

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CORRECCIÓN EN
SISTEMA DE INFORMACIÓN DE INVENTARIO FORESTAL,
PARA LA EMPRESA ARAZATÍ S.A.**

por

Laura DÍAZ MORENO
Héctor GERONA
Silvia GÓMEZ CAVIGLIA
Roberto MASLIAH

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo
(Orientación Forestal)

MONTEVIDEO
URUGUAY
1998

Tesis aprobada por:

Director:

ARIANNA SORRENTINO

Nombre completo y firma

GUILLERMO MORAS

Nombre completo y firma

RAFAEL ESCUDERO

Nombre completo y firma

Fecha:

Autor:

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

- A nuestra Directora de Tesis, Ing. Agr. Arianna Sorrentino Fattoruso por su invalorable apoyo y guía permanente durante el desarrollo del trabajo.
- Al Ing. Agr. Carlos Voulminot por haber cooperado muy estrechamente en nuestra labor en todo momento.
- A todo el personal del Establecimiento Puerto Arazatí por la franca y desinteresada ayuda que siempre recibimos de ellos.
- A todos nuestros familiares y amigos por recibir todo ese tipo de apoyo que siempre es valioso para llevar las cosas adelante.
- Al Ing. Agr. Guillermo Morás por su cooperación en este trabajo.

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°		Página
1.	Tabla de volumen comercial calculado según fórmula de Newton (trozas comerciales)	49
2.	Tabla de volumen comercial calculado según fórmula de Smalian (trozas de 1 metro de largo)	51
3.	Tabla de volumen comercial con corteza calculado según fórmula de Smalian (trozas comerciales)	53
4.	Tabla de volumen comercial sin corteza calculado según fórmula de Smalian (trozas comerciales)	55
5.	Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 1 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Newton).....	58
6.	Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 2 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Newton).....	59
7.	Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 1 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Smalian).....	62
8.	Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 2 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Smalian).....	63
9.	Porcentaje de corteza promedio para trozas de 4.25 metros en función de la clase de diámetro	74
10.	Porcentaje de corteza promedio para trozas de 3.35 metros en función de la clase de diámetro	75
11.	Porcentaje de corteza promedio del árbol sin incluir la troza basal en función del DAP	77

Figura N°

1.	Evolución del área forestada para el período 1975- 1995	1
2.	Porcentaje de forestación por género o grupo forestal	2
3.	Superficie forestada con pinos según especie	3
4.	Porcentaje de corteza en el árbol	9
5.	Esquema de procedimiento en el Muestreo Bitterlich. Prueba	

horizontal o de numeración angular: proceso de inclusión o exclusión de árboles muestra	17
6. Parcelas concéntricas generadas en el giro de 360° del observador ...	20
7. Croquis de ubicación del Establecimiento Puerto Arazatí	35
8. Delimitación del área de prueba	38
9. Demarcación de árboles incluidos en el área de prueba	39
10. Medición de los diámetros del fuste metro a metro con la forcípula ...	40
11. Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP	48
12. Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas de 1 metro de largo) vs DAP	50
13. Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas comerciales) vs DAP	52
14. Volumen total comercial sin corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas comerciales) vs DAP	54
15. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 1 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP	57
16. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 1 (calculado por la fórmula de Smalian) vs DAP	61
17. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 2 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP	64
18. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 3 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP	64
19. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 2 (calculado por la fórmula de Smalian) vs DAP	65
20. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 3 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP	65
21. Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Newton vs DAP	67
22. Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Smalian para trozas de 1 metro de largo vs DAP	68
23. Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Smalian para trozas comerciales vs DAP	69
24. Factor de forma comercial calculando el volumen real sin corteza por la fórmula de Smalian para trozas comerciales vs DAP	70
25. Comparación entre factores de forma	71
26. Porcentaje de corteza de la troza basal de 4.25 metros en función del diámetro medio de la troza	75
27. Porcentaje de corteza de la troza basal de 3.35 metros en función del diámetro medio de la troza	76
28. Porcentaje de corteza del árbol sin incluir la troza basal en función del DAP	78

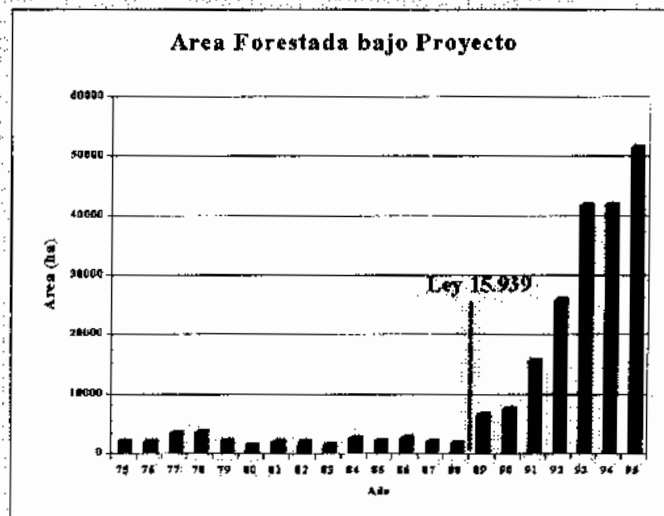
1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Durante los últimos cinco años, el sector forestal uruguayo ha experimentado un desarrollo vertiginoso, como consecuencia lógica de la aplicación exitosa de las políticas forestales vigentes (Ley 15.939), que promueven e incentivan la forestación en grandes extensiones territoriales.

En el periodo 1975- 1989 la tasa promedio de plantación fue igual a 2.090 hectáreas por año. Dicha tasa de forestación asciende a 26.000 hectáreas anuales en el quinquenio 1990- 1994.

De acuerdo a estos incrementos y al actual desarrollo del sector, la Dirección Forestal (M.G.A.y P.) plantea tasas anuales mínimas de forestación de 40.000 hectáreas por año para el periodo 1995- 1999. Actualmente, ya se están registrando tasas anuales de 50.000 hectáreas de bosque por año y se prevé que estas cifras continuarán aumentando. Esto se ve reflejado en la Figura 1, elaborada a partir de datos proporcionados por la Dirección Forestal, M.G.A.y P. en diciembre de 1997.



Fuente: Dirección Forestal,
M.G.A.y P. Diciembre, 1997.

Figura 1. Evolución del área forestada para el período 1975- 1995

Este crecimiento en la cobertura forestal de nuestro país que se traducirá en una oferta de casi 10 millones de metros cúbicos para el año 2010, se da en un contexto internacional de aumento en el déficit de madera y por tanto en un aumento de los precios de los productos forestales (Dirección Forestal, M.G.A.y P.).

Actualmente el país cuenta con 300.000 hectáreas forestadas de las cuales el 86% corresponde al género *Eucalyptus*, el 13% al género *Pinus* y el 1% restante al grupo Salicáceas. Estos datos se representan en la Figura 2, elaborada en base a cifras proporcionadas por la Dirección Forestal, M.G.A. y P., en diciembre de 1997.

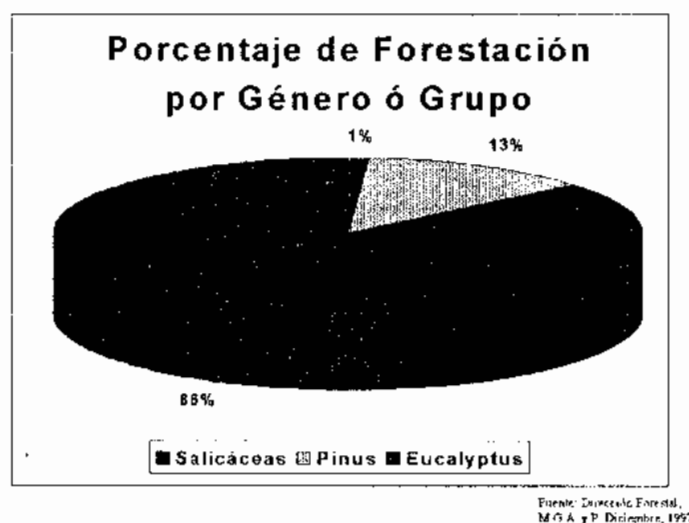
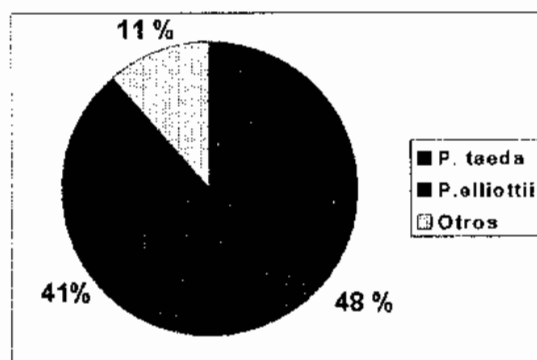


Figura 2. Porcentaje de forestación por género o grupo forestal (Diciembre, 1997)

Las principales especies de pino utilizadas con fines específicos de producción de madera son: **pino taeda** (*Pinus taeda* L.), **pino elioti** (*Pinus elliotii* Engelm. var. *elliottii*) y en una pequeña proporción **pino marítimo** (*Pinus pinaster* Ait.) y **pino insigne** (*Pinus radiata* D. Don).

En la Figura 3 (basada en datos proporcionados por la Dirección Forestal, M.G.A. y P.) se grafica el porcentaje de la superficie forestada con pinos que ocupa cada especie.

Superficie forestada con pinos según especie



Fuente: Dirección Forestal, M. G. A. P.
Diciembre, 1995.

Figura 3. Superficie forestada con pinos según especie (Diciembre, 1995)

Las especies *P. elliottii* var. *elliottii* y *P. taeda*, utilizadas en este trabajo, presentan una muy buena calidad de madera con destino de aserrado, altas tasas de crecimiento y buen comportamiento sanitario.

Todo este gran desarrollo del sector forestal ha generado obviamente, nuevas necesidades de especialización dentro del área forestal, entre las cuales los SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE INVENTARIO ocupan uno de los lugares principales.

Una vez completadas las primeras etapas del proceso de desarrollo del sector, que incluyen la producción de plantas en viveros y las técnicas de plantación y silviculturales en general, la evaluación y seguimiento de las poblaciones forestadas generadas, pasa a ser una de las preocupaciones inmediatas.

En estas etapas se hace necesario implementar sistemas de información de INVENTARIO FORESTAL CONTINUO y MODELOS DE SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO, que permitan no sólo realizar un seguimiento del desarrollo de las plantaciones, sino que además aseguren una correcta planificación de los productos comerciales finales, satisfaciendo las cantidades demandadas por las industrias asociadas al recurso.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de tesis consiste en calcular los valores de los factores de corrección para los distintos métodos de inventario en PINOS, a efectos de predecir con mayor exactitud los rendimientos. Esto se realizó a través de la corta y

tala rasa de un área de prueba y la preparación de tablas de volumen para árboles y trozas comerciales. Los factores calculados incluyen aspectos de muestreo de inventario y modelos de simulación de rendimiento. De esta forma, se pretende determinar en que medida el sistema de inventario continuo resulta satisfactorio para la empresa.

Se parte del supuesto de que el sistema de información de inventario instalado en la compañía, predice con errores de diferente magnitud, la producción comercial específica de la empresa. El sistema de información desarrollado, con su propio *software* implementado para la empresa, supone factores de corrección iguales a la unidad (1), para todos los rubros en forma implícita. Pero permite sustituir dichos valores por diferentes factores de corrección, para predecir con mayor exactitud y veracidad los rendimientos esperados de los bosques raleados o cortados totalmente, a partir de la información de terreno almacenada en las bases de datos.

Un objetivo secundario consiste en determinar en la práctica ventajas y desventajas de diferentes métodos de inventario (parcelas circulares, cuadradas y Bitterlich) y la comparación de tiempos para los distintos tipos de parcela. Para el caso del muestreo Bitterlich, influenciado por errores de tipo operativo, se evalúa además el tiempo empleado por diferentes operadores.

Otros objetivos consisten en la generación de tablas de volumen a partir del ajuste de las funciones correspondientes, el estudio de la variación del porcentaje de corteza entre árboles y dentro de un mismo árbol y el análisis de diferentes factores de forma.

Es importante mencionar que los resultados presentados son válidos solamente a nivel local o en condiciones con características muy similares (edafoclimáticas, especie, condiciones de manejo, entre otras).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINICIÓN DE INVENTARIO

Un inventario forestal es la descripción cuali y cuantitativa de los componentes de un área ocupada por bosques, por lo que en general incluye información sobre la cantidad y calidad de los productos.

Esto implica, tanto características correspondientes a los árboles, en cuanto a sus dimensiones dendrométricas, como al conjunto de individuos desde el punto de vista dasométrico en relación al área que estos ocupan, y a las condiciones del medio físico en el que se desarrollan. (Sorrentino, A. 1997)

Loetsch, F.- Haller, K. E. (1964) y Sosa Cedillo, V (1981) definen dos parámetros fundamentales para la realización de un inventario forestal:

- a) tamaño de las áreas
- b) los valores de las medidas de la multitud de árboles que crecen en dichas áreas

Para la determinación del tamaño de las áreas a estudio tanto Husch, B. (1963) como Loetsch, F. ; Haller, K. E. (1964), Sorrentino, A. (1992, 1997) y Sosa Cedillo, V. (1981) recomiendan el empleo de fotos aéreas.

Las técnicas de uso de las mismas para los propósitos del inventario forestal han sido desarrolladas durante más de tres décadas. Las fotografías aéreas proveen de una impresión global del área y una riqueza en detalles acerca de la forestación que permite al interpretador obtener información de gabinete con facilidad y a menor costo que en el terreno.

2.2 CENSO Y MUESTREO

El proceso de medir cada uno de los individuos que integran la población se denomina **Censo Poblacional**. Esto podría aplicarse a parcelas experimentales, montes pequeños y muy irregulares

Sin embargo, para poblaciones de gran tamaño, compuestas por numerosos individuos, el estudio completo de cada uno y todos sus integrantes, resultaría impracticable o prácticamente imposible. En tales casos, para obtener toda la información requerida, debe recurrirse al estudio de porciones pequeñas y representativas de la población, llamadas muestras. (Sorrentino, A. 1997)

El procedimiento se denomina muestreo. Muestrear es "seleccionar una parte de la población para representar al resto de la misma" según F. Yates (1960) citado por Loetsch, F.; Haller, K. (1964). El objetivo del muestreo es realizar las correctas inferencias acerca de la población. Esto sólo se justifica si la parte seleccionada es una representación verdadera de la población en pequeña escala y los individuos medidos constituyen las unidades muestrales. (Loetsch, F.- Haller, K. E. 1964)

El conjunto de las unidades de muestreo tomadas como un grupo específico está conformado por una cierta cantidad de integrantes que determinan el tamaño de la muestra.

El concepto de unidad muestral o individuo debe definirse previamente a la realización del muestreo.

A pesar de que una muestra no define exactamente una población original, permite hacer inferencias estadísticas sobre ella, a través de la descripción de las características muestrales. Pero para que estas características sean válidas, es necesario que la muestra proporcione parámetros insesgados de los parámetros de la población (por ejemplo la media) y estadígrafos de dispersión (por ejemplo la varianza), que no se alejen demasiado de los verdaderos valores. (Sorrentino, A. 1997)

Cuando elegimos un diseño de muestreo debemos tener en cuenta un balance entre los requerimientos estadísticos y los aspectos prácticos y financieros.

Debe considerarse el tiempo insumido en obtener los datos de la muestra, y ver si justifica el aumento de precisión de los resultados, con el aumento de costos del muestreo. (Sorrentino, A. 1997)

Lo importante al realizar comparaciones es tener en cuenta que cuando se evalúa la eficiencia de las muestras, es preciso considerar los factores tiempo y costo, ya que la mayor precisión lograda en las estimaciones, deja de tener justificación, cuando el aumento en los costos es demasiado grande. Este tema no puede analizarse por si solo, ya que depende de cada situación particular, pero lo que nunca debe perderse de vista es que la eficiencia de un muestreo no puede medirse sólo en términos estadísticos, ya que juegan un papel muy importante los factores operativos y económicos.

2.2.1 Tamaño de muestra

El tamaño de muestra va a depender de dos factores esenciales: la precisión que se desea para el trabajo y la variabilidad de la población original, respecto a los parámetros que se pretenden estimar.

Cuando el tamaño definitivo de muestra calculado para un error de muestreo máximo admisible, resulta muy superior al tamaño de la muestra preliminar, esta evidenciando que existe mucha variabilidad en el material original, porque la población realmente es variable o porque la muestra inicial es demasiado pequeña (insuficiente).

Pero obviamente, como para evaluar la eficiencia estadística de un muestreo deben tenerse en cuenta todos los factores juntos, es decir tamaño de muestra final y resultados de los estimadores, cuando una muestra preliminar produce un cálculo de "n" final muy elevado, seguramente resulta poco efectivo el diseño de muestreo, pues hay que considerar el tiempo insumido para lograr ese error, de lo contrario un muestreo que implique demasiado tiempo, deja de ser eficiente, en comparación con otro que permita obtener la misma calidad de resultados en menos tiempo (Sorrentino, A. 1997).

En términos generales el número mínimo de individuos para la confección de tablas de volumen varía según los autores. Laffitte, J. et al. (1964) sugieren un número mínimo de 300 individuos.

Los autores Avery, T. (1967) y Husch, B. (1963) señalan que en el caso de rodales monoespecíficos y homogéneos, las tablas locales pueden ser de 50 a 100 árboles y las tablas generales de 80 a 150 árboles.

Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. (1964) coinciden en que para la construcción de tablas locales la medición de 50 a 100 árboles es suficiente. Destacan que es esencial que la muestra contenga árboles que abarquen todo el rango de diámetros y alturas para los cuales la tabla va a ser construida.

2.2.2 Estimación de los parámetros de la población por medio del muestreo

De acuerdo a R.A. Fisher (1950) citado por Loetsch, F.- Haller, K. E. (1964) existen tres condiciones que debe cumplir un estimador: consistencia, eficiencia y suficiencia.

El estimador de un parámetro a medida que la muestra se incrementa debe tender a un valor fijo, el cual coincide con el parámetro de la población. Un estimador, que cumpla con este requisito, es un estimador consistente del punto de vista estadístico.

Una estadística suficiente provee toda la información que es posible obtener de un parámetro y la misma no puede ser mejorada por posteriores estimaciones.

2.3 MEDICIÓN DIRECTA DEL VOLUMEN DE UN ARBOL

2.3.1 Mediciones en árboles en pie

2.3.1.1 Medición de diámetros

Varios autores como Avery, T. (1967), Bruce, D. y Schumacher, F. X. (1965), Cailliez, F. (1980), Husch, B. (1963), Loetsch F., Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) y Sorrentino A. (1992, 1997) coinciden respecto a este punto.

La expresión general de diámetro se denomina diámetro de referencia y se mide a una altura desde el suelo establecida en forma convencional. En la mayoría de los países latinoamericanos esta referencia se fija en 1.30 m desde el nivel del suelo, teniendo en cuenta ciertas normas generales de mensura para situaciones de fustes torcidos, bifurcados, con anomalías, inclinados, terrenos con pendiente y otros aspectos.

La expresión popular de este diámetro se denomina **DAP**, que abrevia las palabras **diámetro a la altura del pecho**, pues en la mayoría de los operarios, corresponde a la posición aproximada.

En ejemplares arbóreos considerados fustales, la verdadera forma de la sección de los troncos, se ubica entre el círculo y la elipse, motivo por el cual se recomienda medir dos

diámetros perpendiculares y a los efectos del inventario, se trabaja con el promedio aritmético de ambos.

Tanto Avery, T. (1967) como Cailliez, F. (1980), Husch, B. (1963) y Sorrentino A. (1992) coinciden en que la forcípula común es el instrumento más apropiado y práctico para realizar las mediciones de DAP.

Sorrentino, A. (1997) considera otras variables útiles para expresar el grosor del fuste de los árboles, se refiere a diámetros a diferentes alturas, fundamentalmente en relación a las exigencias mínimas y máximas comerciales de utilización, que están condicionadas por el tipo de producto que se evalúa y el destino que se le va a dar a la madera. Estos diámetros denominados críticos deben especificarse siempre, puesto que la variación es muy grande, incluso dentro de un mismo país debido a la diversidad de productos que un mismo árbol puede ofrecer.

En trozas comerciales o secciones del fuste de diferentes largos y usos, en general se utilizan los diámetros de sus extremos, siendo críticos tanto el diámetro menor (por ej. para trozas aserrables) como el mayor, o ambos (por ej. columnas para alumbrado o postes telefónicos)

2.3.1.2 Medición de altura

De acuerdo a Sorrentino, A. (1997) las alturas, las cuales son necesarias para el cálculo de volumen, sólo van a ser medidas en una fracción de la población total.

