0.8130	0.8519	0.8908	0.9298	0.9687
<u>37</u>								0.7714	0.8125	0.8536	0.8947	0.9358	0.9770	1.0181
<u>38</u>									0.8516	0.8950	0.9384	0.9818	1.0251	1.0685
<u>39</u>										0.9372	0.9829	1.0286	1.0743	1.1199
<u>40</u>											1.0283	1.0763	1.1244	1.1724

Volumen de Madera para Pulpa =  $1.02442463(0.011392(\text{DAP}) - 0.00037431(\text{DAP}^2)) +$

$0.000029317(\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.0922244) - 0.025367482$

Alternamente =

$1.02442463(\text{STON } 1996) - 0.02536748$

Apéndice 8, cuadro 20: Tabla de Volumen de Madera para Aserrio CGFM 3

		Altura Total (m)													
		<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>16</u>	DAP (cm)														
<u>17</u>					0.0836	0.1237	0.1638	0.2038	0.2439	0.2840					
<u>18</u>					0.0712	0.1100	0.1487	0.1874	0.2262	0.2649	0.3037				
<u>19</u>					0.0626	0.0999	0.1373	0.1746	0.2119	0.2493	0.2866	0.3240			
<u>20</u>					0.0578	0.0936	0.1295	0.1653	0.2012	0.2370	0.2729	0.3087	0.3446		
<u>21</u>					0.0567	0.0910	0.1253	0.1596	0.1939	0.2281	0.2624	0.2967	0.3310	0.3652	
<u>22</u>					0.0595	0.0921	0.1248	0.1574	0.1900	0.2226	0.2553	0.2879	0.3205	0.3532	0.3858
<u>23</u>					0.0660	0.0969	0.1278	0.1587	0.1896	0.2205	0.2514	0.2823	0.3132	0.3441	0.3750
<u>24</u>					0.0764	0.1055	0.1346	0.1636	0.1927	0.2218	0.2509	0.2800	0.3091	0.3382	0.3673
<u>25</u>				0.0633	0.0905	0.1177	0.1449	0.1721	0.1993	0.2265	0.2537	0.2809	0.3081	0.3353	0.3625
<u>26</u>			0.0580	0.0832	0.1084	0.1337	0.1589	0.1841	0.2093	0.2346	0.2598	0.2850	0.3102	0.3354	0.3607
<u>27</u>		0.0606	0.0838	0.1070	0.1301	0.1533	0.1765	0.1997	0.2228	0.2460	0.2692	0.2923	0.3155	0.3387	0.3619
<u>28</u>		0.0925	0.1136	0.1346	0.1556	0.1767	0.1977	0.2188	0.2398	0.2608	0.2819	0.3029	0.3240	0.3450	0.3660
<u>29</u>		0.1285	0.1473	0.1661	0.1849	0.2038	0.2226	0.2414	0.2602	0.2791	0.2979	0.3167	0.3355	0.3544	0.3732
<u>30</u>		0.1684	0.1849	0.2015	0.2180	0.2345	0.2511	0.2676	0.2841	0.3007	0.3172	0.3337	0.3503	0.3668	0.3833
<u>31</u>		0.2124	0.2266	0.2407	0.2549	0.2690	0.2832	0.2974	0.3115	0.3257	0.3398	0.3540	0.3681	0.3823	0.3965
<u>32</u>		0.2721	0.2838	0.2955	0.3072	0.3189	0.3307	0.3424	0.3541	0.3658	0.3775	0.3892	0.4009	0.4126	
<u>33</u>		0.3308	0.3400	0.3492	0.3583	0.3675	0.3767	0.3858	0.3950	0.4042	0.4133	0.4225	0.4317		
<u>34</u>		0.3882	0.3948	0.4013	0.4079	0.4144	0.4210	0.4275	0.4341	0.4407	0.4472	0.4538			
<u>35</u>				0.4441	0.4480	0.4518	0.4557	0.4595	0.4634	0.4673	0.4711	0.4750	0.4788		
<u>36</u>				0.4982	0.4993	0.5004	0.5015	0.5026	0.5036	0.5047	0.5058	0.5069			
<u>37</u>					0.5504	0.5486	0.5468	0.5450	0.5433	0.5415	0.5397	0.5379			
<u>38</u>					0.6002	0.5955	0.5908	0.5861	0.5814	0.5767	0.5720				
<u>39</u>						0.6476	0.6399	0.6322	0.6244	0.6167	0.6090				
<u>40</u>							0.6923	0.6815	0.6706	0.6598	0.6490				
								0.7340	0.7200	0.7060	0.6920				