Definir las variables de longitud resulta algo más complejo puesto que a los efectos del inventario interesa establecer el largo comercial, en relación a los productos que ofrece el árbol, lo que a su vez está condicionado por los diámetros críticos mencionados.

La altura del árbol en pie se define tanto desde el suelo hasta el tope (altura total), como en largos útiles de diferentes secciones, teniendo en cuenta además, que con el aprovechamiento integral del árbol (en la actualidad practicado con frecuencia en el Uruguay), del mismo fuste se obtienen combinaciones de varios productos comerciales. Esto determina que no pueda definirse una altura comercial única, sino largos comerciales hasta determinados diámetros críticos, desde la base utilizable hasta el mínimo diámetro crítico del fuste comercial, teniendo en cuenta además el aspecto de conformación o rectitud del mismo (Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. 1964; Sorrentino, A. 1992, 1997).

Existen numerosos instrumentos para las determinaciones de altura: Hipsómetro de Christen, Hipsómetro de Merritt, Dendrómetro de Blume-Leiss, Hipsómetro Haga, Clinómetro de Suunto, Nivel Abney y Relascopio de Bitterlich.

La determinación de altura con el relascopio se efectúa mediante las bandas o fajas hipsométricas; éstas vienen subdivididas en tres escalas para utilizar distancias horizontales de 20, 25 y 30 metros. El funcionamiento del relascopio se basa en los principios trigonométricos generales, por lo tanto, la altura se obtiene sumando o restando las lecturas superior (altura a medir) e inferior (base del árbol) y el resultado se expresa directamente en metros (Sorrentino, A. 1992).

2.3.1.3 Medición de corteza

A pesar de que existen ciertos usos marginales de la corteza de los árboles para muchos productos comerciales, en la mayoría de los casos ésta es un deshecho no aprovechable, por lo que para calcular el volumen neto de los árboles y trozas, debe descontarse. (Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller K. E.; 1964 y Sorrentino, A.; 1992, 1997)

Se puede proceder de dos maneras:

- Realizar las mediciones lineales de diámetros o circunferencias, medir espesores de corteza con alguno de los instrumentos y descontar la corteza de las medidas.
- Realizar todas las mediciones con corteza y descontar sobre el volumen bruto calculado, un porcentaje de corteza en volumen.

Si se utiliza la primer opción, se aconseja realizar dos mediciones de espesor de corteza en forma diametral opuesta a cada diámetro correspondiente, descontando del diámetro con corteza, la suma de ambas medidas.

En especies cultivadas, en un mismo árbol en general el espesor de corteza es mayor en la base, disminuye primero abruptamente en la primera porción del árbol y más lentamente hacia la parte superior, y se mantiene constante en las secciones más altas del fuste. El porcentaje de corteza es más elevado en la base, disminuye y se hace constante en la mayor parte del fuste útil del árbol y finalmente vuelve a aumentar en el tramo final hasta el tope (puesto que en la última porción del fuste, el espesor de corteza permanece constante y el diámetro continua disminuyendo), como se puede apreciar en la figura 4 (Sorrentino 1996).

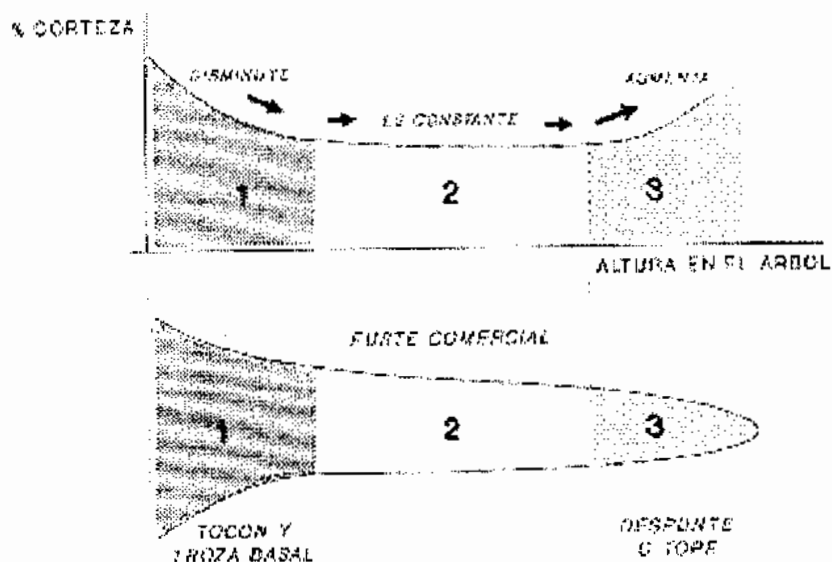


Figura 4. Porcentaje de corteza en el árbol (Sorrentino, 1996) (N° 86)

Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) demostraron que el uso de un factor de corteza uniforme para todas las clases de edad desde los 30 a 130 años resulta en un error menor al 1% para Pinos.

Estos mismos autores señalan que no es posible aplicar ecuaciones que indiquen un porcentaje de corteza promedio para una especie en determinado país o región forestal. Se recomienda verificar la forma del árbol, edad, sitio, entre otros factores. Para pinos en Suecia, Östlin citado por Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) calculó un porcentaje de corteza promedio del 15%.

Trabajos de medición realizados por la empresa Puerto Arazatí S.A y reglas madereras confeccionadas entre los años 1996 y 1997, dieron como resultado una cantidad de corteza promedio del 8.3%, con una amplia variación desde 2.0% hasta 19.5%, dependiendo de la procedencia de los productos comerciales y de la posición de las trozas dentro del árbol. Los porcentajes más altos se obtuvieron para las trozas basales y procedentes de plantaciones en el estero y zonas de crecimiento más problemático. Los resultados según el largo de troza se muestran en el siguiente cuadro:

Largo de troza (m)	% Corteza promedio	% Corteza mínimo	% Corteza máximo
4.20	9.5	2.7	19.2
3.30	8.2	2.6	18
2.40	7.0	2.0	9.5

2.3.2 Mediciones en árboles apeados

Según Pelz, D. (1983) para árboles apeados se pueden obtener todas las medidas con gran precisión y el volumen puede ser determinado a partir de las mediciones de diámetro tanto por secciones (el volumen total es calculado como la suma de los volúmenes de las secciones) como mediante polinomios de alto grado (con este método la forma del árbol es aproximada y el volumen puede ser obtenido mediante la aplicación de un polinomio)

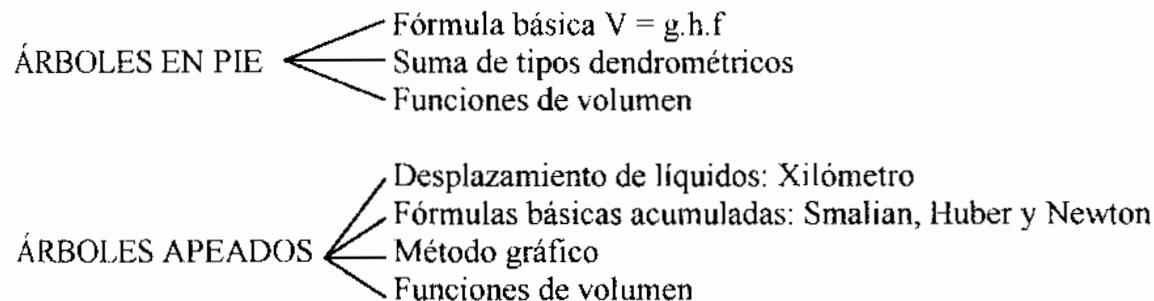
Cailliez, F. (1980) recomienda realizar mediciones de longitud y diámetro con y sin corteza en árboles apeados.

2.4 CÁLCULO DIRECTO DEL VOLUMEN A PARTIR DE LAS MEDICIONES HECHAS EN UN ÁRBOL

La determinación de volúmenes de árboles enteros puede realizarse a través de mediciones de árboles en pie, o a partir de medidas sobre los árboles apeados, utilizando las fórmulas básicas de cubicación (Smalian, Huber o Newton). También existe la alternativa más adecuada para trabajos de investigación o manejo de grandes volúmenes de material que es el xilómetro (basado en el principio de Arquímedes). La elección de

uno u otro método depende de la calidad requerida en la evaluación y de las posibilidades reales de acceder a los materiales.

A continuación se presenta un esquema de los métodos más difundidos en el Uruguay, citado por Sorrentino, A. 1997:



Donde:

V= Volumen

g = Área basal

h = Altura

f = Factor de forma

2.4.1 Cálculo de área basal

Se asume que la sección del fuste del árbol es circular a la altura de referencia (1.30 m) y por lo tanto, se calcula con la fórmula correspondiente al área de un círculo (Sorrentino, A. 1992). Esta variable toma gran importancia en la determinación de la densidad de un rodal y resulta además un índice de referencia para establecer planes de manejo y tratamientos silviculturales.

El área basal por hectárea se puede obtener a partir del número de árboles por hectárea y del área basal promedio por árbol, o del área basal promedio por una unidad de área. También se puede hallar a partir del método Bitterlich el cual se detallará posteriormente.

El proceso en el primer caso es menos efectivo que el conteo Bitterlich. El área basal muestrea una población que generalmente tiene menor variabilidad y se obtiene la misma información con mayor precisión a igual costo. (Loetsch, F.; Haller, K. E. 1964)

2.4.2 Evaluación de volumen aserrable de trozas

Para la determinación del volumen aserrable de las trozas que van a ingresar al aserradero, pueden utilizarse varios procedimientos, de acuerdo a la magnitud de la evaluación, el tipo de análisis y la precisión requerida en los resultados.

Husch, B. (1963) y Sorrentino, A. (1992, 1997) establecen que un procedimiento es mediante la utilización de fórmulas básicas: Smalian, Huber o Newton.

Smalian expresa el volumen en relación con la longitud de las trozas y las superficies de sus extremos a través de la siguiente fórmula:

$$V_s = \pi/8 (d^2 + D^2) \cdot L$$

V_s = Volumen de la troza en metros cúbicos

L = Longitud de la troza en metros

d = Diámetro de la cara menor en metros

D = Diámetro de la cara mayor en metros

Huber expresa el volumen en relación con la longitud de las trozas y una sola medida de diámetro o área tomada a la mitad del largo de la misma.

$$V_H = \pi/4 \cdot D_{0.5}^2 \cdot L$$

V_H = Volumen de la troza en metros cúbicos

L = Longitud de la troza en metros

$D_{0.5}$ = Diámetro a la mitad del largo de la troza en metros

Newton expresa el volumen en relación con la longitud de las trozas y tres medidas de diámetro o área tomadas en sus extremos y la mitad del largo de la troza.

$$V_N = \pi/24 \cdot L \cdot (d^2 + 4 D_{0.5}^2 + D^2)$$

V_N = Volumen de la troza en metros cúbicos

L = Longitud de la troza en metros

d = Diámetro de la cara menor en metros

$D_{0.5}$ = Diámetro a la mitad del largo de la troza en metros

D = Diámetro de la cara mayor en metros

De acuerdo a Sorrentino, A. (1997) la utilización de las fórmulas básicas puede resultar un procedimiento sumamente práctico, si se tienen en cuenta ciertos aspectos.

- a. Cualquiera de las tres fórmulas resulta adecuada cuando la forma de las trozas es casi cilíndrica, o bien se asemeja a un tronco de paraboloides. Para el caso del cilindro, las tres áreas de las secciones de la troza en todo su largo son iguales, y para el caso del tronco de paraboloides, se cumple que el promedio de las áreas extremas coincide con el área de la sección en la mitad del largo. En ambos casos los resultados de las tres fórmulas darían igual y muy aproximados al verdadero volumen de las trozas.
- b. Cuando la verdadera forma de las trozas se aleja de estas situaciones, la fórmula de Smalian produce una sobrestimación respecto al volumen real, y su sesgo es matemáticamente mayor que en el caso de la fórmula de Huber.
- c. Para cualquier situación la fórmula de Newton es la que resulta teóricamente exacta, puesto que serviría para realizar volumetría en cualquier sólido de revolución, cualquiera fuera la función que describe su perfil. Si se define una función genérica y se integra el área para distintos puntos del largo del cuerpo, se obtendrá como resultado una fórmula básica teórica, con los mismos coeficientes de ponderación de la fórmula de Newton: promedio ponderado de las tres áreas, con valor igual a 1 para los extremos y 4 veces el área en el punto medio.
- d. Desde el punto de vista práctico, la fórmula que resulta más fácil de aplicar y por lo tanto la preferida en la mayoría de las evaluaciones es la de Smalian, puesto que pueden medirse fácilmente con una regla o una forcípula los diámetros de las trozas en sus extremos y promediar sin necesidad de determinar el punto medio ni su diámetro correspondiente. Además permite hacer evaluaciones sin corteza, midiendo el espesor en sus caras extremas. Para los largos aserrables de trozas en el Uruguay (entre 1.20 y 4.20 metros), dependiendo de la especie analizada y las características del material de donde proceden las trozas, pueden utilizarse Huber o Smalian satisfactoriamente. Newton se emplea sólo para trabajos que requieren gran exactitud, debido a las dificultades operativas de medición y al tiempo necesario para realizar las medidas.

En la realidad, influyen además de los elementos teóricos analizados, otros factores operativos y errores de mediciones, que pueden modificar el comportamiento de las tres fórmulas en los resultados, entre sí y comparando a cada una de estas en relación al xilómetro.

Trabajos realizados en nuestro país como el de Laffitte, J. et al. (1964) y Voulminot C. (1987) utilizan la fórmula de Smalian para determinar el volumen real de trozas comerciales y la fórmula de Smalian compuesta para el volumen real del árbol entero. También Loetsch, F. y Haller, K. E. (1964), Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) utilizan la fórmula de Smalian para el cálculo del volumen total o porciones de un árbol.

Husch, B. (1964) llega a la conclusión de que las fórmulas de Smalian y Huber son las más comúnmente utilizadas, empleándose en general con valores de diámetros a

los cuales se les ha restado el espesor de corteza. Avery, T. (1967), concluye que para el cálculo del volumen de trozas sin corteza la fórmula de Smalian es la más adecuada.

2.5 ESTUDIO DE LA FORMA DEL ÁRBOL (FACTORES DE FORMA)

Según Husch, B. (1963), Loetsch, F. Zöhrer, F. y Haller K. E. (1964) y Sorrentino, A. (1997) en la mayoría de los árboles la forma de los fustes se caracteriza por un decrecimiento paulatino del diámetro con la altura, fenómeno denominado conicidad o ahusamiento.

Por lo tanto, la verdadera forma del fuste de la mayoría de los árboles corresponde a una situación intermedia entre las formas correspondientes a los diferentes sólidos de revolución (cilindro, paraboloides, cono y neiloide). El factor de forma, de acuerdo a Sorrentino, A. (1997), corrige la verdadera forma del árbol, en relación a la fórmula de volumen de un cilindro y su factor geométrico oscila entre 1 (cilindro perfecto, caso raro e ideal) y un neiloide (factor 0.25). Husch, B. (1963) lo define como el cociente entre el volumen del árbol y el volumen de un sólido geométrico.

El factor de forma se puede calcular a través de la siguiente expresión (Sorrentino, A.; 1997 y Cailliez, F.; 1980)

$$f = (\text{Volumen real del fuste}) / (\text{Volumen aparente})$$

f = Factor de forma

Esta expresión puede clasificarse de varias maneras según cuales sean las combinaciones de diámetros y alturas utilizadas pero la más corriente resulta el factor de forma cilíndrico, calculado al diámetro de referencia (generalmente el DAP) y comercial (con alguna altura comercial).

En términos generales, el factor de forma total de los árboles (volumen real hasta el tope dividido volumen de un cilindro hasta el tope), decrece paulatinamente de acuerdo a las siguientes pautas (Sorrentino, A.; 1997):

- Con el engrosamiento del árbol (aumento de diámetro)
- Con la edad de los individuos (adulto se hace menor)
- Con el aumento de la altura total (a igual diámetro basal)
- Con mayor espacio disponible para el árbol (menor competencia)

Para rodales coetáneos, la conicidad del árbol aumenta (el factor de forma se hace menor) en forma asintótica con el aumento de diámetro y la edad, hasta hacerse constante.

A modo de referencia se detallan a continuación valores de factores de forma para *P. pinaster* citados en el trabajo de tesis de Voulminot, C. (1988): Bonilla y Rolfo calcularon para *P. pinaster* de 46 años (promedio general de 842 árboles) un factor de forma de 0.49. Quinteros y Caldevilla presentan para la misma especie a una densidad de 1000 árboles por hectárea a los 25 años y con 13 metros de altura útil los siguientes factores de forma:

DAP en metros:	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
Coefficiente mórfico:	0.61	0.60	0.60	0.61	0.61

El sistema de inventario de la empresa Puerto Arazatí, emplea factores de forma comerciales para una mezcla de *P. elliottii* y *P. taeda* resultado de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$f = (\text{Volumen real}) / (\text{Volumen aparente})$$

$$f = (\text{Volumen real por fórmulas hasta el diámetro crítico}) / (\text{Volumen aparente total})$$

Tabla de conicidad de Puerto Arazatí (*P. elliottii*/ *P. taeda*)

Clase de diámetro	f
< 10.0	0.360
10.0 – 14.9	0.360
15.0 – 19.9	0.360
20.0 – 24.9	0.360
25.0 – 29.9	0.390
30.0 – 34.9	
35.0 – 39.9	0.443
40.0 – 44.9	0.461
≥ 45.0	0.461

Voulminot, C. (1988) calculó un factor de forma con corteza de 0.49 a partir de la fórmula: $f = (\text{Volumen real total}) / (\text{Volumen aparente total})$ y uno sin corteza de 0.526 empleando la siguiente fórmula: $f = (\text{Volumen real total sin corteza}) / (\text{Volumen aparente total sin corteza})$ para 310 árboles de *P. elliottii* var. *elliottii* de 28 años de edad en el establecimiento Puerto Arazatí.

En el caso del factor de forma, Burger, D. y Seitz, R. A. (1976), basándose en las recomendaciones de aplicación de símbolos en Mensura Forestal que aprobó el Congreso de IUFRO en Oxford en 1956, establecen que es necesario indicar si el factor de forma fue medido con o sin corteza, si el volumen fue medido hasta un determinado

diámetro límite, si se trata sólo de la madera del fuste o fue incluida también la madera de las ramas y finalmente si el volumen fue medido en secciones o no.

2.6 MÉTODOS PARA MEDICIÓN DE ÁREA BASAL

2.6.1 Muestreo Bitterlich

Un antecedente del método de muestreo Bitterlich son los métodos de muestreo basados en distancias entre árboles para estimar el área basal como el desarrollado por el Profesor Dieter R. Pelz (1983) para calcular el área basal media, usando un estimador de razón.

Corresponde a un caso particular de MUESTREO PPT (Probabilidad Proporcional al Tamaño), el cual es definido por Pelz, D. (1983) y Sorrentino, A. (1997) como aquel donde los individuos de mayor tamaño tienen más chance de ser seleccionados, pero sin eliminar a ninguno de antemano. Pelz, D. (1983) concluye que la selección con diferentes probabilidades resulta en una mayor eficiencia que otros métodos, por ejemplo frente al muestreo enteramente aleatorio.

El método Bitterlich se denomina también MUESTREO PUNTUAL, MUESTREO SIN PARCELAS, o PARCELAS DE RADIO VARIABLE.

Sosa Cedillo, V. (1981) alude a este método como uno de los más usados en el mundo debido a su facilidad de implementación y a su eficiencia.

En base a los textos de Bitterlich, W. (1984), Bonilla, J. A. (1969), Husch, B. (1963), Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) y Sorrentino, A. (1997) se realiza un estudio detallado del método. En la práctica común de inventarios forestales, se utiliza para determinar los parámetros área basal y volumen, que de acuerdo al fundamento matemático del método se obtienen directamente por hectárea y el procedimiento se conoce con el nombre de “prueba de numeración angular”.

Para la deducción y aplicación del método, se asume que cada árbol está ubicado en el centro de una parcela circular, cuyo radio está determinado por el diámetro del propio árbol.

En este esquema de selección, cada individuo concurre a la muestra, con una probabilidad proporcional a su tamaño, es decir su área basal y su diámetro de referencia. Automáticamente quedan incluidos en la muestra aquellos árboles que cumplen con una mínima relación tamaño de su tronco/ tamaño de la parcela teórica, es decir, diámetro del árbol/ radio de la parcela.

Cada individuo que cumpla con la relación constante

$K = \text{tamaño del árbol} / \text{tamaño de la parcela}$

$K = \text{diámetro árbol} / \text{radio parcela}$

es considerado integrante potencial de la muestra. Cada árbol incluido no está representando su tamaño real sino un tamaño relativo, definido por la constante K, que depende de su diámetro y la distancia a la que está ubicado su centro, del observador.

El observador situado en un punto fijo del rodal, realiza un giro de 360° comparando el diámetro de referencia de cada árbol, con un ángulo de visión horizontal α generado por cualquier instrumento graduado para ello (Barra Bitterlich, Relascopio de Bitterlich, o simplemente su dedo pulgar) como se aprecia en la Figura 5.

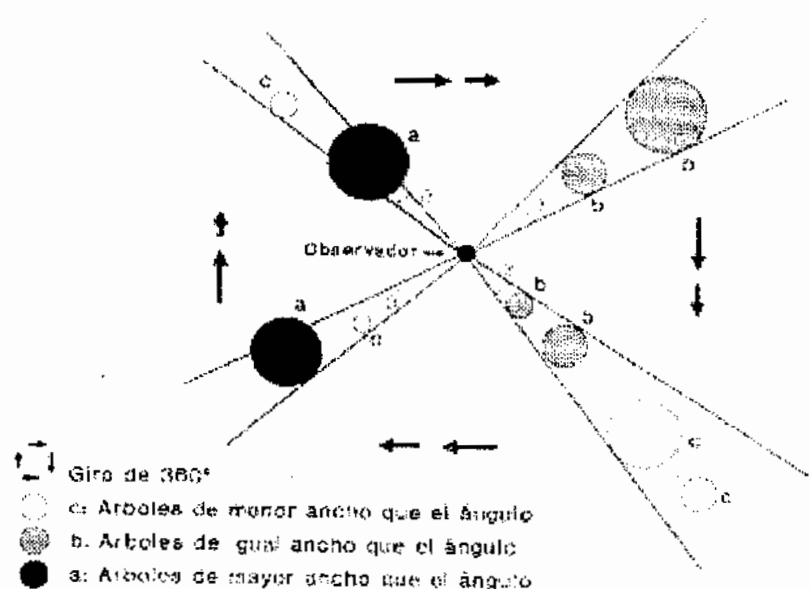


Figura 5. Esquema de procedimiento en el Muestreo Bitterlich. Prueba horizontal o de numeración angular: proceso de inclusión o exclusión de árboles muestra (Sorrentino, A. 1997).

El operador encuentra tres situaciones generales: árboles de mayor diámetro al ángulo (a), árboles de igual diámetro (b) y árboles de diámetro menor (c). Teniendo en cuenta que el ángulo horizontal α queda definido por dos visuales divergentes que parten del ojo del observador, y se proyectan hacia los costados del tronco del árbol, cuanto más lejos se encuentre un individuo, mayor debe ser su diámetro para resultar por lo menos igual al ángulo; por el contrario, un árbol de pequeño diámetro, puede poseer en forma relativa un grosor mayor al ángulo α cuando se encuentra muy próximo al observador (centro de la parcela circular en el giro de 360°).

Los ejemplares que quedan incluidos en la muestra son aquellos de diámetro mayor o igual al ángulo de visión horizontal α .

Los árboles encontrados en el giro, se contabilizan como 1 cuando su diámetro de referencia resulta superior al ángulo α , y como 0,5 si el diámetro es igual. Los árboles de diámetro menor al ángulo α generado por las visuales, no entran en el conteo, es decir, valen cero. El número total de árboles contabilizados en el giro de 360°, es proporcional al área basal por hectárea del rodal.

El área basal por hectárea se obtiene de la siguiente manera:

$$G = M \times FAB$$

M = N° de árboles contados en el giro, calculados como la sumatoria de los valores 1 y 0.5

G = Área basal por hectárea, en metros cuadrados

FAB= Factor de área basal (metros cuadrados por árbol)

El Factor de área basal (FAB) depende directamente de las dimensiones del instrumento utilizado para el conteo. El instrumento original utilizado por el Dr. Bitterlich, consistía en una barra de madera de 1 metro de longitud, con una mirilla rectangular de 2 cm de ancho, colocada en su extremo, lo que equivale a un factor de área basal igual a 1. Las relaciones básicas, resultan válidas para otros instrumentos más sofisticados como el Relascopio de espejos y el Telerelascopio.

$$K = d/L = D/R$$

K = Constante instrumental

α = Ángulo de visión horizontal

d = Ancho de la mira horizontal en metros

L = Largo de la barra en metros

D = Diámetro de referencia del árbol en metros

R = Radio de la parcela circular teórica en metros

$$K = 2 \operatorname{sen} (\alpha / 2)$$

FAB= Área basal del árbol/ Área de la parcela

$$FAB = 2500 K^2 = 2500 (d/L)^2 = 2500 (D/R)^2$$

Cada árbol seleccionado representa una misma cantidad de área basal por hectárea, constante definida por el FAB.

2.6.1.1 Elección del factor de área basal

Para un determinado ancho de mira (valor de “d” constante) el Factor de Area Basal y el Radio crítico de parcela teórica correspondiente al árbol contado, se relacionan a través de la expresión:

$$R = 10 / \sqrt{FAB}$$

$$FAB = 100 / R^2$$

A partir de esta relación, se establecen los criterios básicos para seleccionar el FAB que hay que utilizar, teniendo en cuenta las características homogeneidad y densidad de individuos de la población. La elección del FAB debe realizarse teniendo en cuenta la combinación de ambas características y además el tamaño de los individuos. Por ejemplo, en plantaciones coetáneas de clima templado, se utilizan factores intermedios como el FAB= 2, para evitar la inclusión de un número excesivo de árboles ó por el contrario insuficiente, en el conteo realizado durante la prueba horizontal.

Bitterlich, W. (1984) establece dos consideraciones básicas para la elección del factor de área basal: a) como el radio de las parcelas afecta la visibilidad de los árboles y b) el número aproximado de árboles que se desea contabilizar en cada punto.

En la práctica la elección del FAB se realiza de modo tal de contabilizar entre 10 y 20 árboles en cada giro; menos de 10 individuos resultaría insuficiente y más de 20 resultaría engorroso aumentando los riesgos de errores operativos.

Como norma práctica general, se utiliza FAB= 1 para rodales con un área basal menor a 20 m²/ ha, bosques muy irregulares, ralos ó abiertos; FAB= 2 para poblaciones con área basal entre 20 y 40 m²/ ha y FAB= 4 para rodales de más de 40 m²/ ha.

El Muestreo Bitterlich se incluye dentro de los diseños con probabilidad variable y proporcional al tamaño, ya que, en definitiva cada árbol contado concurre al muestreo con una probabilidad proporcional a la relación entre su diámetro y la distancia a la cual se encuentra del observador. De esta manera, puede asumirse que cada árbol que entra al conteo, se halla en el centro de una parcela teórica circular, cuyo radio está dado por la distancia al observador.

En un giro de 360° del observador, se genera una superposición de parcelas circulares concéntricas, tal como se observa en la Figura 6.

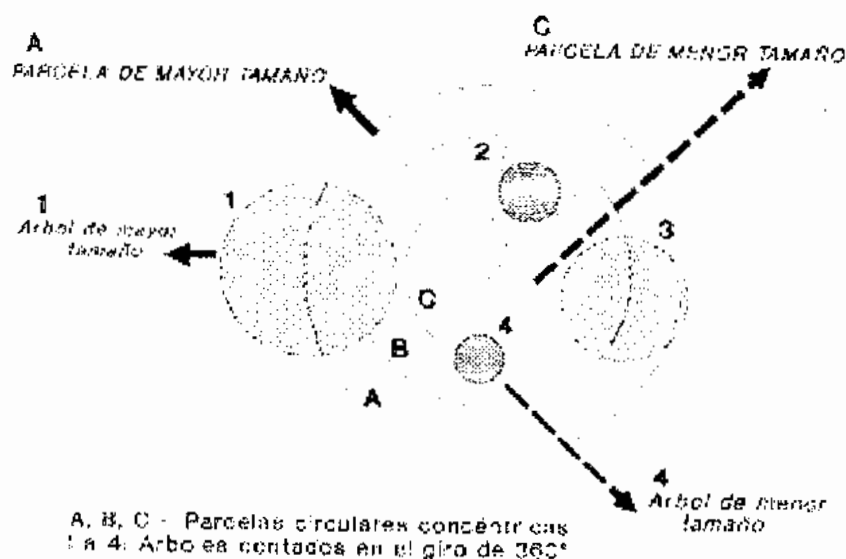


Figura 6. Parcelas concéntricas generadas en el giro de 360° del observador (Sorrentino, A. 1996).

2.6.1.2 Cálculo de los parámetros del rodal

$$g_i (\text{m}^2/\text{ha}) = M_i F A B$$

g_i = Área basal por clase, en m^2/ha

M_i = Número de árboles contados por clase diamétrica, en el giro de 360°

$$N_i/\text{ha} = g_i / g_a$$

N_i = Número de árboles por clase, por hectárea

g_a = Área basal del árbol tipo de la clase diamétrica, en m^2

$$V_i/\text{ha} = g_i h_i f_i$$

V_i = Volumen de la clase, expresado en m^3/ha

h_i = Altura media de la clase diamétrica, en m

f_i = Factor de forma promedio de la clase

$$G (\text{m}^2/\text{ha}) = \sum_{i=1}^L g_i$$

G = Área basal por hectárea, en m^2

$$N/ha = \sum_{i=1}^L N_i/ha$$

N/ha = Número de árboles por hectárea

$$V (m^3/ha) = \sum_{i=1}^L V_i/ha$$

V = Volumen en m^3/ha

L = N° de clases diamétricas

2.6.1.3 Descripción del procedimiento de terreno

Cuando se aplica el Método Bitterlich en la determinación del área basal de parcelas permanentes el procedimiento de campo exige por lo menos el trabajo de dos operadores.

Un operador se ubica en un punto del rodal y efectúa el conteo de árboles en un giro de 360°, utilizando relascopio, barra, dedo pulgar o cualquier otro instrumento similar, graduado convenientemente para uno o más factores de área basal.

Un segundo operador mide los diámetros de referencia de los árboles incluidos en el conteo, de acuerdo a las indicaciones realizadas por el primer operador, y registra en la planilla en la columna equivalente a “1” o “0.5” según corresponda.

La operación se repite para varios puntos de muestreo en todo el rodal (por lo menos tres) y luego se procesa la información convenientemente para obtener el promedio de la muestra.

2.6.1.4 Ventajas e inconvenientes del método

El procedimiento permite obtener estimaciones insesgadas de los parámetros poblacionales, sin embargo es común que en la práctica se cometan errores operativos de subestimación o sobrestimación, debidos a una aplicación defectuosa del método de selección y no por el diseño en sí mismo.

Estos errores aumentan en la medida que se utilizan factores de área basal más pequeños, en rodales con alta densidad de individuos, sobre todo debido a los árboles que no son incluidos en el conteo porque no se ven, o a ejemplares contabilizados más de una vez en el giro.

Con factores más grandes este tipo de errores disminuye mucho.

De todas maneras este problema no está dado por errores estadísticos ni depende del fundamento teórico del método, sino que se debe a la forma de operarlo en terreno. Por esto es conveniente enlentecer el procedimiento de campo y toda vez que sea necesario, chequear la distancia entre el centro del árbol y el operador, a los efectos de compararla

con el radio crítico de la parcela teórica; si esta distancia es mayor, el árbol no puede ser contabilizado.

En general el método resulta muy satisfactorio cuando se trata de plantaciones más o menos ordenadas y en terrenos planos, y por el contrario el procedimiento de terreno se dificulta y enlentece cuando se trata de rebrote de cepas o regeneración natural de semillas y terrenos con pendiente. Bonilla, J. A. (1969) reafirma este concepto indicando que debido a problemas de interferencia de árboles se pueden producir errores de importancia.

Bitterlich, W. (1984) considera que el método tiene mayor eficiencia que el uso de parcelas de radio fijo, ya que se obtiene una misma precisión a partir de un menor número de árboles.

Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) destacan como ventajas del método que los árboles son seleccionados en forma proporcional a su área basal, por lo tanto los árboles grandes y valiosos son seleccionados preferentemente; se obtiene el área basal total por simple conteo sin mediciones de diámetro y no es necesario realizar correcciones por pendiente ya que las mismas se realizan automáticamente.

Bonilla, J. A. (1969) detalla como ventajas del método Bitterlich que se eliminan los errores que provienen de una estimación insegura de la superficie de la parcela, y si se toman las precauciones adecuadas (ajuste del factor a utilizar) permite la determinación del área basal a partir de un número relativo reducido de árboles. También reduce el tiempo de estimación del área basal y por lo tanto, el costo correspondiente, por lo que trae aparejada la posibilidad de incrementar el número de parcelas y una mejor distribución de las mismas, las estimaciones pueden hacerse con aparatos de fácil manejo y de bajo costo (prismas) y aún con instrumentos de fabricación casera ("vara"). Sin embargo, el método no discrimina el área basal por clase diamétrica. Como resultado de su estudio en un bosque de Pino insignie de 15 años de edad con una densidad de 1340 árboles por hectárea y un área basal de 39 m²/ ha, Bonilla, J. A. (1969) llega a la conclusión que en base al error moderado y al gran ahorro de tiempo se recomienda el uso del método Bitterlich preferiblemente con factor 4, para obtener el área basal por hectárea, cuando no es necesaria una gran exactitud en su determinación. En caso contrario, Bonilla, J. A. (1969) recomienda continuar usando el método convencional.

2.6.1.5 Instrumentos y métodos prácticos basados en el Postulado de Bitterlich

El instrumento tradicional basado en el principio del método es el Relascopio de espejos, conocido como Relascopio de Bitterlich, y en la actualidad existen modelos de mucha precisión y un alto grado de sofisticación. (Sorrentino, A. 1997)

Bitterlich, W. (1984) establece que en el muestreo Bitterlich cada árbol contribuye con la misma cantidad de área basal por hectárea y por lo tanto el árbol cuyo diámetro a la altura del pecho coincida con la media, representa el área basal media para un árbol individual. Puede ser utilizado para mediciones adicionales, como por ejemplo altura.

2.6.2 Unidades de muestreo “convencionales”

El tamaño de las unidades es variable de acuerdo a los objetivos del inventario y las características del área forestada, pero con frecuencia se delimitan parcelas de 400 o 500 metros cuadrados.

2.6.2.1 Forma

Según citan Alder, D. (1980), Bonilla, J. A. (1969), Husch, B. (1963), Medina Bermúdez, R. (1982, 1983) y Sorrentino, A. (1997), las parcelas convencionales pueden ser de tres tipos:

Circulares
Cuadradas
Rectangulares

Cualquiera de estas formas es de uso muy difundido, sin embargo, desde los puntos de vista práctico y matemático, poseen ventajas y desventajas, que se reúnen en los párrafos siguientes.

Una de las principales fuentes de error en el trabajo de campo consiste en la delimitación de las parcelas y la definición de los árboles de borde. Alder, D. (1980) y Loetsch, F. Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) recomiendan frente a este problema incluir aquellos árboles cuyo centro estimado se halle dentro de la línea de demarcación y serán excluidos en caso contrario.

Este problema no resulta tan grave cuando se trabaja en plantaciones realizadas en hileras ordenadas, sin embargo es un inconveniente general, que puede de alguna manera controlarse con la selección de la forma de parcela más adecuada.

La forma de parcela más favorable está dada por aquella que a igual superficie, posee el perímetro mínimo. Desde el punto teórico, la figura geométrica que cumple con esta relación es el hexágono, muy difícil de replantear para trabajos de inventario de bosques, por lo que la forma más próxima a esta corresponde al círculo.

Por el contrario, el rectángulo es la figura de mayor perímetro para una superficie dada, resultando la más inconveniente de todas por poseer la máxima cantidad de árboles borde. La banda, faja o franja, que es simplemente una parcela rectangular cuya longitud es varias veces mayor que el ancho, representa el caso extremo de esta situación, y por lo tanto la figura más desfavorable, sin embargo, una de las más utilizadas.

Si se asume una superficie de 16 metros cuadrados, la descripción para cada figura es la siguiente:

Círculo:

Radio =	2.26 m
Perímetro =	4.2 m
Area/perímetro =	1.13 m

Cuadrado:

Radio =	4.0 m
Perímetro =	16.0 m
Area/perímetro =	1.0 m

Rectángulo:

Radio =	8.0 m
Altura =	2.0 m
Perímetro =	20.0 m
Area/perímetro =	0.8 m

(Sorrentino, A. 1997)

A continuación se resumen las principales ventajas y desventajas de los tres tipos de parcelas utilizadas.

Parcelas circulares*Ventajas*

- Presentan la máxima relación área/perímetro, es decir a igual área, menor perímetro, por lo que se da el mínimo de situaciones dudosas en cuanto a árboles límite o borde.
- Son isotrópicas, pues por su propia forma da lo mismo cualquier dirección, sin influir la orientación en el bosque. La simetría radial del círculo permite que resulte una figura más objetiva pues no tiene dirección.
- Quedan definidas por una sola dimensión: el radio (Husch, B. 1963 ; Sorrentino, A. 1997)

Desventajas

- Tanto Loetsch, F.; Zöhrer, F y Haller, K. E. (1964) como Medina Bermúdez, R. (1983) y Sorrentino, A. (1997) no recomiendan el uso de parcelas grandes pues al aumentar indefinidamente el radio, aumenta demasiado la cantidad de árboles límite; sólo son útiles parcelas pequeñas. Medina Bermúdez, R (1983) remarca que se tendrán mayores problemas para lograr la forma circular proyectada en terrenos con pendiente.
- Para Husch, B. (1963) y Sorrentino, A. (1997) por poseer límites curvos, es difícil su demarcación, y en ocasiones debe verificarse muchas veces en el bosque la situación de los árboles límite. Se recomiendan para parcelas permanentes que se delimitan sólo la primera vez que se instalan.
- Los errores probables cometidos en las mediciones, quedan afectados en la superficie, por el cuadrado del radio, por lo que el error relativo se duplica (Area =

$\pi \times \text{radio}^2$). Esta es una desventaja frente a las otras figuras pues en los casos del rectángulo y el cuadrado, el error de superficie es la suma de los errores de medición de los lados. Por ejemplo, 2% de error en la medida del radio, en un círculo equivale a 4% de error de área.

Parcelas cuadradas

Ventajas

- Poseen una relación área/perímetro más pequeña pero representan una situación intermedia entre las parcelas circulares y las rectangulares.
- Resulta más fácil el control de los árboles límite en situación crítica.
- Son fáciles de replantar en el bosque (Husch, B., 1963; Sorrentino, A., 1997).

Parcelas rectangulares

Ventajas

- Son muy fáciles de marcar y replantar, incluso las bandas o fajas resultan muy sencillas de delimitar, sobretodo si se trabaja en plantaciones en hileras.
- Se prestan más para parcelas de gran tamaño.
- Son útiles en bosques heterogéneos y variables, con muchos accidentes topográficos (pendiente, cursos de agua, etc.), pues trazadas adecuadamente, cubren todas las fuentes de variación.

Desventajas

- Son las que presentan la mínima relación área/perímetro y por lo tanto las más riesgosas desde el punto de vista teórico, por poseer la máxima proporción de árboles límite. El caso más desfavorable lo constituyen las bandas o franjas.

2.6.2.2 Superficie

El tamaño de las parcelas o unidades de muestreo, depende fundamentalmente de las características de composición del bosque y del nivel de calidad exigido para el trabajo.

En lo referente a estructura, las plantaciones artificiales resultan menos dispersas en cuanto a diámetros y volúmenes, además de poseer mayor densidad de individuos, por lo que en general admiten parcelas más pequeñas que el bosque nativo.

La idea general es que en cada unidad haya entre 20 y 30 árboles, aunque en ciertos casos se admiten menos (10 a 20 árboles), por lo que el tamaño, en el caso de bosques cultivados, depende de la distancia de plantación inicial de los árboles y del manejo al que han sido sometidos, cuando este ha existido, es decir, de la densidad de los individuos al momento de la evaluación.

Para plantaciones de Pinos adultos manejados Sorrentino, A. (1997) sugiere los tamaños y formas de parcelas siguientes: parcela cuadrada 400 metros cuadrados, parcela rectangular de 500 metros cuadrados, parcela circular de 200 a 400 metros cuadrados.

Caballero Deloya, M. (1979), hace referencia a que en bosques naturales templados de México el patrón acostumbrado ha sido la adopción de tres parcelas circulares concéntricas de distinto tamaño (1000, 400 y 80 metros cuadrados), de acuerdo a la naturaleza de la población predominante del bosque.

2.6.2.3 Síntesis sobre Tamaño y Forma

El tamaño de las parcelas está condicionado por las características del bosque y por la forma de las mismas, factor que depende mucho de la tradición o preferencias de cada país o región.

Cuanto mayor sea la heterogeneidad de los individuos, y menos denso sea el bosque más grande debe ser la parcela, para asegurarse de que la mayor parte de esta heterogeneidad, sea captada dentro de la unidad, y además haya un mínimo de árboles incluidos en ella.