Volumen de Madera para Aserrio =  $-0.07494579(DAP)+0.00269999(DAP^2)-0.00004024(DAP^3)*Alt.Tot.) + 0.05037363(Alt. total) - 0.20988758$

# Apéndice 8, cuadro 21: Tabla de Volumen de Madera para Lápices CGFM 3

		Altura Total (m)													
		<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
DAP (cm)															
	<u>16</u>														
	<u>17</u>														
	<u>18</u>														
	<u>19</u>														
	<u>20</u>				0.0620	0.0636	0.0651	0.0667	0.0682	0.0697	0.0713	0.0728	0.0744	0.0759	
	<u>21</u>	0.0670	0.0687	0.0704	0.0721	0.0738	0.0755	0.0772	0.0789	0.0806	0.0823	0.0840	0.0857	0.0874	0.0891
	<u>22</u>	0.0770	0.0788	0.0807	0.0826	0.0845	0.0863	0.0882	0.0901	0.0919	0.0938	0.0957	0.0975	0.0994	0.1013
	<u>23</u>	0.0874	0.0895	0.0915	0.0936	0.0956	0.0977	0.0997	0.1017	0.1038	0.1058	0.1079	0.1099	0.1120	0.1140
	<u>24</u>	0.0984	0.1006	0.1028	0.1050	0.1073	0.1095	0.1117	0.1139	0.1162	0.1184	0.1206	0.1228	0.1250	0.1273
	<u>25</u>	0.1097	0.1121	0.1146	0.1170	0.1194	0.1218	0.1242	0.1266	0.1290	0.1314	0.1339	0.1363	0.1387	0.1411
	<u>26</u>	0.1216	0.1242	0.1268	0.1294	0.1320	0.1346	0.1372	0.1398	0.1424	0.1450	0.1476	0.1503	0.1529	0.1555
	<u>27</u>	0.1338	0.1366	0.1394	0.1423	0.1451	0.1479	0.1507	0.1535	0.1563	0.1591	0.1620	0.1648	0.1676	0.1704
	<u>28</u>	0.1465	0.1496	0.1526	0.1556	0.1586	0.1617	0.1647	0.1677	0.1707	0.1738	0.1768	0.1798	0.1828	0.1859
	<u>29</u>	0.1597	0.1629	0.1662	0.1694	0.1727	0.1759	0.1792	0.1824	0.1857	0.1889	0.1922	0.1954	0.1986	0.2019
	<u>30</u>	0.1733	0.1768	0.1803	0.1837	0.1872	0.1907	0.1941	0.1976	0.2011	0.2046	0.2080	0.2115	0.2150	0.2185
	<u>31</u>	0.1911	0.1948	0.1985	0.2022	0.2059	0.2096	0.2133	0.2170	0.2207	0.2245	0.2282	0.2319	0.2356	
	<u>32</u>		0.2098	0.2137	0.2177	0.2216	0.2256	0.2295	0.2335	0.2374	0.2414	0.2454	0.2493	0.2533	
	<u>33</u>			0.2294	0.2336	0.2379	0.2421	0.2463	0.2505	0.2547	0.2589	0.2631	0.2673	0.2715	
	<u>34</u>				0.2501	0.2546	0.2590	0.2635	0.2679	0.2724	0.2769	0.2813	0.2858	0.2902	
	<u>35</u>					0.2717	0.2765	0.2812	0.2859	0.2907	0.2954	0.3001	0.3048	0.3096	
	<u>36</u>						0.2944	0.2994	0.3044	0.3094	0.3144	0.3194	0.3244	0.3294	
	<u>37</u>							0.3181	0.3234	0.3287	0.3340	0.3393	0.3446	0.3499	
	<u>38</u>								0.3429	0.3485	0.3541	0.3597	0.3652	0.3708	
	<u>39</u>									0.3689	0.3747	0.3806	0.3865	0.3923	
	<u>40</u>										0.3959	0.4020	0.4082	0.4144	