En plantaciones artificiales es más común utilizar parcelas cuadradas o rectangulares, dada la facilidad de replanteo en el terreno.

Actualmente el uso de parcelas circulares está cobrando importancia en Inventario Forestal continuo (IFC).

Según Sorrentino, A. (1997), en general el tamaño de la parcela circular utilizado, raramente supera 1000 metros cuadrados, lo que significa un radio de 17.84 metros. Sosa Cedillo, V. (1981) reafirma este concepto, indicando que círculos grandes de más de un décimo de hectárea generalmente no son prácticos.

Dado el progresivo aumento de árboles de borde al aumentar el radio de las parcelas circulares, no es conveniente exceder áreas con más de 20 a 30 árboles, siendo este el tamaño óptimo para rodales que no poseen sotobosque.

El tamaño ideal va a depender entre otras cosas, de la densidad de individuos presentes, en el Uruguay se usan parcelas circulares de 200 a 600 metros cuadrados (7.98 a 13.82

metros de radio). Sosa Cedillo, V. (1981) cita que en estudios finlandeses el tamaño óptimo de parcelas circulares varía de 400 a 700 m².

Medina Bermúdez, R. (1982) cita para bosques de clima templado/ frío el empleo de parcelas circulares de 1000 metros cuadrados trazadas con un cable que contempla las correcciones por pendiente.

Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) hacen referencia al uso de parcelas de 0,05 hectáreas en Tailandia, pero especifican que un tamaño de parcela de 0,1 hectárea con un radio de 17,84 metros es raramente excedido.

2.6.2.4 Replanteo de las unidades muestrales

Marcación y delimitación

Parcelas rectangulares y cuadradas

El mayor problema en la delimitación de las parcelas surge cuando se trabaja en poblaciones naturales, donde no hay un ordenamiento de los árboles en un patrón definido. En las plantaciones en hileras, en cambio, resulta mucho más sencillo, si se sigue una paralela a la dirección de las filas de árboles (Sorrentino, A. 1997).

La definición de la parcela en el bosque se puede realizar de dos maneras, identificando los vértices a partir de una primera esquina, o bien a partir del centro de la parcela.

Alder, D. (1980) sugiere demarcar las parcelas en las cuatro esquinas con postes, uno de los cuales llevará el número de identificación.

Loetsch, F. Zöhrer, F. y Haller K. E. (1964), recomiendan demarcar una esquina, la segunda esquina es hallada con una brújula y una cinta, la tercera y cuarta esquina son localizadas con la cinta, midiéndose la distancia entre estos puntos como forma de control.

Parcelas circulares

Alder, D. (1980), Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) y Sorrentino, A. (1997), recomiendan para la delimitación de los bordes de la parcela, un método práctico que consiste en ubicar el centro de la misma, colocando una vara de metal en el suelo, que se asegura con tres cuerdas laterales. Una cinta de medición o una cuerda (de material no extensible), preparada con marcas especiales de los radios, mediante una guía colocada sobre la vara a 1.30 m de altura, se puede mover libremente alrededor de la vara a modo de compás, para ir marcando el borde del círculo.

2.7 CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO Y SU AJUSTE

De acuerdo a Alder, D. (1980), una vez que se dispone de datos, puede construirse un modelo matemático y ajustarlo a dichos datos. Un modelo matemático

consiste en un conjunto de ecuaciones o gráficos que muestran las relaciones cuantitativas entre las variables.

El procedimiento de ajuste de un modelo puede ser estadístico, usando por ejemplo regresión lineal, o puede ser subjetivo, trazando líneas a través de los datos ploteados en gráficos.

Husch, B. (1963) establece que la construcción de tablas de volumen a partir de un análisis de regresión está basada en la premisa de que el volumen está relacionado con la variable independiente elegida mediante una función matemática definida que se revelará a partir de una serie de muestras. La función está presente, pero su expresión y solución son desarrolladas gráficamente. Esto tiene algunas ventajas: se requiere menor respaldo matemático y minimiza los cálculos. Las desventajas consisten en que la solución es bastante subjetiva ya que la elección de la función depende de la habilidad y juicio del individuo. Para obtener resultados precisos se requiere una gran cantidad de datos.

Para graficar la relación entre dos variables no es necesario conocer de antemano la tendencia de la función, aunque esto es recomendable. Cuando construimos tablas de volumen local los datos deben representar el rango de diámetros y alturas característicos de ese bosque. Las alturas deben ser medidas para determinar el volumen de árboles individuales, luego se grafica el volumen por árbol en función del DAP y se ajusta una línea sobre dichos puntos. Como el volumen de un árbol varía aproximadamente según el cuadrado del diámetro, la línea mostrará una tendencia ascendente. La ecuación general para este tipo de relación es $V = a \text{ DAP}^b$.

2.8 TABLAS DE VOLUMEN

Las tablas de volumen de aserrío estiman el volumen de trozas o árboles enteros, en función de la categoría de DAP de los árboles. (Sorrentino, A. 1992)

La idea básica es desarrollar relaciones entre algunas de las medidas fácilmente determinables en un árbol y su volumen. Las medidas de diámetro, altura y forma son las variables independientes que determinan los valores de la variable dependiente, volumen del árbol. El resultado final de desarrollar una relación de este tipo es presentado en la forma de una tabla de volumen (Husch, B. 1963, Loetsch, F. Zöhrer, F. y Haller, K. E. 1964)

Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964) establecen que la derivación de ecuaciones de volumen tiene tres fases distintivas:

1. Selección de un número suficiente de muestras de árboles representativos,
2. Medición de las variables independientes y dependientes para la derivación de la ecuación de volumen, y

3. Testeo de las diferentes posibles funciones y elección de la más adecuada. Generalmente las ecuaciones de volumen basadas en la medición de diámetros y alturas son construidas para áreas limitadas y sólo pueden ser utilizadas en dichas áreas.

2.8.1 Tablas de volumen local

Las tablas de volumen local utilizan una sola variable independiente que en la mayoría de los casos es el DAP, (Husch, B. 1963; Sorrentino, A. 1992). A pesar de que las tablas de volumen local muestran el volumen en función del DAP, y no requieren medidas de altura para su uso, esto no significa que la altura no ha sido considerada. La altura se ha tenido en cuenta en su construcción pero ha sido eliminada de la relación final. El término local se usa porque la utilización de dichas tablas se restringe al área local para la cual la relación altura – diámetro, oculta en la tabla, es relevante.

Un ejemplo de tablas de volumen local para Uruguay es la obtenida en el trabajo realizado por Sorrentino, A. (1987), en el cual se obtiene una tabla de volumen aserrable por árbol para *P. taeda* y *P. elliottii* de 24 años de edad. El ajuste analítico de dicha tabla corresponde a la ecuación:

$$V = 0.0891 + 7.6852 \text{ DAP}^2$$

V = volumen potencialmente aserrable (sin corteza) en metros cúbicos

DAP = diámetro a 1.30 metros del suelo, con corteza en metros

2.9 FACTORES DE CORRECCIÓN

El factor de corrección se puede definir como el cociente entre el volumen real comercial obtenido de tala rasa y el volumen de inventario estimado. Su finalidad es predecir con mayor exactitud el volumen maderable de un bosque. El volumen real comercial se obtiene multiplicando el volumen calculado en el inventario por el factor de corrección. Es importante destacar que un factor de corrección solo puede ser aplicado para bosques con las mismas características (especie, edad, sitio geográfico, condiciones climáticas)

2.10 SISTEMAS DE INVENTARIO: CRITERIOS ESTADÍSTICOS

2.10.1 Error total de inventario

El error total de inventario está constituido por error de mediciones y error de muestreo (Alder, D. 1980, Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E., 1964; Prodan, M. et al 1997, y Sorrentino, A., 1996).

Error total de inventario = Error de mediciones + Error de muestreo

El error de mediciones incluye errores instrumentales, errores en el uso de conceptos y en el procesamiento de datos, entre otros. Se define también como el error no muestral y está dado por problemas en los instrumentos (por ejemplo mala calibración, uso incorrecto) y por errores sistemáticos (debido al juicio personal de los operadores o a defectos de los procedimientos de registro y procesamiento de la información, entre los que se citan por ejemplo el error de redondeo de cifras, tan común durante la toma de datos).

Los errores de mediciones en la práctica resultan imposibles de cuantificar. Pueden minimizarse utilizando los procedimientos adecuados, empleando instrumental correctamente calibrado, utilizando operadores debidamente entrenados, sin embargo no existe manera de determinar su magnitud.

El error de muestreo en cambio, es la diferencia entre el estimador muestral y el parámetro poblacional. Está dado por el hecho de trabajar con una muestra y no con la población, y como se trata de un problema estadístico puede estimarse.

Sin embargo este error de muestreo de alguna manera es controlable a través del manejo del número de unidades muestrales.

Se expresa como el intervalo de confianza para el estimador calculado, por lo que está indicando el rango dentro del cual se espera que se encuentre el verdadero parámetro poblacional, con un cierto nivel de confianza establecido. Si ese rango es demasiado grande, menos confiable es el resultado. Cuando el error de muestreo (E_r) es elevado, también existe la probabilidad de que el tamaño de muestra utilizado haya sido insuficiente pues analizando las fórmulas:

$$E_r \% = \sqrt{[t^2 CV^2 / n - t^2 CV^2 / N]}$$

$$E_r \% = (t S_y / Y) 100$$

E_r % = Error de muestreo real

t = Variable de Student para (n-1) grados de Libertad y % de confianza

CV = Coeficiente de variación

N = Número total de individuos en la población

n = Número de individuos de la muestra

S_y = Error estándar de la media

Y = Media

Al aumentar "n" se espera que disminuya el error estándar de la media (S_y):

$S_y = S_y / \sqrt{n}$ y por consiguiente también el error de muestreo.

Cuando aumenta el número de unidades de muestreo (aumenta el tamaño de muestra), el error de muestreo promedio se hace más pequeño y la confiabilidad de los estimadores poblacionales aumenta.

Siempre que se calculen estimadores de una población a través de una muestra, los resultados están sujetos a errores de muestreo, cuya magnitud depende de la forma en que se realiza la elección de los diferentes individuos.

Es un hecho comprobado empíricamente que mediante el estudio de una parte de la población, los errores de medición disminuyen mucho y si el procedimiento de muestreo está programado y realizado en forma adecuada, se logran muy buenas estimaciones, con resultados incluso más exactos que aquellos obtenidos en un censo.

En general se admite un error de muestreo entre 5 y 10% del volumen para plantaciones artificiales convencionales.

Tamaño de muestra y error de muestreo para variables continuas

Un procedimiento de muestreo realizado correctamente además de proporcionar estimadores insesgados de los verdaderos parámetros poblacionales, debe incluir como parte de los resultados, una estimación del error de muestreo.

La precisión del muestreo se expresa en términos del intervalo de confianza para el parámetro estimado. Por ejemplo si se calcula el volumen promedio por hectárea en un rodal, el resultado del muestreo puede indicarse mediante el intervalo de confianza alrededor del estimador:

$$p(V_m \pm tSv_m) = 95\% \text{ ó } 99\%$$

V_m = Volumen medio en metros cúbicos por hectárea obtenido con la muestra

t = Valor tabular de Student para (n-1) grados de libertad y nivel de significación 5 o 1%

Sv_m = Error estándar del volumen promedio, expresado en metros cúbicos por hectárea. Se calcula como la raíz cuadrada de la varianza de la muestra

n = Tamaño de la muestra

p = Probabilidad de ocurrencia del estimador

Esta expresión indica que existe un 95% o un 99% de probabilidad (p) de que el verdadero volumen promedio por hectárea esté comprendido entre el valor V_m y el rango (tSv_m) por encima y por debajo de ese valor. Es decir, el resultado presentado no se indica como una cifra puntual sino como un rango o intervalo de valores entre los cuales cabe un 95% ó 99% de probabilidad de que se ubique realmente el verdadero volumen promedio por hectárea (parámetro poblacional).
(Sorrentino, 1996)

2.10.2 Población

En el sentido estadístico la población debe cumplir con dos características esenciales:

- a. los individuos de la población son del mismo tipo
- b. los individuos de la población difieren respecto a una característica o atributo típico al cual llamaremos la variable. Estas características pueden ser por ejemplo el diámetro a la altura del pecho, los varios tipos de altura, el volumen, incremento, edad, especie, calidad de la madera, entre otros.

El volumen de un árbol no puede ser medido directamente, pero puede ser calculado a partir del DAP, la altura y el factor de forma. (Loetsch, F.; Haller, F. 1964)

2.10.3 Media y Estimadores de la variabilidad

Freese, F. (1970), Husch, B. (1963), Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. (1964), Prodan, M. et al (1997) y Sorrentino, A. (1997), definen que la media aritmética se calcula dividiendo la suma aritmética de los valores individuales por el total de individuos

2.10.4 Varianza de la media muestral

En general cuando se presentan los resultados de un trabajo, no se brindan cifras puntuales, sino un rango o intervalo de confianza alrededor del parámetro (en este caso la media). Por lo tanto resulta coherente plantear en la planificación del muestreo que se espera que el error máximo no exceda ese intervalo, con una probabilidad equivalente a la ya indicada. En tal caso se plantea E como el error máximo admisible en términos absolutos alrededor de la muestra.

2.10.5 Desviación estándar

La media aritmética es una expresión numérica del valor promedio de las observaciones individuales de una población. La media aritmética no da información acerca de la distribución de los datos. Poblaciones con una misma media aritmética pueden tener una distribución o rango de valores marcadamente diferente. Como resultado una población no puede ser suficientemente definida por su media aritmética, sino que requerimos al menos un parámetro adicional que de suficiente información acerca de la variabilidad de las observaciones. El rango de dispersión de una población es aquel entre los valores más pequeño y más grande observados. (Loetsch, F.; Haller, K.E. 1964)

2.10.6 Coeficiente de variación

A través de este estimador, se determinan dos aspectos principales: la variabilidad natural de la población, que es una característica propia (parámetro poblacional), y la forma en que esta variabilidad natural es captada por las unidades de muestreo utilizadas. Cuando el coeficiente de variación es muy elevado, además de cuantificar la variabilidad entre las unidades muestrales, también indica que el tamaño de muestra puede ser insuficiente.

La varianza poblacional puede ser grande y esto se traduce en un coeficiente de variación también elevado.

Sin embargo, cuando el estimador del coeficiente de variación calculado resulta alto, podría estar indicando que el tamaño de muestra es demasiado pequeño.

Al aumentar la cantidad de unidades muestrales, el coeficiente de variación tiende a bajar hasta un cierto punto en que permanecerá teóricamente constante, cuando se ha logrado el mejor estimador del verdadero parámetro y por más que se aumente el tamaño de muestra, no se logra más efecto y ya no puede reducirse. (Sorrentino, A. 1997)

2.10.7 Análisis de varianza

El análisis de varianza se basa en que las unidades de muestreo son iguales y no hay diferencias significativas entre estratos. Si estos principios no se cumplen, estrictamente hablando el análisis de varianza no puede ser aplicado. (Husch, B. 1963)

Los análisis de varianza fueron realizados por el procedimiento PROC GLM del sistema SAS (SAS Institute, 1986).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Características generales de la empresa

El trabajo se realiza en las plantaciones forestales del establecimiento PUERTO ARAZATÍ, ubicado en la localidad Rincón del Pino, departamento de San José. (ver croquis de ubicación en Figura 7).

El establecimiento Puerto Arazatí consta de aproximadamente 3.000 hectáreas de las cuales 1.500 se encuentran forestadas.

Dentro de las especies utilizadas en dicha área, predominan los pinos que abarcan 750 hectáreas, siendo *P. elliotii*, *P. taeda*, *P. radiata* y *P. pinaster* los que se encuentran en mayor proporción. En segundo lugar se encuentran las plantaciones de eucalipto que ocupan 200 hectáreas, mayoritariamente de *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. globulus* ssp. *maidenii*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* y *E. grandis*. El resto del área se encuentra ocupada por Salicáceas (Géneros *Salix* y *Populus*).

Las plantaciones que en su mayoría datan de muchos años, fueron realizadas por un pionero de la forestación, en una época en la cual la experiencia en el sector forestal en nuestro país era muy escasa.

En el caso del establecimiento Puerto Arazatí, las producciones principales son:

- **Aserrado de varios tipos** (para especies de pinos y salicáceas), en un aserradero propio, tanto para consumo nacional como para exportación. Para el caso de pinos se manejan tres tipos de aserrado (Aserrado 1, 2 y 3 que se explicarán con detalle posteriormente)
- **Debobinado para cajonería** (eucaliptos y salicáceas), asociado a una fábrica debobinadora instalada en el predio.
- En forma accesoria se desarrolla el rubro **producción de pulpa** para exportación (eucaliptos) y totalmente como algo secundario, se produce material apto para leña con los descartes de los productos anteriores (eucaliptos).

El **sistema de inventario continuo** de la empresa emplea dos grandes tipos de muestreo:

- Muestreo Bitterlich general (por medio de parcelas temporales)
- Muestreo Bitterlich desglosado (por medio de parcelas permanentes)

El primero se caracteriza por recabar mucha información pero poco detallada. A partir de este, se obtienen valores máximos y mínimos de volumen por hectárea y la

precisión, es decir un intervalo de confianza en porcentaje. A su vez permite determinar donde se van instalar las parcelas permanentes.

El segundo tipo de muestreo brinda información desglosada por categoría diamétrica, pero es menos intenso. Se trata de que las medias de las parcelas permanentes se encuentren comprendidas dentro de los datos obtenidos a partir del muestreo general.

En la práctica, en primer lugar, un operador va cubriendo las parcelas Bitterlich temporales determinadas previamente mediante un patrón sistemático en retícula.

En base a la media y la varianza obtenidas a partir del muestro general se eligen las parcelas permanentes. El operador vuelve al sitio que se le indicó pero desglosando una parcela permanente.

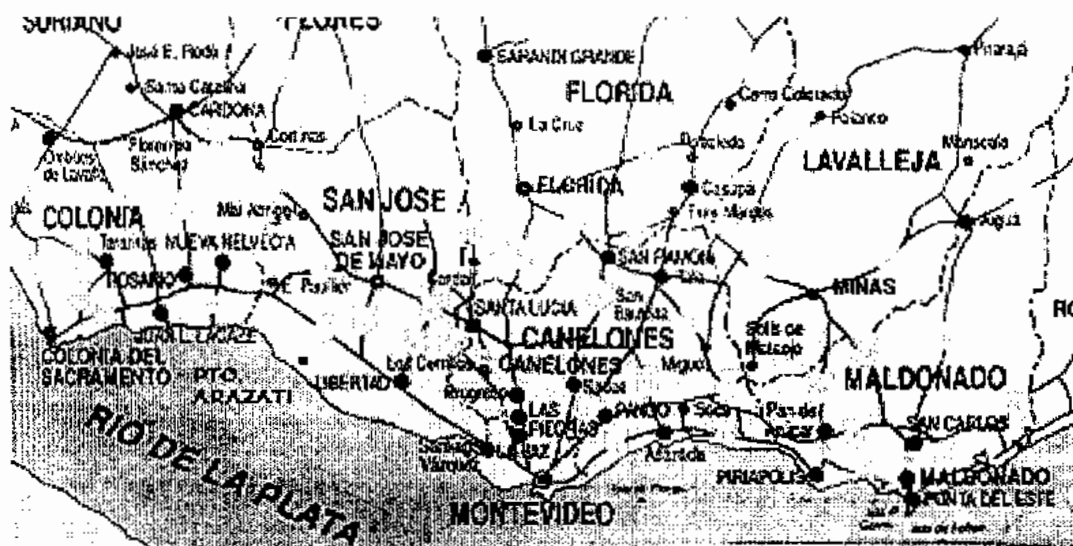


Figura 7. Croquis de ubicación del Establecimiento Puerto Arazati

3.1.2 Características de los rodales inventariados

3.1.2.1 Descripción cualitativa

Se realizó el inventario de seis bosques de *P. elliotii* var. *elliotii*, *P. taeda* y *P. radiata*.

Los bosques 114, 146 y 180, plantaciones del año 1961, 1969 y 1971 respectivamente, corresponden a una mezcla de *P. elliotii* y *P. taeda* con predominancia de *P. taeda*. El bosque 55, es una plantación de *P. radiata* del año 1961 y el bosque 152 es una plantación de *P. taeda* del año 1978.

Para realizar este trabajo se utilizó como material de apoyo las fotos aéreas en blanco y negro de diciembre de 1992 (Fuerza Aérea Uruguaya) a escala 1:20.000 así

como también la cartografía disponible a escala 1:9.985, preparada a partir de un vuelo aéreo comercial (Bolidor S.A.) realizado en marzo de 1994 (vuelo color a escala 1:10.000).

3.1.2.2 Descripción del sitio

Es un área litoral marítima recubierta con espesores variables de arena. La topografía predominante es de llanuras bajas, en algunos casos existen zonas de mesorrelieve fuerte.

Los suelos predominantes son Gleysoles, Planosoles y Arenosoles. En general el drenaje es pobre y la textura predominante es arenosa. Los mismos corresponden a los grupos CONEAT 07.1, 3.30 y 3.53.

3.1.3 Características del rodal 105 (determinación de coeficientes de corrección)

3.1.3.1 Descripción cualitativa

El origen de este rodal fue plantación artificial realizada en el año 1957, con plantas de *P. elliottii* y *P. taeda* obtenidas de semillas procedentes de Estados Unidos de Norteamérica.

El rodal fue implantado en otoño de 1957 a una densidad de 1600 plantas por hectárea, no habiéndose realizado reposición. El área afectada a la forestación es de 12 hectáreas, mientras que el área efectivamente forestada es de 9, 8474 hectáreas según datos de inventario. El área donde se realizó la tala rasa para comparar los resultados del inventario en pie, con los productos obtenidos de la corta, consta de una superficie de 0.5 hectáreas.

En dicho bosque coexisten árboles Dominantes, Codominantes, Suprimidos e Intermedios lo cual determina un dosel de forma discontinua.

La densidad de plantación original fue de 1600 plantas por hectárea a una distancia de plantación de 2,5 metros $\times$ 2,5 metros. Se realizó una poda hasta los 4 metros de altura en el año 1987 y dos raleos, el primero en el año 1987 y el segundo en el año 1996. En el primer raleo se obtuvieron tanto trozas de 3.35 metros como trozas de 2.45 metros de largo. Del segundo raleo se obtuvieron trozas de 2.45 metros.

En enero- marzo de 1994 se realizó un inventario del bosque a partir del cual se obtuvieron los siguientes datos:

Diámetro medio (cm):	30.2
Altura comercial (m):	16.95
Area basal (m ² / ha):	36.86
Nº árboles/ ha:	525

En el área estudiada se midieron 338 árboles.

El rodal presentaba un buen estado sanitario, hallándose únicamente algunos árboles quebrados. El estado de limpieza del bosque era bueno.

3.1.3.2 Descripción del sitio

Los suelos correspondientes al bosque 105 pertenecen al grupo CONEAT 3.30. El relieve es de llanuras bajas, los suelos dominantes (Gleysols) son profundos, pobremente drenados, con un claro predominio de texturas arenosas. La vegetación original es de comunidades hidrófilas y halófilas, asociadas a praderas estivales de tapiz cerrado.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Factores de corrección

Con la finalidad de calcular los factores de corrección, se trabajó en un área de prueba correspondiente al rodal 105.

En una primera etapa, se midió el volumen en pie a través de diferentes métodos:

- Muestreo Bitterlich
- Parcelas circulares
- Parcelas cuadradas

La metodología llevada a cabo fue la siguiente:

- Muestreo dirigido a través de giros Bitterlich temporales.
- Muestreo dirigido a través de giros Bitterlich permanentes, uno por cada operador.

Se efectuaron todas las combinaciones posibles entre operadores para las distintas funciones: operador del relascopio y operador de la forcípula de forma tal de evitar cualquier tipo de error sistemático.

- Muestreo dirigido utilizando parcelas cuadradas de 400 m² de superficie.
- Muestreo dirigido por medio de parcelas circulares utilizando tres tamaños de parcela: 100, 200 y 400 m² de superficie.

En cada parcela de muestreo se tomaron datos de altura comercial para el árbol tipo representativo de cada clase. Para ello se empleó el Relascopio de Bitterlich, utilizando la banda hipsométrica de 20 metros, hasta un diámetro mínimo de 12 centímetros.

En una segunda etapa se midió una superficie de 0.5 hectáreas, se procedió a cercar la media hectárea con una cinta plástica y finalmente, se marcaron los árboles con pintura roja aproximadamente a la altura del DAP. (Ver Figuras 8 y 9)

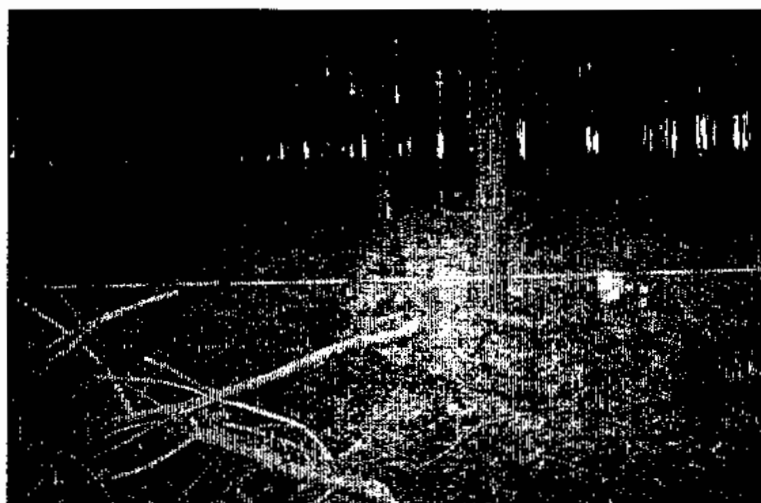


Figura 8. Delimitación del área de prueba



Figura 9. Demaración de árboles incluidos en el área de prueba

Posteriormente, se llevó a cabo un censo, registrándose mediciones de todos los individuos vivos en pie.

A medida que se registraban los DAP de cada individuo se los identificaba con un número. Luego se procedió al talado y desramado. A continuación se efectuaron mediciones de diámetro cada metro y de altura de tocón.

Después se trozó el árbol, tomando medidas de diámetro mayor, medio y menor de cada troza comercial. También se tomaron medidas de espesor de corteza diametral en ambas caras de cada troza.

3.2.1.1 Medición de árboles en pie

Una vez numerados los árboles se realizaron las mediciones de diámetro (DAP: diámetro a 1.30 m desde el nivel del suelo) con una forcípula común graduada en centímetros.

El diámetro se registró como el promedio aritmético de dos medidas perpendiculares, con aproximación de 0.5 centímetros.

Para la determinación de factores de corrección se apearon todos los árboles vivos, registrándose posteriormente en el suelo los diámetros del fuste metro a metro con la forcípula (Ver Figura 10).



Figura 10. Medición de los diámetros del fuste metro a metro con la forcípula.

3.2.1.2 Medición de trozas comerciales

El rodal fue explotado en 4 cortas: entre los meses de noviembre de 1996 y abril de 1997. Los pasos seguidos en cada corta fueron los siguientes:

- El apeo fue realizado por una cuadrilla integrada por un motosierrista, quien realizaba las tareas de apeo y desrame y un ayudante, encargado de medir el largo de las trozas comerciales y hacer los rameros.
- El madereo se realizó con un *forwarder*, entre las cortas sucesivas.
- Los largos comerciales utilizados por la empresa son:

TIPO DE ASERRADO	LARGO (m)	DIÁMETRO MENOR (cm)
Aserrado 1	4.25	25.0
Aserrado 2	3.35	12.5
Aserrado 3	2.45	12.5

En el caso de árboles bifurcados, si las bifurcaciones tenían las características requeridas se utilizaban ambas. De lo contrario se optaba por la de mejores características.

- De cada troza comercial se procedió a medir el espesor diametral de corteza. Se tomaron dos medidas en cada extremo de troza.

En total se midieron 338 árboles.

Las planillas tipo para recolección de datos, se muestran en el Anexo.

3.2.2 Comparación de distintos métodos de muestreo

Con la finalidad de comparar la eficiencia de los distintos tipos de parcelas en el marco del inventario forestal continuo que realiza la empresa, se procedió a realizar las siguientes operaciones en los bosques 55, 146 y 152:

- Muestreo dirigido a través de giros Bitterlich temporales comparando tiempo entre operadores.
- Muestreo dirigido a través de giros Bitterlich permanentes, uno por cada operador determinando los tiempos correspondientes.

Al igual que en el bosque 105, se efectuaron todas las combinaciones posibles entre operadores para las distintas funciones: operador del relascopio y operador de la forcípula de forma tal de evitar cualquier tipo de error sistemático.

- Muestreo dirigido utilizando parcelas cuadradas de 400 m² de superficie determinando el tiempo empleado en su realización.
- Muestreo dirigido por medio de parcelas circulares utilizando tres tamaños de parcela: 100, 200 y 400 m² de superficie, determinando el tiempo empleado en su realización para el caso de la parcela de 400 m².

En los bosques 114 y 180 se procedió a realizar un muestreo Bitterlich sistemático determinando parcelas temporales. Se llevó a cabo un giro por operador, comparando tiempo entre operadores en el caso del bosque 180.

3.2.3 Cálculo de factores de corrección

Con el fin de predecir con mayor exactitud los rendimientos en Pinos, se calculan factores de corrección para los distintos métodos de inventario con respecto a los volúmenes reales comerciales calculados por medio de las fórmulas de Newton y Smalian.

Volumen real comercial = Volumen de inventario × Factor de corrección

Factor de corrección = (Volumen real comercial obtenido de tala rasa) / (Volumen de inventario estimado en el sistema)

El factor de corrección se puede definir como el cociente entre el volumen real comercial obtenido de tala rasa y el volumen de inventario estimado en el sistema. El volumen real comercial se obtiene multiplicando el volumen calculado en el inventario por el factor de corrección. Es importante destacar que estos factores de corrección calculados solo puede ser aplicado para bosques con las mismas características que el inventariado (especie, edad, sitio geográfico, condiciones climáticas).

3.2.4 Cálculo de factores de forma

3.2.4.1 Factor de forma comercial con corteza

Indica una relación entre el volumen real del árbol y el volumen del cuerpo geométrico al cual se asemeja (volumen aparente). En el caso específico del Factor de Forma comercial se utiliza la altura comercial del árbol hasta donde sea utilizable el diámetro límite para el mercado según el destino de la madera.

$$f_c = (\text{Volumen real comercial}) / (\text{Volumen aparente comercial})$$

$$f_c = (\text{Volumen real comercial}) / (\text{Volumen del cuerpo geométrico})$$

Para el cálculo del **Valor real comercial** de cada árbol se utilizaron dos fórmulas para calcular el volumen de las trozas: Smalian y Newton.

En el caso de la primera se utilizó tanto la fórmula simple metro a metro como la acumulada, como suma de los volúmenes de las trozas comerciales.

Volumen Smalian por troza

$$V_s = \pi/8 (d^2 + D^2) L$$

V_s = Volumen de la troza en metros cúbicos

L = Longitud de la troza en metros

d = diámetro del extremo menor en metros

D = diámetro del extremo mayor en metros

Volumen total comercial Smalian

$$V_{tc} = \pi/8 [D_o^2 + D_n^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} D_i^2]$$

V_{tc} = Volumen real total del árbol en metros cúbicos

D_o = diámetro mayor de la primer troza en metros

D_n = diámetro menor de la última troza en metros

D_i = diámetros sucesivos de las trozas intermedias en metros

Volumen Newton por troza

$$V_N = (a + 4A_{0.5} + A) / 6 \times L$$

V_N = Volumen de la troza en metros cúbicos

a = superficie del extremo menor en metros cuadrados

$A_{0.5}$ = superficie del centro de la troza en metros cuadrados

A = superficie del extremo mayor en metros cuadrados

L = largo de la troza en metros

V_{ac} = Volumen aparente comercial = Volumen del cilindro en m^3

$$V_{ac} = \pi/4 \cdot DAP^2 \cdot Hc$$

DAP = diámetro a 1.30 metros desde el nivel del suelo en metros

H = altura comercial en metros

3.2.4.2 Factor de forma comercial sin corteza

Posteriormente se procedió a calcular el factor de forma sin corteza haciendo todos los cálculos de volumen a partir de diámetros sin corteza, restando el espesor diametral de corteza a los datos de diámetro con corteza.

$$f = (\text{Volumen real comercial sin corteza}) / (\text{Volumen aparente comercial sin corteza})$$

$$f = (V_{cs}/c) / (V_{apc}/c)$$

Para el cálculo del Volumen real comercial sin corteza para cada árbol se utilizó la fórmula de Smalian simple para las mediciones por troza.

3.2.5 Ajuste de modelos matemáticos y construcción de tablas de volumen

Con los datos de volúmenes por árbol y los diámetros reales con y sin corteza de los árboles se realizó un ajuste analítico del tipo:

$$V = a \times DAP^b$$

V = Volumen aserrable potencial en metros cúbicos (con y sin corteza).

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo con corteza en centímetros.

a y b = Coeficientes de regresión del modelo.

A partir de dicho ajuste se realizaron las tablas de volumen correspondientes.

Las planillas de datos originales y de cálculo se encuentran disponibles en material digital a disposición de los interesados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FACTORES DE CORRECCIÓN DE VOLUMEN ASERRABLE

Para el bosque 105 se calculó el volumen comercial total por los diferentes métodos de muestreo obteniéndose los siguientes resultados:

Método de muestreo	Area basal promedio (m ² / Ha)	Volumen total 0,5 Ha (m ³) f = 0.39	Volumen total 0,5 Ha (m ³) f = 0.67
Bitterlich Temporal	51,2000	141,7728	259,4743
Bitterlich Permanente	49,2000	136,2348	248,8915
Parcela circular (100 m ²)	39,7774	110,1436	188,4688
Parcela circular (200 m ²)	41,4909	114,8883	198,2114
Parcela circular (400 m ²)	39,7536	110,0778	199,5858
Parcela cuadrada (400 m ²)	48,7261	134,9227	235,2051

Para el cálculo de volumen se utilizaron dos factores de forma: 0.39, extraído de la tabla de conicidad para *P. elliottii* y *P. taeda* utilizada actualmente en el establecimiento Puerto Arazati y 0.67 calculado en este trabajo.

Dadas las diferencias de áreas basales apreciadas en el cuadro anterior, se realizó un análisis estadístico para determinar si las mismas son significativas, del cual se desprenden los siguientes resultados. Los métodos Bitterlich temporal y permanente y parcela cuadrada no presentan diferencias entre sí. La parcela cuadrada y las parcelas circulares de 200 y 400 metros cuadrados tampoco se diferencian en forma significativa. Por último, existe un tercer grupo estadísticamente homogéneo compuesto por las parcelas circulares de 100, 200 y 400 metros cuadrados.

La menor área basal registrada en las parcelas circulares, se podría deber a que el número de árboles medidos en las parcelas circulares fue menor, dentro de cada unidad, debido a que por el intenso raleo al que estaban sometidos los bosques, las unidades no captaron la cantidad mínima suficiente para representar la media real. Esto se comprueba comparando el número de árboles de las parcelas cuadradas y circulares de una misma unidad de muestreo, y una superficie de 400 metros cuadrados.

En una segunda instancia se calculó el volumen comercial real por medio de las fórmulas de Newton y Smalian acumulada, obteniéndose los siguientes valores:

Método de cálculo de volumen	Volumen real comercial (m ³ / 0.5 Ha)	Diferencia (%)
Aplicación de la fórmula de Newton	227.9072	
Aplicación de la fórmula de Smalian	237.7746	+4.33

Tal como se preveía de acuerdo a la revisión bibliográfica, el volumen calculado a partir de la fórmula de Smalian es mayor al volumen según la fórmula de Newton, ya que la fórmula de Smalian realiza una cierta sobrestimación.

Los volúmenes calculados por medio de las fórmulas de Newton y Smalian se toman como los valores de volumen real, por lo tanto los factores de corrección se calcularon según la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de corrección} = (\text{Volumen comercial real}) / (\text{Volumen de inventario})$$

(F.C.)

Se calcularon los factores de corrección de volumen aserrable (para el factor de forma 0.39):

Método de muestreo	F.C. Newton	F.C. Smalian
Bitterlich Temporal	1,6076	1,6701
Bitterlich Permanente	1,6729	1,7380
Parcela circular (100 m²)	2,0692	2,1497
Parcela circular (200 m²)	1,9837	2,0609
Parcela circular (400 m²)	2,0704	2,1510
Parcela cuadrada (400 m²)	1,6892	1,7549

Analizando los factores de corrección obtenidos observamos que los volúmenes calculados a partir de los resultados del muestreo, usando el factor de forma empleado en el sistema de inventario de la empresa, subestiman el valor real en aproximadamente un 100% para las parcelas circulares y entre un 60 y 70% para las parcelas cuadradas y Bitterlich. Esta diferencia tan grande entre los valores de volumen en pie y volumen aserrable se puede atribuir en su mayor parte a que el factor de forma que se viene utilizando en la empresa, es de 0.39 ya que procede de rodales con otras características de manejo y edad. Esto muestra claramente cuan importante resulta utilizar información de conicidad más adecuada con cada situación, ya que en este caso, para las exigencias comerciales de este trabajo, el factor calculado a partir de los datos de campo es 0.67. Este aspecto está contemplado en el diseño de inventario de la empresa, ya que se abren opciones de factor de forma por especie y por edad.

Para este factor calculado de 0.67, los factores de corrección son los siguientes:

Método de muestreo	F.C. Newton	F.C. Smalian
Bitterlich Temporal	0,9357	0,9721
Bitterlich Permanente	0,9738	1,0117
Parcela circular (100 m ²)	1,2044	1,2513
Parcela circular (200 m ²)	1,1547	1,1996
Parcela circular (400 m ²)	1,2052	1,2521
Parcela cuadrada (400 m ²)	0,9832	1,0215

De los resultados presentados en la tabla se puede concluir que ambas variables del método Bitterlich resultan altamente satisfactorias como diseño de inventarios.

4.2 AJUSTE DE REGRESIÓN PARA VOLUMEN EN FUNCIÓN DEL DAP

Para las variables volumen total comercial (con y sin corteza) y DAP la regresión correspondiente dio como resultado las expresiones matemáticas que se presentan a continuación en los próximos numerales:

4.2.1 Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP

$$V = 0.0003 \text{ DAP}^{2.2783}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

La calidad del ajuste resultó altamente aceptable si analizamos los siguientes parámetros:

Coeficiente de correlación = 0.9386

Coeficiente $r^2 = 0.8809$

Error estándar = 0.0937

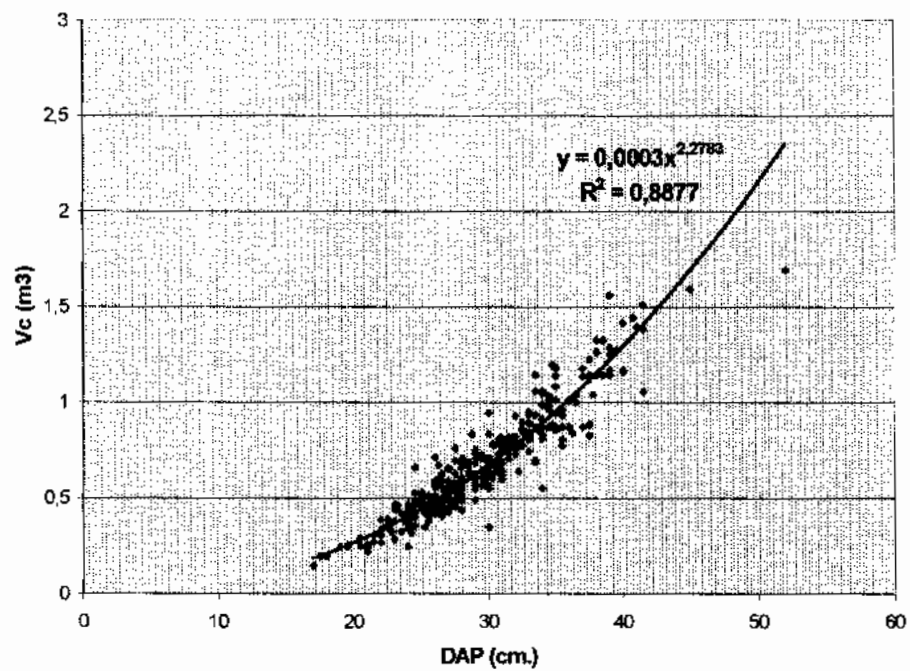


Figura 11. Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP

Cuadro 1. Tabla de volumen comercial calculado según fórmula de Newton (trozas comerciales)

DAP (cm)	Vc (m ³)
15	0,143420
16	0,166138
17	0,190745
18	0,217274
19	0,245757
20	0,276222
21	0,308698
22	0,343212
23	0,379792
24	0,418462
25	0,459249
26	0,502175
27	0,547265
28	0,594540
29	0,644025
30	0,695739
31	0,749705
32	0,805943
33	0,864473
34	0,925315
35	0,988488
36	1,054011
37	1,121903
38	1,192181
39	1,264864
40	1,339968
41	1,417512
42	1,497511
43	1,579983
44	1,664943
45	1,752408
46	1,842394
47	1,934915
48	2,029987
49	2,127625
50	2,227843
51	2,330657
52	2,436081
53	2,544128
54	2,654813
55	2,768150

Diámetro mínimo = 17 cm.