Volumen de Madera para Lápices = -0.022431(DAP) + 0.00075925(DAP<sup>2</sup>) -

0.000000204(DAP<sup>2</sup> \* Alt.Tot.) + 0.21271404

Apéndice 8, cuadro 22: Tabla de Volumen Comercial de Madera CGFM 4

DAP (cm)	Altura Total (m)															
	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>		
<u>16</u>	0.1083	0.1181	0.1279	0.1376	0.1474	0.1572	0.1670	0.1768	0.1865							
<u>17</u>	0.1238	0.1348	0.1459	0.1569	0.1680	0.1790	0.1900	0.2011	0.2121	0.2232						
<u>18</u>	0.1389	0.1513	0.1637	0.1761	0.1885	0.2008	0.2132	0.2256	0.2380	0.2504	0.2627					
<u>19</u>	0.1538	0.1676	0.1813	0.1951	0.2089	0.2227	0.2365	0.2503	0.2641	0.2779	0.2917	0.3055				
<u>20</u>	0.1682	0.1835	0.1988	0.2141	0.2294	0.2447	0.2599	0.2752	0.2905	0.3058	0.3211	0.3364	0.3516			
<u>21</u>	0.1824	0.1992	0.2161	0.2329	0.2498	0.2666	0.2835	0.3003	0.3172	0.3340	0.3509	0.3677	0.3846	0.4014		
<u>22</u>	0.1962	0.2147	0.2332	0.2517	0.2702	0.2886	0.3071	0.3256	0.3441	0.3626	0.3811	0.3996	0.4181	0.4366		
<u>23</u>	0.2096	0.2299	0.2501	0.2703	0.2905	0.3107	0.3309	0.3511	0.3713	0.3916	0.4118	0.4320	0.4522	0.4724		
<u>24</u>	0.2228	0.2448	0.2668	0.2888	0.3108	0.3328	0.3548	0.3768	0.3988	0.4208	0.4429	0.4649	0.4869	0.5089		
<u>25</u>	0.2355	0.2594	0.2833	0.3072	0.3311	0.3550	0.3788	0.4027	0.4266	0.4505	0.4744	0.4982	0.5221	0.5460		
<u>26</u>	0.2480	0.2738	0.2996	0.3255	0.3513	0.3771	0.4030	0.4288	0.4546	0.4805	0.5063	0.5321	0.5579	0.5838		
<u>27</u>	0.2601	0.2879	0.3158	0.3437	0.3715	0.3994	0.4272	0.4551	0.4829	0.5108	0.5386	0.5665	0.5944	0.6222		
<u>28</u>	0.2719	0.3018	0.3318	0.3617	0.3917	0.4216	0.4516	0.4816	0.5115	0.5415	0.5714	0.6014	0.6313	0.6613		
<u>29</u>	0.2833	0.3154	0.3476	0.3797	0.4118	0.4440	0.4761	0.5082	0.5404	0.5725	0.6046	0.6368	0.6689	0.7010		
<u>30</u>	0.2944	0.3288	0.3632	0.3975	0.4319	0.4663	0.5007	0.5351	0.5695	0.6039	0.6383	0.6727	0.7070	0.7414		
<u>31</u>		0.3418	0.3786	0.4153	0.4520	0.4887	0.5254	0.5622	0.5989	0.6356	0.6723	0.7090	0.7458	0.7825		
<u>32</u>			0.3938	0.4329	0.4720	0.5112	0.5503	0.5894	0.6285	0.6677	0.7068	0.7459	0.7851	0.8242		
<u>33</u>				0.4504	0.4920	0.5337	0.5753	0.6169	0.6585	0.7001	0.7417	0.7833	0.8249	0.8665		
<u>34</u>					0.5120	0.5562	0.6004	0.6445	0.6887	0.7329	0.7770	0.8212	0.8654	0.9096		
<u>35</u>						0.5788	0.6256	0.6724	0.7192	0.7660	0.8128	0.8596	0.9064	0.9532		
<u>36</u>							0.6509	0.7004	0.7499	0.7995	0.8490	0.8985	0.9480	0.9975		
<u>37</u>								0.7287	0.7810	0.8333	0.8856	0.9379	0.9902	1.0425		
<u>38</u>									0.8123	0.8674	0.9226	0.9778	1.0330	1.0881		
<u>39</u>										0.9020	0.9601	1.0182	1.0763	1.1344		
<u>40</u>											0.9980	1.0591	1.1202	1.1814		

Volumen Comercial =  $0.02109307(\text{DAP}) - 0.00081916(\text{DAP}^2) + 0.00003821(\text{DAP}^2 * \text{Alt.Tot.}) - 0.18578757$