Diámetro máximo = 52 cm.

 Rango de datos originales

4.2.2 Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas de 1 metro de largo) vs DAP

$$V = 0.0002 \text{ DAP}^{2.3412}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

El grado de correlación entre ambas variables resultó altamente significativo tal como se demuestra analizando los siguientes parámetros:

Coefficiente de correlación = 0.9223

Coefficiente $r^2 = 0.8506$

Error estándar = 0.1128

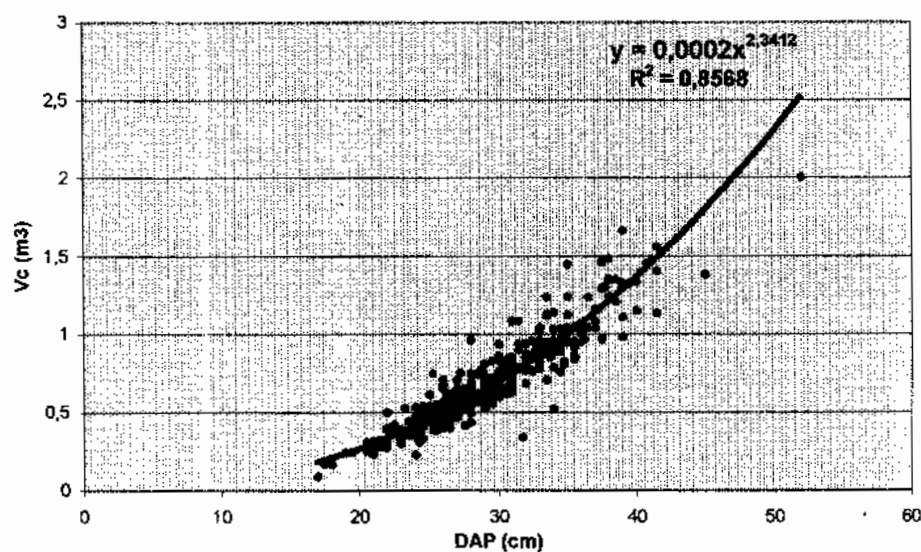


Figura 12. Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas de 1 metro de largo) vs DAP

Cuadro 2. Tabla de volumen comercial calculado según fórmula de Smalian (trozas de 1 metro de largo)

DAP (cm.)	Vc (m3)
15	0,113369
16	0,131861
17	0,151970
18	0,173730
19	0,197173
20	0,222332
21	0,249235
22	0,277914
23	0,308395
24	0,340707
25	0,374876
26	0,410928
27	0,448889
28	0,488783
29	0,530635
30	0,574469
31	0,620306
32	0,668170
33	0,718083
34	0,770067
35	0,824142
36	0,880330
37	0,938650
38	0,999124
39	1,061770
40	1,126608
41	1,193657
42	1,262936
43	1,334462
44	1,408255
45	1,484332
46	1,562711
47	1,643408
48	1,726442
49	1,811828
50	1,899584
51	1,989726
52	2,082270
53	2,177232
54	2,274627
55	2,374472

Diámetro mínimo = 17 cm.

Diámetro máximo = 52 cm.

 Rango de datos originales

4.2.3 Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas comerciales) vs DAP

$$V = 0.0003 \text{ DAP}^{2.2523}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

Los parámetros que se presentan a continuación indican una correlación altamente significativa de las variables.

Coefficiente de correlación = 0.9406

Coefficiente $r^2 = 0.8848$

Error estándar = 0.0975

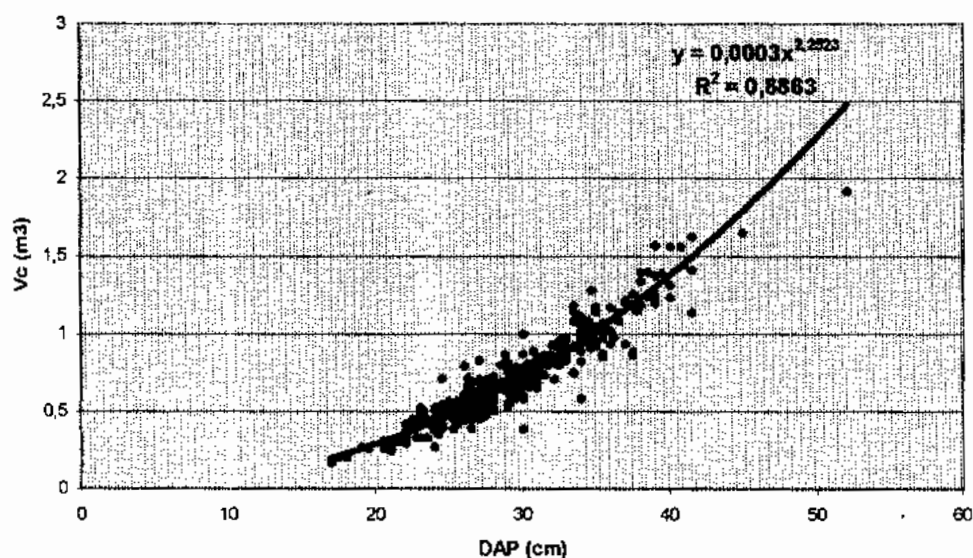


Figura 13. Volumen total comercial con corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas comerciales) vs DAP

Cuadro 3. Tabla de volumen comercial con corteza calculado según fórmula de Smalian
(trozas comerciales)

DAP (cm.)	Vc (m3)
15	0,133669
16	0,154583
17	0,177199
18	0,201545
19	0,227645
20	0,255524
21	0,285204
22	0,316709
23	0,350059
24	0,385275
25	0,422378
26	0,461387
27	0,502322
28	0,545199
29	0,590038
30	0,636856
31	0,685670
32	0,736496
33	0,789351
34	0,844250
35	0,901209
36	0,960244
37	1,021367
38	1,084596
39	1,149942
40	1,217422
41	1,287047
42	1,358832
43	1,432789
44	1,508932
45	1,587274
46	1,667826
47	1,750601
48	1,835612
49	1,922870
50	2,012387
51	2,104174
52	2,198242
53	2,294604
54	2,393270
55	2,494251

Diámetro mínimo = 17 cm.

Diámetro máximo = 52 cm.

 Rango de datos originales

4.2.4 Volumen total comercial sin corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas comerciales) vs DAP

$$V = 0.0003 \text{ DAP}^{2.2403}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, sin corteza

Coefficiente de correlación = 0.9375

Coefficiente $r^2 = 0.8788$

Error estándar = 0.0884

A partir de los parámetros que anteceden se demuestra una correlación altamente significativa de las variables analizadas.

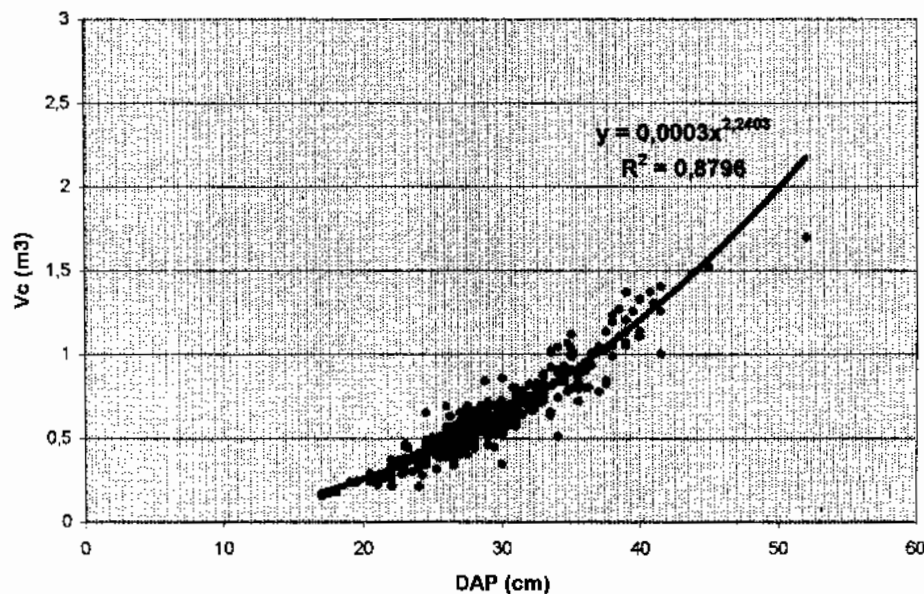


Figura 14. Volumen total comercial sin corteza (calculado por la fórmula de Smalian para trozas comerciales) vs DAP

Cuadro 4. Tabla de volumen comercial sin corteza calculado según fórmula de Smalian (trozas comerciales)

DAP (cm.)	Vc (m3)
15	0,129395
16	0,149524
17	0,171276
18	0,194674
19	0,219742
20	0,246501
21	0,274972
22	0,305176
23	0,337132
24	0,370859
25	0,406374
26	0,443697
27	0,482843
28	0,523829
29	0,566672
30	0,611387
31	0,657989
32	0,706494
33	0,756917
34	0,809270
35	0,863569
36	0,919826
37	0,978058
38	1,038270
39	1,100483
40	1,164708
41	1,230951
42	1,299232
43	1,369559
44	1,441944
45	1,516398
46	1,592933
47	1,671560
48	1,752290
49	1,835133
50	1,920100
51	2,007200
52	2,096445
53	2,187845
54	2,281408
55	2,377146

Diámetro mínimo = 17 cm.

Diámetro máximo = 52 cm.

 Rango de datos originales

4.2.5 Volumen aserrable en función del DAP

Para las variables volumen de aserrado tipo 1 y DAP la regresión correspondiente dio como resultado las siguientes expresiones matemáticas:

♦ Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 1 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP

Al graficar los valores obtenidos se observó la existencia de dos conjuntos de datos, por lo cual se agruparon los mismos en dos series (Serie 1 y Serie 2). Debido a esto se ajustaron dos funciones:

Serie 1

$$V = 0.0007 \text{ DAP}^{1.937}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Coefficiente de correlación = 0.8333

Coefficiente r^2 = 0.6943

Error estándar = 0.1136

Serie 2

$$V = 0.0013 \text{ DAP}^{1.6145}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Coefficiente de correlación = 0.8962

Coefficiente r^2 = 0.8032

Error estándar = 0.0240

El ajuste para ambos grupos de datos resultó muy aceptable a partir del análisis de los parámetros anteriores.

Para la realización de los ajustes de funciones correspondientes se eliminaron tres árboles en los cuales el diámetro menor de la troza de aserrado tipo 1 era inferior al diámetro crítico (25 centímetros) y por lo tanto deberían haber sido clasificadas en otra categoría de aserrado. Esto se explica por un error operativo cometido por la cuadrilla durante la determinación de las categorías de aserrado para esos árboles. También se eliminó el árbol de mayor DAP del rodal (52 centímetros), ya que del mismo sólo se obtuvo una troza de aserrado tipo 1 debido a que presentaba una bifurcación a baja altura.

Los datos obtenidos revelan que para un mismo DAP se pueden obtener dos valores de volumen distintos. Esto se explica por la existencia de árboles que presentan más de una troza de aserrado tipo 1, aumentando consecuentemente el volumen total de este tipo de aserrado.

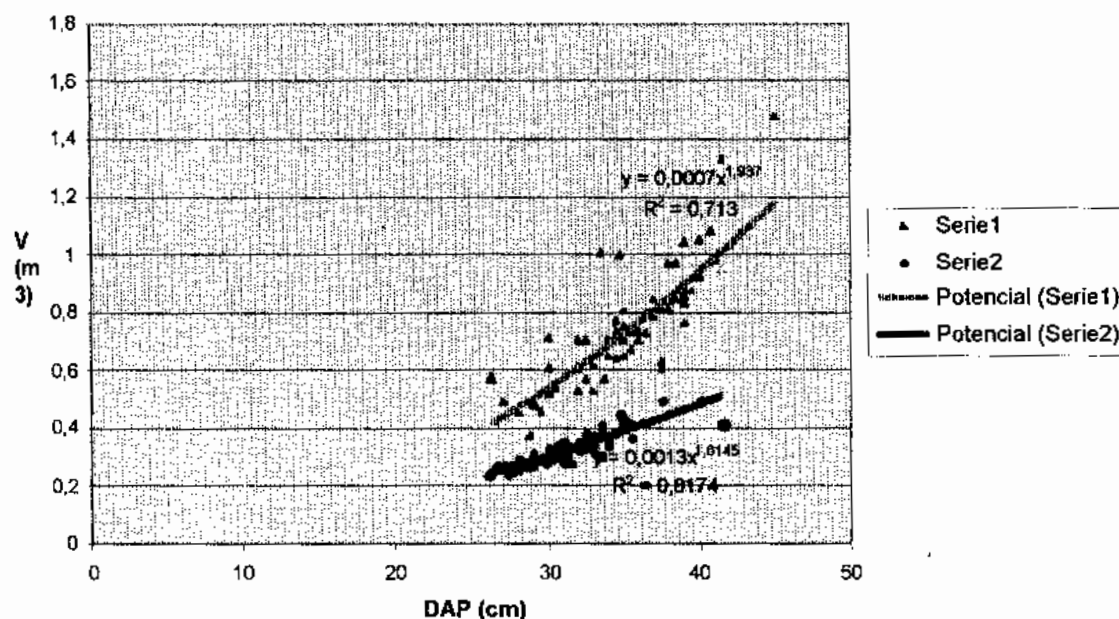


Figura 15. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 1 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP

Cuadro 5. Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 1 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Newton)

DAP (cm)	V (m3)
25	0.357197
26	0.385391
27	0.414619
28	0.444880
29	0.476171
30	0.508489
31	0.541833
32	0.576200
33	0.611589
34	0.647997
35	0.685422
36	0.723862
37	0.763317
38	0.803783
39	0.845260
40	0.887745
41	0.931237
42	0.975735
43	1.021237
44	1.067741
45	1.115246
46	1.163751
47	1.213254
48	1.263753

 Rango de datos originales

Cuadro 6. Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 2 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Newton)

DAP [cm]	V [m3]
25	0,234919
26	0,235272
27	0,250359
28	0,265811
29	0,281624
30	0,297794
31	0,314316
32	0,331187
33	0,348403
34	0,365959
35	0,383852
36	0,402079
37	0,420637
38	0,439522
39	0,458731
40	0,478261
41	0,498110
42	0,518274
43	0,538752
44	0,559539
45	0,580635

 Rango de datos originales

♦ **Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 1 (calculado por la fórmula de Smalian) vs DAP**

En el caso del cálculo de volumen de aserrado tipo 1 a través de la fórmula de Smalian las tendencias encontradas fueron las mismas que cuando el volumen se calculó mediante la fórmula de Newton.

Serie 1

$$V = 0.0008 \text{ DAP}^{1.9262}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

Los parámetros estadísticos calculados se detallan a continuación:

Coeficiente de correlación = 0.8364
Coeficiente $r^2 = 0.6996$
Error estándar = 0.1162

Serie 2

$$V = 0.0014 \text{ DAP}^{1.6206}$$

V = Volumen en metros cúbicos

DAP = Diámetro a 1.30 metros del suelo, en centímetros, con corteza

Los parámetros estadísticos fueron los siguientes:

Coeficiente de correlación = 0.8588
Coeficiente $r^2 = 0.7375$
Error estándar = 0.0341

En este caso también la calidad del ajuste resultó muy aceptable.

El volumen de aserrado tipo 1 calculado tanto por la fórmula de Smalian como por la de Newton presenta la misma tendencia, pero la fórmula de Smalian produce una sobrestimación, lo cual concuerda con los datos obtenidos por otros autores tal como se cita en la revisión bibliográfica.

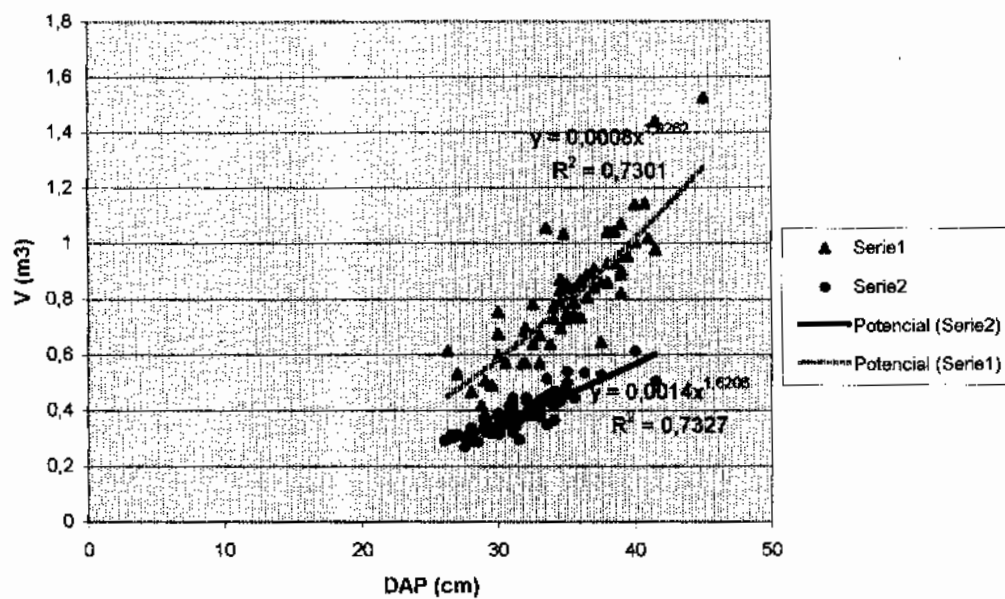


Figura 16. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 1 (calculado por la fórmula de Smalian) vs DAP

Cuadro 7. Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 1 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Smalian)

DAP (cm)	Volumen (m3)
25	0.394278
26	0.425218
27	0.457281
28	0.490462
29	0.524760
30	0.560171
31	0.596693
32	0.634322
33	0.673057
34	0.712894
35	0.753831
36	0.795866
37	0.838996
38	0.883221
39	0.928536
40	0.974940
41	1.022432
42	1.071008
43	1.120668
44	1.171409
45	1.223229
46	1.276128
47	1.330102
48	1.385150

 Rango de datos originales

Cuadro 8. Tabla de volumen de trozas de aserrado tipo 1 para Serie 2 en función del DAP (volumen calculado según fórmula de Smalian)

DAP (cm)	Volumen (m3)
25	0,258006
26	0,274937
27	0,292278
28	0,310022
29	0,328163
30	0,346698
31	0,365619
32	0,384923
33	0,404605
34	0,424661
35	0,445087
36	0,465878
37	0,487030
38	0,508540
39	0,530405
40	0,552620
41	0,575182
42	0,598089
43	0,621337
44	0,644922
45	0,668843

 Rango de datos originales

♦ Volumen comercial de aserrado tipo 2 y 3 en función del DAP

Para las variables volumen comercial de aserrado tipo 2 y 3 (calculado por las fórmulas de Newton y Smalian) vs DAP no se halló correlación. No se pudo realizar un ajuste matemático ya que no sigue un patrón determinado. El volumen de aserrado tipo 2 y 3 obtenido depende de varios factores aleatorios: en muchos casos el factor limitante no es el diámetro crítico sino el largo de la troza. La existencia de árboles bifurcados es otro factor que determina el tipo de aserrado que se va a obtener.

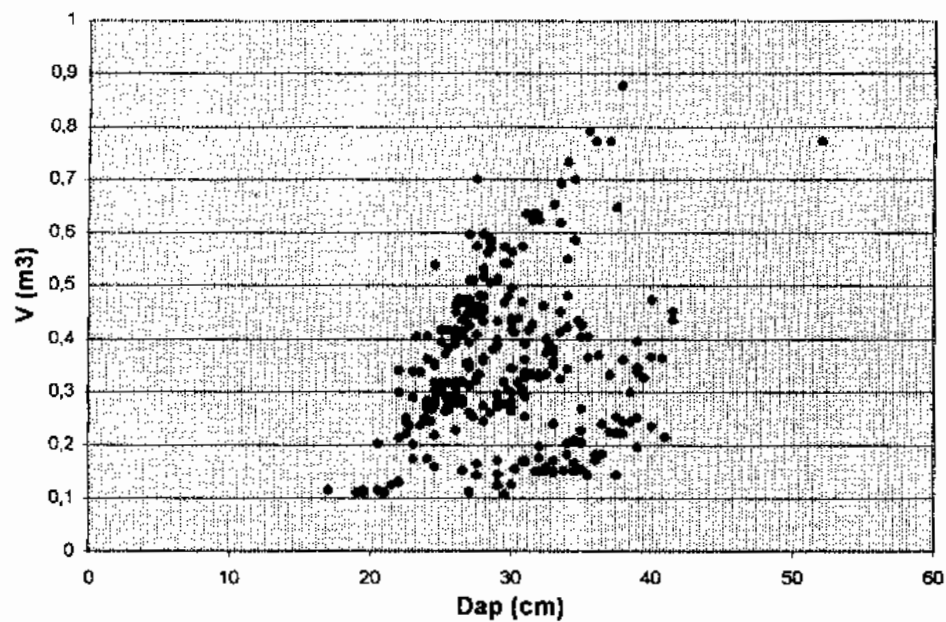


Figura 17. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 2 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP

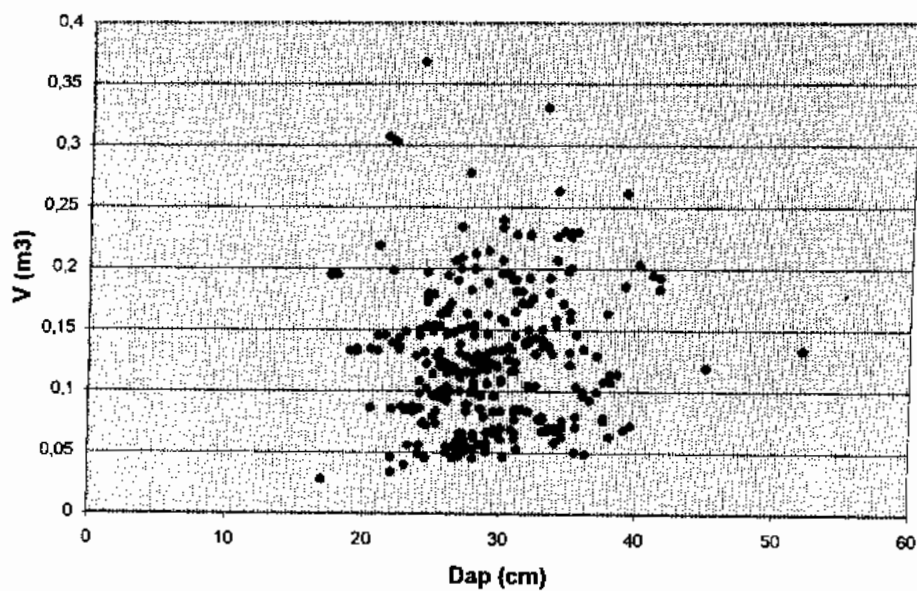


Figura 18. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 3 (calculado por la fórmula de Newton) vs DAP

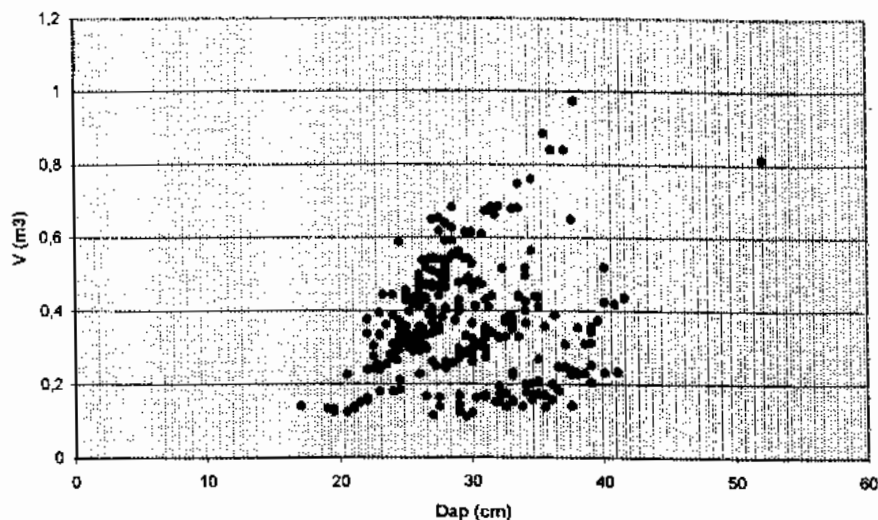


Figura 19. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 2 (calculado por la fórmula de Smalian) vs DAP

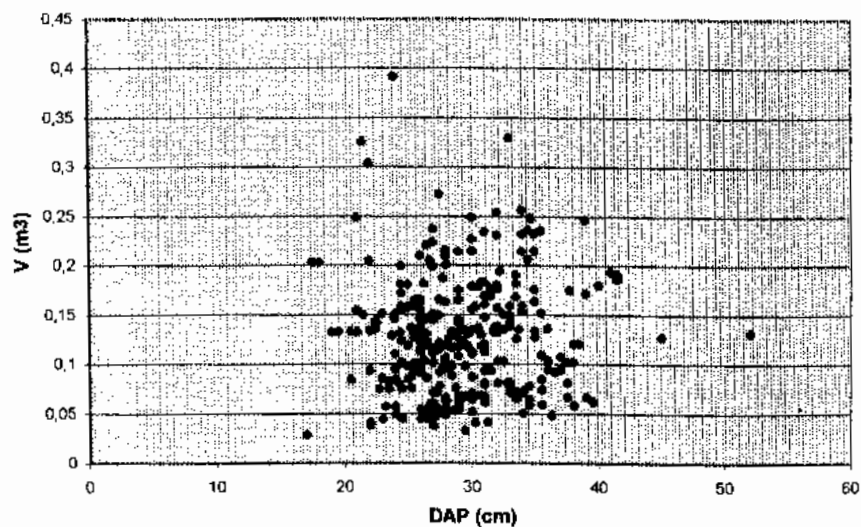


Figura 20. Volumen comercial de trozas de aserrado tipo 3 (calculado por la fórmula de Smalian) vs DAP

4.3 CALCULO DE FACTORES DE FORMA

En todos los casos analizados la variación del factor de forma en función del DAP no puede ajustarse a un modelo matemático. A su vez presenta una gran dispersión, por lo que debe trabajarse con el promedio por clase de DAP. Si se quisiera obtener un

ajuste más afinado se debería trabajar con un mayor número de árboles, de forma tal de aumentar el número de árboles por clase.

El factor de forma por clase se calculó como el promedio aritmético de los factores de forma calculados para cada árbol de cada clase.

4.3.1 Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Newton vs DAP

Clase de DAP	f por clase
≤ 20	0,7701
20,1- 25	0,6897
25,1- 30	0,6693
30,1- 35	0,6796
35,1- 40	0,6636
40,1- 45	0,6333
45,1- 50	-
≥ 50	0,5942
PROMEDIO GENERAL	0,6756

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Error estándar = 4.9945

Desvío estándar = 0,0739

Coefficiente de variación = 10.94 %

Se observa una gran dispersión en los valores obtenidos, pero de todas formas existe una cierta tendencia a la disminución del factor de forma a medida que aumenta la clase de DAP, lo cual concuerda con los datos obtenidos en la bibliografía consultada. Sin embargo no se halló correlación estadística entre ambas variables.

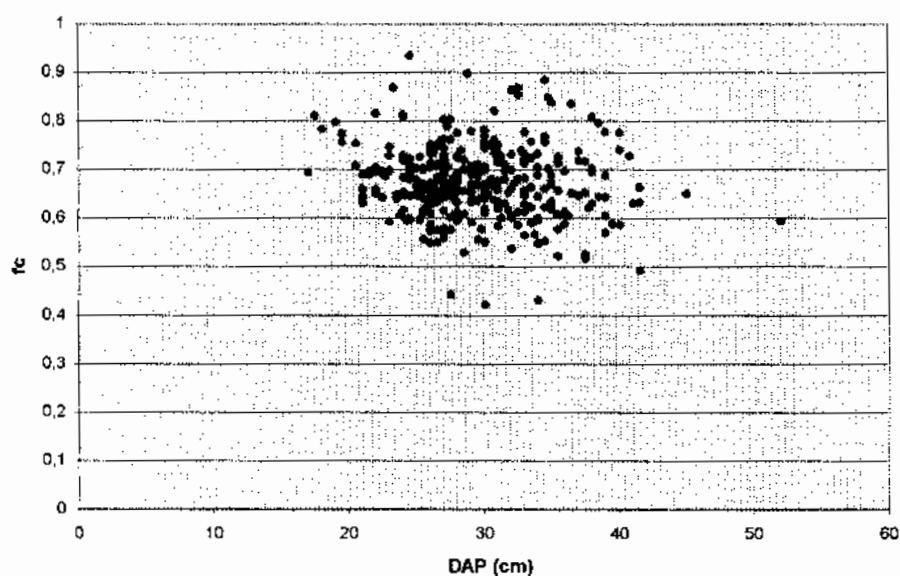


Figura 21. Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Newton vs DAP

4.3.2 Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Smalian para trozas de 1 metro de largo vs DAP

Clase de DAP	f por clase
≤ 20	0,8374
20,1- 25	0,7030
25,1- 30	0,6737
30,1- 35	0,6604
35,1- 40	0,6550
40,1- 45	0,6301
45,1- 50	-
≥ 50	0,5899
PROMEDIO GENERAL	0,6748

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Error estándar = 0.0671

Desvío estándar = 0.0702

Coefficiente de variación = 10.39 %

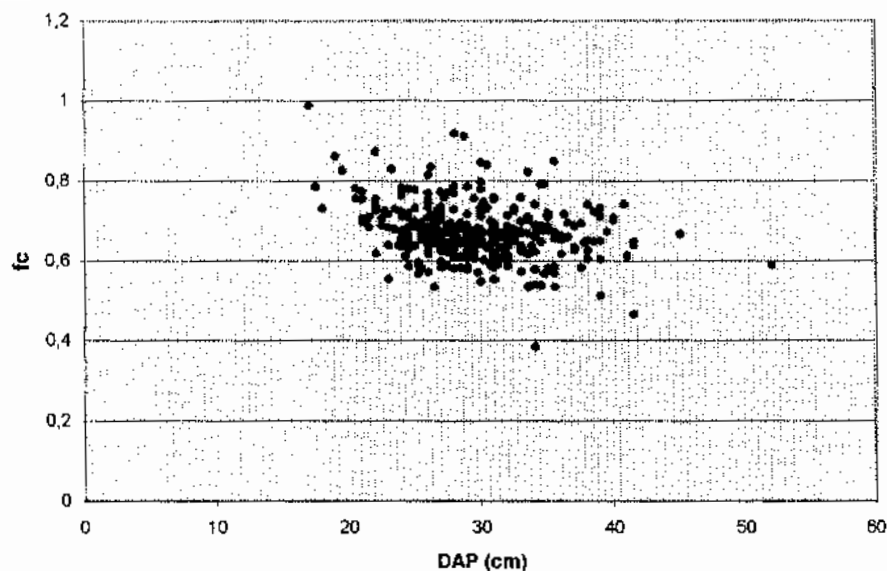


Figura 22. Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Smalian para trozas de 1 metro de largo vs DAP

4.3.3 Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Smalian para trozas comerciales vs DAP

Clase de DAP	f por clase
≤ 20	0,8366
20,1- 25	0,7436
25,1- 30	0,7155
30,1- 35	0,7267
35,1- 40	0,7098
40,1- 45	0,6700
45,1- 50	-
≥ 50	0,6740
PROMEDIO GENERAL	0,7236

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Error estándar = 0.0811

Desvío estándar = 0.08190

Coefficiente de variación = 11.32 %

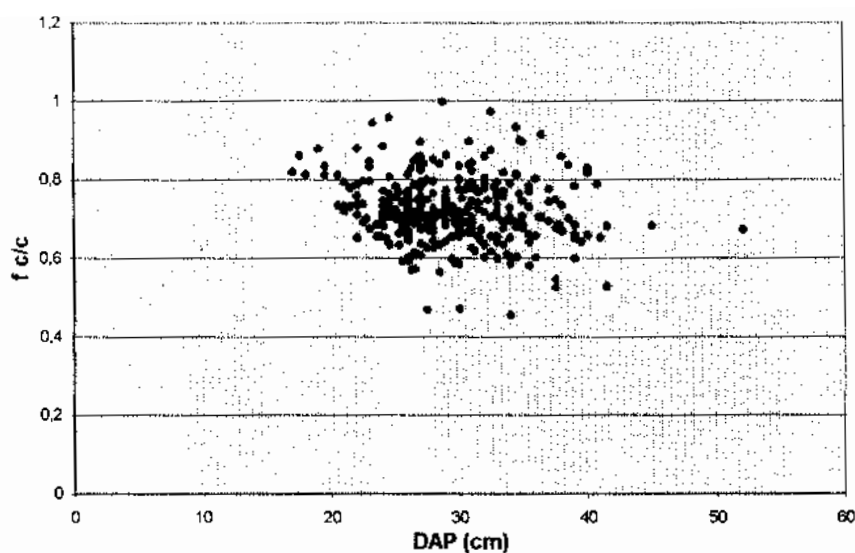


Figura 23. Factor de forma comercial calculando el volumen real con corteza por la fórmula de Smalian para trozas comerciales vs DAP

4.3.4 Factor de forma comercial calculando el volumen real sin corteza por la fórmula de Smalian para trozas comerciales vs DAP

Clase de DAP	f por clase
≤ 20	0,7548
20,1- 25	0,6582
25,1- 30	0,6307
30,1- 35	0,6417
35,1- 40	0,6203
40,1- 45	0,5972
45,1- 50	
≥ 50	0,5964
PROMEDIO GENERAL	0,6385

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Error estándar = 0.0753

Desvío estándar = 0.0762

Coefficiente de variación = 11.93 %

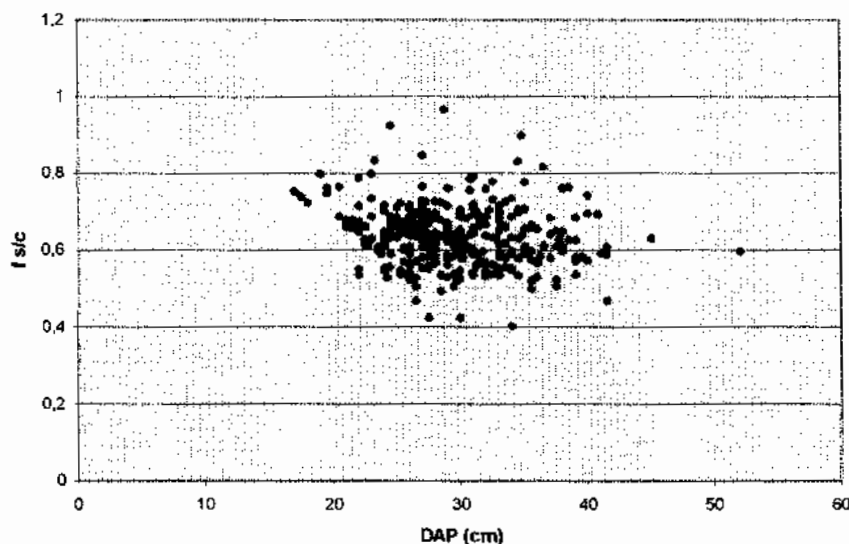


Figura 24. Factor de forma comercial calculando el volumen real sin corteza por la fórmula de Smalian para trozas comerciales vs DAP

En todos los casos se observa una tendencia a la disminución en el factor de forma a medida que aumenta el DAP del árbol. Sin embargo, la disminución no es tan marcada debido a que el bosque ya ha sido intensamente manejado y el factor de forma de los árboles remanentes en pie, se ha homogeneizado. Dichos valores calculados son altos en comparación a los hallados en la bibliografía consultada y específicamente en comparación con los utilizados en el sistema de inventario de la empresa Puerto Arazatí. Esto se explica porque los factores de forma obtenidos a partir de este trabajo se calcularon utilizando alturas comerciales reales (tanto para volumen comercial real como para volumen comercial aparente) mientras que los factores anteriormente mencionados fueron calculados empleando alturas comerciales obtenidas a partir de mediciones de árboles tipo en pie para cada clase.

Otro factor a tener en cuenta es que debido a problemas en la explotación se dieron varios casos de despunte de árboles, con lo cual al perderse la punta cónica, los factores de forma calculados son más altos, asemejándose en dichos casos el volumen comercial al volumen de un cilindro.

En cuanto a los factores de forma para los árboles de mayor clase de DAP, los resultados presentan una menor confiabilidad, debido al reducido número de árboles pertenecientes a dichas clases.

Se concluye que el factor de forma calculado no depende exclusivamente de la forma del árbol, sino que las restricciones comerciales de los productos a obtener estarían influyendo de una manera muy significativa.

4.3.5 Comparación entre factores de forma

Con la finalidad de analizar la similitud entre los dos métodos para calcular volumen real, mediante las fórmulas de Newton y Smalian se determinó la correlación entre los valores de volumen total comercial con corteza (para trozas comerciales) obtenidos por ambos métodos.

La regresión ajustada fue la siguiente:

$$f_{\text{Newton}} = 0.0761 + 0.8286 f_{\text{Smalian}}$$

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Coefficiente de correlación = 0.9181

Coefficiente $r^2 = 0.8429$

Error estándar = 0.0293

La calidad del ajuste resultó muy aceptable.

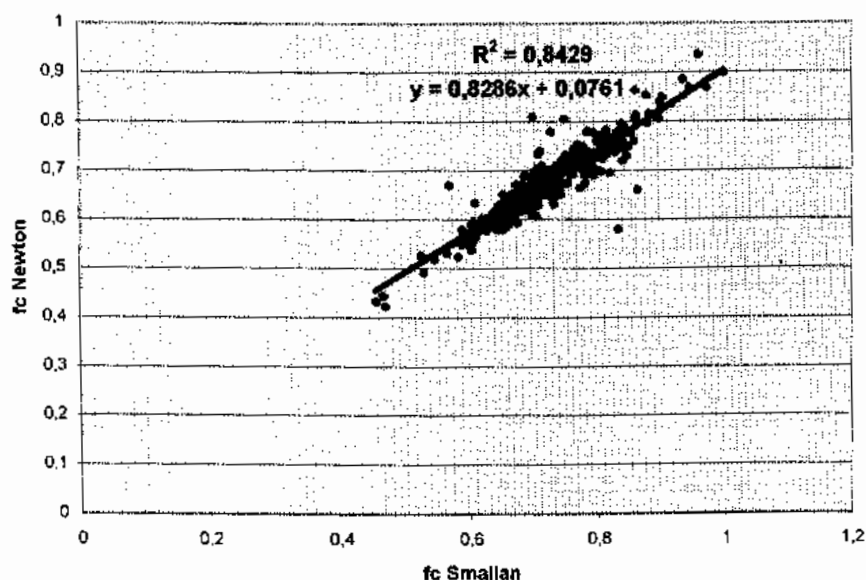


Figura 25. Comparación entre factores de forma

4.4 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE MUESTREO

4.4.1 Efecto del método de muestreo sobre la estimación del área basal

En el caso de los bosques N° 55, 146 y 152 se analizaron los resultados del efecto del método de muestreo sobre la estimación del área basal. Dicho análisis demostró la no existencia de diferencias significativas. El análisis estadístico se detalla en el Anexo 2.

4.4.2 Efecto del operador, método de muestreo e interacción entre ambos sobre la estimación del área basal

Para los mismos bosques que en el punto anterior se analizó el efecto entre operadores, métodos de muestreo (Bitterlich temporal y permanente), e interacción sobre la estimación del área basal, no encontrándose interacción entre estos factores.

4.4.3 Efecto del operador sobre la estimación del área basal

Se analizó la diferencia en área basal entre operadores para los métodos Bitterlich temporal y permanente. Para los bosques 55, 146 y 152 los resultados obtenidos revelan una diferencia significativa entre operadores. Las mediciones de los operadores Silvia y Roberto son significativamente mayores que las de los operadores Laura y Alejandro. Cuando se incluyen los bosques 114 y 180 en la comparación de área basal entre operadores para el método de muestreo Bitterlich temporal, la diferencia significativa encontrada anteriormente, se anula. Esto se debe a que los bosques 114 y 180 habían tenido un raleo muy intenso, con valores de área basal promedio de 22,6 y 14,4 metros cuadrados por hectárea respectivamente. Al contabilizar un menor número de árboles por giro se ve simplificada la tarea del operador, reduciéndose la posibilidad de cometer errores de muestreo. En los bosques 114 y 180 se realizaron 13 unidades de muestreo, frente a las 4 realizadas en la totalidad de los bosques restantes, lo que determinó que los mismos tuvieran un mayor peso en el análisis. Al tener una alta homogeneidad en sus mediciones de área basal, cuando se comparan los resultados obtenidos en todos los bosques, no se encuentra diferencia significativa en los valores de área basal.

4.4.4 Efecto del método de muestreo sobre el tiempo

El primer análisis consistió en el efecto del método de muestreo sobre el tiempo, el cual se realizó en los bosques 55, 146 y 152. Se compararon los métodos de muestreo Bitterlich temporal y permanente, parcela circular y parcela cuadrada de 400 metros cuadrados.