Apéndice 8, cuadro 23: Tabla de Volumen de Madera para Pulpa CGFM 4

DAP (cm)	Altura Total (m)														
	<u>16</u>	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
<u>16</u>	0.0821	0.0873	0.0925	0.0978	0.1030	0.1083	0.1135	0.1187	0.1240						
<u>17</u>	0.0928	0.0987	0.1047	0.1106	0.1165	0.1224	0.1283	0.1342	0.1401	0.1460					
<u>18</u>	0.1038	0.1104	0.1170	0.1237	0.1303	0.1369	0.1435	0.1502	0.1568	0.1634	0.1701				
<u>19</u>	0.1149	0.1223	0.1297	0.1370	0.1444	0.1518	0.1592	0.1666	0.1740	0.1814	0.1887	0.1961			
<u>20</u>	0.1262	0.1343	0.1425	0.1507	0.1589	0.1671	0.1753	0.1834	0.1916	0.1998	0.2080	0.2162	0.2244		
<u>21</u>	0.1376	0.1466	0.1557	0.1647	0.1737	0.1827	0.1918	0.2008	0.2098	0.2188	0.2278	0.2369	0.2459	0.2549	
<u>22</u>	0.1493	0.1592	0.1691	0.1790	0.1889	0.1988	0.2087	0.2186	0.2285	0.2384	0.2483	0.2582	0.2681	0.2780	
<u>23</u>	0.1611	0.1719	0.1827	0.1935	0.2043	0.2152	0.2260	0.2368	0.2476	0.2585	0.2693	0.2801	0.2909	0.3017	
<u>24</u>	0.1730	0.1848	0.1966	0.2084	0.2202	0.2319	0.2437	0.2555	0.2673	0.2791	0.2909	0.3027	0.3144	0.3262	
<u>25</u>	0.1852	0.1980	0.2107	0.2235	0.2363	0.2491	0.2619	0.2747	0.2875	0.3003	0.3130	0.3258	0.3386	0.3514	
<u>26</u>	0.1975	0.2113	0.2252	0.2390	0.2528	0.2666	0.2805	0.2943	0.3081	0.3220	0.3358	0.3496	0.3635	0.3773	
<u>27</u>	0.2100	0.2249	0.2398	0.2547	0.2696	0.2846	0.2995	0.3144	0.3293	0.3442	0.3591	0.3740	0.3890	0.4039	
<u>28</u>	0.2227	0.2387	0.2547	0.2708	0.2868	0.3029	0.3189	0.3349	0.3510	0.3670	0.3831	0.3991	0.4151	0.4312	
<u>29</u>	0.2355	0.2527	0.2699	0.2871	0.3043	0.3215	0.3387	0.3559	0.3731	0.3904	0.4076	0.4248	0.4420	0.4592	
<u>30</u>	0.2485	0.2669	0.2853	0.3038	0.3222	0.3406	0.3590	0.3774	0.3958	0.4142	0.4326	0.4511	0.4695	0.4879	
<u>31</u>	0.2814	0.3010	0.3207	0.3403	0.3600	0.3797	0.3993	0.4190	0.4386	0.4583	0.4780	0.4976	0.5173		
<u>32</u>		0.3170	0.3379	0.3589	0.3798	0.4000	0.4223	0.4446	0.4668	0.4891	0.5114	0.5337	0.5559	0.5782	
<u>33</u>			0.3554	0.3777	0.4000	0.4223	0.4446	0.4679	0.4915	0.5152	0.5388	0.5625	0.5861	0.6098	
<u>34</u>				0.3969	0.4206	0.4442	0.4679	0.4916	0.5167	0.5417	0.5668	0.5919	0.6169	0.6420	
<u>35</u>					0.4415	0.4666	0.4916	0.5167	0.5424	0.5689	0.5954	0.6219	0.6484	0.6749	
<u>36</u>						0.4893	0.5158	0.5424	0.5685	0.5965	0.6245	0.6525	0.6806	0.7086	
<u>37</u>							0.5405	0.5685	0.5965	0.6245	0.6525	0.6806	0.7086		
<u>38</u>								0.5952	0.6247	0.6543	0.6838	0.7134	0.7429		
<u>39</u>									0.6535	0.6846	0.7157	0.7468	0.7780		
<u>40</u>										0.7155	0.7482	0.7810	0.8137		

Volumen de Madera para Pulpa =  $0.69782662(0.011392(DAP) - 0.00037431(DAP^2) + 0.000029317(DAP^2 * Alt.Tot.) - 0.092244) - 0.00221450$

Alternamente =  $0.69782662(STON 1996) - 0.00221450$