Los resultados obtenidos demuestran una clara diferencia significativa entre todos los métodos.

El método que emplea menor tiempo es el Bitterlich temporal, en segundo lugar se ubica el método Bitterlich permanente, seguidos de la parcela circular y la parcela cuadrada, que es la que requiere el mayor tiempo de muestreo.

Si a esto le agregamos que no existen diferencias significativas en cuanto a los valores de área basal para estos métodos, Bitterlich temporal aún a un menor insumo de tiempo con una misma confiabilidad en los resultados.

Si se requiere mayor calidad de la información (área basal por clase diamétrica) se tiene que optar entre los métodos Bitterlich permanente, parcela circular o parcela cuadrada. En dicho caso, Bitterlich permanente es el que mejor conjuga ambas variables.

4.4.5 Efecto del operador sobre el tiempo de muestreo

El siguiente análisis estudia la incidencia de diferentes operadores sobre la variable tiempo para los métodos Bitterlich temporal y permanente en los bosques 55, 146 y 152. Los resultados obtenidos muestran que el operador Roberto insume mayor tiempo respecto a las operadoras Laura y Silvia, no existiendo diferencias respecto a Alejandro. Este último tampoco presenta diferencias con Laura y Silvia.

Al incluir el bosque 180, el cual tiene 8 unidades de muestreo y por lo tanto un mayor peso en el resultado del análisis estadístico que los restantes bosques, las diferencias de tiempo entre operadores se anulan para el caso del método Bitterlich temporal. Esto se debe a que al igual que para la variable área basal, al disminuir la densidad, se reduce el número de árboles dudosos (valor 0,5), disminuyen los casos de superposición de árboles y aumenta la luminosidad; factores éstos que contribuyen a la simplificación del método. Por lo tanto, los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas en cuanto al tiempo entre operadores.

4.5 PORCENTAJE DE CORTEZA

Se determinó un porcentaje de corteza promedio a partir de los 338 árboles censados de 12.02 %.

Promedio general % corteza	12.02
N° árboles medidos	338
Desvío estándar	4.45
Coefficiente de variación (%)	37.02

4.5.1 Porcentaje de corteza de las trozas de 4,25 y 3,35

Se analizó el porcentaje de corteza de las trozas de 4.25 metros de largo y las de 3.35 metros separadamente.

♦ **Porcentaje de corteza de la troza de 4.25 metros en función del diámetro medio de la troza**

Dicho porcentaje varía entre 17 y 23% siendo la media de un 18.9%.

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Desvío estándar = 0.0565

Varianza = 0.0032

Cuadro 9. Porcentaje de corteza promedio para trozas de 4.25 metros en función de la clase de diámetro de la troza

Clase de diámetro	%C promedio para trozas de 4.25 m
20 –25	23,14
25,1- 30	19,10
30,1 – 35	18,46
35,1 – 40	19,46
≥ 40,1	17,72
Promedio general	18,90

Analizando la Figura 26 observamos la no existencia de correlación entre estos parámetros.

El porcentaje de corteza se puede considerar independiente del diámetro medio de la troza. Esto se debe a que las trozas analizadas de 4.25 metros de largo son tanto trozas basales como segundas trozas. Por lo tanto, trozas de un mismo diámetro pueden ocupar distinta posición en el árbol, y en consecuencia tienen un porcentaje de corteza diferente.

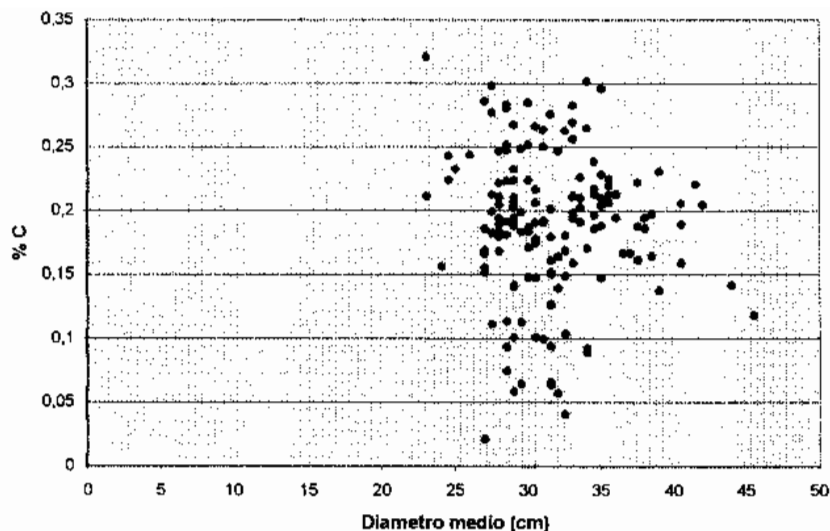


Figura 26. Porcentaje de la troza basal de 4.25 metros en función del diámetro medio de la troza

♦ **Porcentaje de corteza de la troza de 3.35 metros en función del diámetro medio de la troza**

Dicho porcentaje varía entre 9 y 20 % siendo la media de un 18.30 %.

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Desvío estándar = 0.0595

Varianza = 0.0035

Cuadro 10. Porcentaje de corteza promedio para trozas de 3.35 metros en función de la clase de diámetro de la troza

Clase de diámetro	%C promedio para trozas de 3.35 m
15 –20	13,44
20,1 – 25	17,98
25,1 – 30	18,87
30,1 – 35	19,64
35,1 – 40	9,11
≥ 40,1	20,00
Promedio general	18,30

En este caso al igual que para las trozas basales de 4.25 metros de largo tampoco se halló correlación entre el porcentaje de corteza y el diámetro medio de la troza. Para las trozas de 3.35 metros de largo se observa un comportamiento similar al anterior, ya que estas trozas ocupan diferentes posiciones en el árbol, observándose una mayor variación debido a que las mismas pueden ocupar más cantidad de posiciones dentro del árbol.

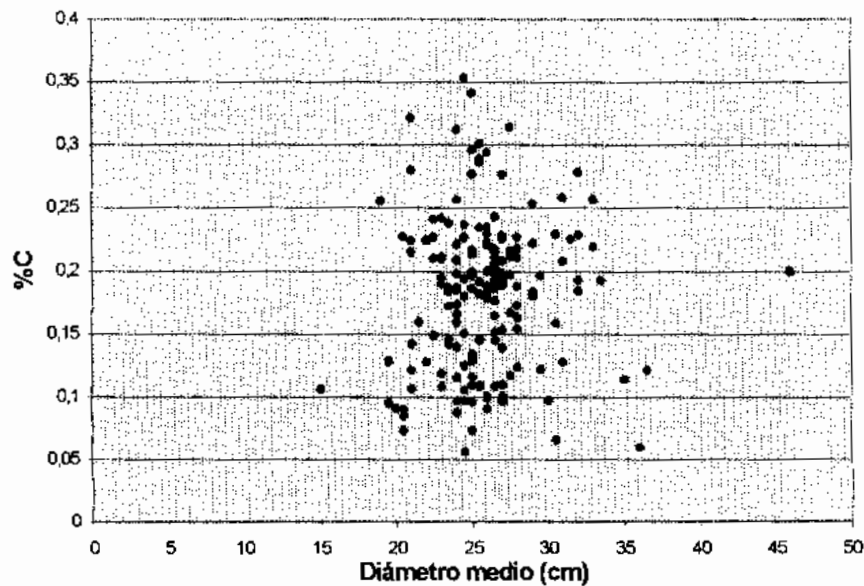


Figura 27. Porcentaje de la troza basal de 3.35 metros en función del diámetro medio de la troza

♦ Porcentaje de corteza del árbol sin incluir la troza basal

Finalmente se analizó la variación del porcentaje de corteza del árbol sin incluir la troza basal en función del DAP.

Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 11. Porcentaje de corteza promedio del árbol sin incluir la troza basal en función del DAP

Clase de DAP	%C del resto
≤ 20	6,10
20,1 – 25	6,61
25,1 – 30	7,06
30,1 – 35	6,68
35,1 – 40	6,45
≥ 40	5,81
Promedio general	6,80

Dicho porcentaje varía entre un 5 y 7 % con una media de 6.80 %.

Los parámetros estadísticos calculados fueron los siguientes:

Desvío estándar = 0.0326

Varianza = 0.0011

Graficando los valores no se aprecia una correlación entre el porcentaje de corteza y el DAP. A partir de la gráfica se observan distintos porcentajes de corteza del resto del árbol para un mismo DAP, lo que demuestra una gran heterogeneidad entre árboles respecto al porcentaje de corteza.

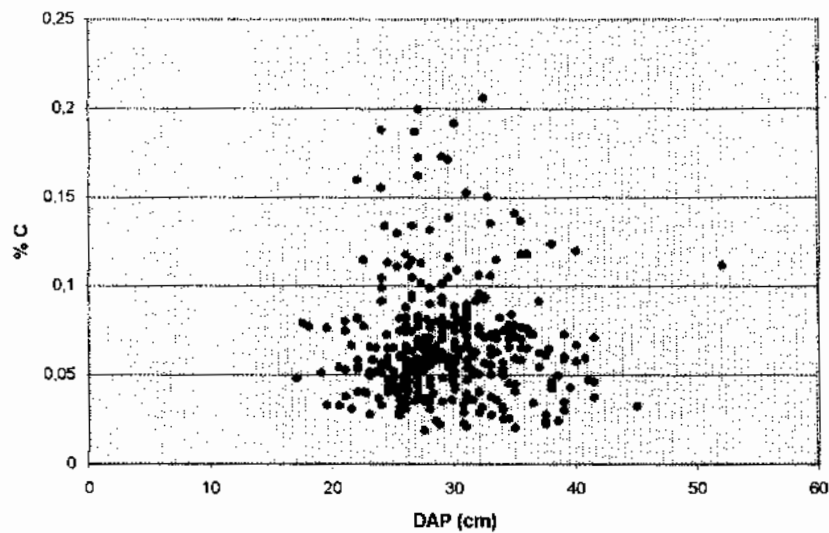


Figura 28. Porcentaje de corteza del árbol sin incluir la troza basal en función del DAP

En conclusión se observa que el porcentaje de corteza es mayor en la troza basal el cual va decreciendo a medida que nos acercamos al tope. Dicha troza basal presenta notoriamente un porcentaje mayor de corteza.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

♦ Factores de corrección

Se calcularon factores de corrección para los volúmenes hallados según los distintos métodos de muestreo aplicando para todos los casos dos factores de forma: un factor de forma de 0.39 utilizado en el establecimiento Puerto Arazatí y un factor de 0.67, que fue determinado en este trabajo. El factor de forma utilizado por la empresa para las condiciones de edad y manejo del bosque analizado, resultó inadecuado, ya que puede producir una subestimación del volumen real de entre un 60 y un 100%. Este aspecto está contemplado en el diseño de inventario de la empresa ya que en el sistema de información se abren opciones para distintos factores de forma según especie, edad. Por otra parte, para el factor de 0.67 la diferencia entre el volumen real y el volumen de inventario varió entre 1 y 25%. Esto demuestra que es fundamental utilizar información de conicidad específica para cada situación.

♦ Volumen comercial total y diámetro del árbol

Al analizar las variables volumen comercial total (con y sin corteza) y DAP se pudo constatar que en todos los casos la relación entre ambas variables es representada por una función del tipo:

$$V = a \text{ DAP}^b$$

La calidad del ajuste fue siempre altamente aceptable con valores del coeficiente de correlación entre 0.92 y 0.94.

Esto permitió elaborar tablas de volumen local en función del DAP, las que se podrán utilizar para predecir el volumen total comercial a partir de mediciones en pie del DAP, para bosques bajo condiciones similares en cuanto a sitio, edad, especie y manejo.

♦ Volumen comercial por tipo de aserrado y diámetro del árbol

En cuanto a la variación del volumen comercial para los distintos tipos de aserrado (tipo 1, 2 y 3) en función del DAP, solo se halló una correlación aceptable para el caso de las trozas de aserrado tipo 1. Para este tipo de aserrado se observó la existencia de dos posibles valores de volumen para un mismo DAP, debido a la existencia de árboles que presentan más de una troza de aserrado tipo 1, aumentando por lo tanto el volumen total de este tipo de aserrado.

♦ Factor de forma y diámetro del árbol

Con respecto a la variación del factor de forma en función del DAP, no se halló correlación. Sin embargo debido a la distribución de la nube de puntos obtenida se llegó a la conclusión que lo más adecuado era considerar el factor de forma como una constante calculada a partir del promedio aritmético de todos los valores obtenidos.

El hecho de que el factor de forma se comporte como una constante, independiente del valor de DAP, se debe a la edad de los árboles, pues han llegado a una etapa de crecimiento donde la forma ya quedó definida.

Los factores de forma calculados se presentan a continuación:

Volumen real utilizado	Factor de forma
Newton (trozas comerciales con corteza)	0.6757
Smalian (trozas de 1 metro de largo con corteza)	0.6748
Smalian (trozas comerciales con corteza)	0.7236
Smalian (trozas comerciales sin corteza)	0.6385

♦ Factores de forma Newton y Smalian

Se consideró a los factores de forma calculados en base a los volúmenes reales obtenidos por medio de la fórmula de Newton y por medio de la fórmula de Smalian (para trozas de 1 metro de largo) los más adecuados. Esto se debió a que el método de Smalian sobrestima los valores de volumen por lo que al ser considerados en trozas de mayor largo dicha sobrestimación fue mayor que al trabajar con trozas de un metro de largo.

El último factor de forma calculado combina dos expresiones de volumen (Volumen real sin corteza y volumen aparente con corteza) y por lo tanto al realizarle un descuento al numerador (corteza) y no al denominador el resultado fue menor.

El valor de factor de forma comparado con la bibliografía estudiada resultó alto, lo que explicarse porque el rodal fue raleado muy tardíamente por lo que los árboles en sus primeras etapas de crecimiento estuvieron en condiciones de alta competencia haciendo que su forma tendiese al cilindro. A este aspecto debe sumarse además el hecho de que los factores calculados son comerciales, y deben utilizarse con alturas comerciales, con lo cual resultan más altos que factores totales.

♦ Comparación entre métodos de muestreo

Haciendo una comparación cualitativa de los distintos métodos de muestreo se pudo apreciar en la práctica que tanto la parcela cuadrada como la circular presentan algunas desventajas tales como el mayor tiempo que se emplea en su demarcación, así como la dificultad de la misma, que se ve incrementada en terrenos con pendiente, bosques con presencia de sotobosque y rameros.

Una ventaja de la parcela circular con respecto a la cuadrada es que a igualdad de superficie, la primera al presentar menor perímetro va a tener menores casos de árboles límite. Aunque en este caso, por tratarse de rodales altamente manejados, la parcela circular resultó la más inadecuada debido a la subestimación de árboles incluidos dentro de sus límites.

Es importante considerar que ante un alto grado de regeneración o bosques densamente poblados el muestreo Bitterlich se torna dificultoso.

A partir del análisis estadístico, se concluyó la no existencia de diferencias significativas para el parámetro área basal entre los distintos métodos de muestreo. Para los métodos de muestreo Bitterlich temporal y permanente se constató una diferencia significativa de este parámetro entre operadores.

En cuanto al tiempo empleado en la estimación de área basal se encontró una diferencia significativa entre todos los métodos. El método que emplea menor tiempo es el Bitterlich temporal, seguido de Bitterlich permanente, Parcela circular y Parcela cuadrada.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los dos parámetros estudiados, área basal y tiempo, Bitterlich temporal reúne las condiciones de emplear un menor tiempo con una misma confiabilidad de los resultados. Si se requiere una mayor calidad de información (área basal por clase diamétrica), el método Bitterlich permanente sería el más adecuado.

En cuanto al tiempo de muestreo empleado por operador se observaron diferencias significativas entre uno de los operadores y el resto.

♦ **Porcentaje de corteza y diámetro**

El porcentaje de corteza no mostró un patrón definido en relación al DAP por lo que se optó por determinar el porcentaje promedio para todos los árboles (12.02%).

Además pudo verificarse que el mayor porcentaje de corteza se encuentra en la troza basal, disminuyendo éste a medida que nos acercamos al diámetro crítico comercial.

Se recomienda:

- Calcular siempre un factor de forma para cada explotación, ya que la conicidad es uno de los parámetros determinantes del volumen comercial de un bosque. La misma depende de varios factores como ser: especie, edad, manejo, condiciones de crecimiento, características del suelo y topografía entre otros. Por lo tanto, es fundamental completar el sistema de información de la empresa, discriminando factores de forma por especie y por edad de forma tal de obtener resultados confiables y más realistas de las estimaciones de producción.

Utilizar los métodos de muestreo Bitterlich temporal y permanente (con categorías diamétricas detalladas), optando por uno u otro dependiendo de la calidad de información que se pretende recabar. Esto se debe a que los valores de área basal calculados a partir de los mismos no difieren con los obtenidos por los otros métodos, siendo el tiempo empleado significativamente menor. Para un mayor nivel de detalle se recomienda desglosar la información en clases diamétricas; para evaluaciones de actualización más rápidas se puede recurrir al diseño temporal de los giros sencillos.

6. RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de tesis fue calcular los valores de los factores de corrección para los distintos métodos de inventario en Pinos, con la finalidad de predecir con mayor exactitud los rendimientos. Esto se realizó a través de la corta y tala rasa de un área de prueba y la preparación de tablas de volumen para árboles y trozas comerciales. De esta forma se pretendió determinar en que medida el sistema de Inventario Continuo diseñado por la empresa resulta satisfactorio y cuales son sus limitantes.

Un objetivo secundario consistió en determinar en la práctica ventajas y desventajas de diferentes métodos de inventario: parcelas circulares, cuadradas y Bitterlich.

Otros objetivos consistieron en la generación de tablas de volumen a partir del ajuste de las funciones correspondientes, el estudio de la variación del porcentaje de corteza entre árboles y dentro de un mismo árbol y el análisis de diferentes factores de forma.

Los factores de forma que se vienen utilizando actualmente en la empresa, para las condiciones de edad y manejo de los montes analizados en este trabajo, resultan inadecuados, ya que pueden producir una subestimación desde el 60% hasta el 100% de los productos obtenidos. Este aspecto está contemplado en el diseño de inventario de la empresa ya que en el sistema de información se abren opciones de factor de forma por especie y por edad. Pero se concluye lo importante que resulta completar esta información de conicidad específica, para obtener resultados confiables y más realistas de las estimaciones de producción.

Para los bosques analizados el factor de forma se comportó como una constante, independiente del valor de DAP (DAP: diámetro del tronco a 1.30 metros desde el suelo) debido a que los árboles han llegado a una etapa de crecimiento donde la forma ya está definida, pues los bosques ya han sido sometidos a un intenso manejo por lo que los árboles remanentes para turno final son muy homogéneos entre sí y además los mejores del bosque.

La relación entre las variables volumen comercial total (con y sin corteza) y diámetro respondió en todos los casos a la función: $V = a \text{ DAP}^b$ con una calidad de ajuste altamente aceptable, lo que permitió elaborar tablas de volumen local en función del DAP.

En cuanto a métodos de muestreo empleados, el análisis estadístico determinó que no existe diferencia entre métodos para el parámetro área basal, mientras que para la variable tiempo el método Bitterlich temporal fue el menor, seguido de Bitterlich permanente, parcela circular y parcela cuadrada. Por lo tanto, Bitterlich temporal aúna las condiciones de emplear un menor tiempo con una misma confiabilidad de los resultados. Si se requiere mayor calidad de información (área basal por clase diamétrica), el método Bitterlich permanente resulta ser el más adecuado.

El análisis del porcentaje de corteza no mostró un patrón definido en relación al DAP, y se halló un porcentaje promedio para todos los árboles del 12.02%. En cambio, se observó que el mayor porcentaje de corteza se encuentra en la troza basal y disminuye al acercarse al diámetro crítico comercial.

7. SUMMARY

The main objective of the present work was to calculate the value of the correction factors for the different inventory methods in Pines, with the finality of predicting yield with better accuracy. This was done through the felling of a proof area and the preparation of volume tables for trees and commercial logs. In this way, we would determine at which length the Continuous Forest Inventory system results satisfactory for the company and which are its handicaps.

A secondary objective was to determine practically, the advantages and disadvantages of the different inventory methods: circular plots, square plots and Bitterlich plots.

Other objectives consisted in the development of yield tables obtained from the adjustment of the corresponding equations, the study of the variation of the bark percentage between trees and in a single tree and the analysis of the different form factors.

The form factors used by the company, for the conditions of age and management, resulted to be inadequate since they can produce a subestimation of the real volume between 60 and 100%. This is contemplated in the company's inventory design since there are options in the information system in order to introduce different form factors depending of the species and age of the trees. But it is concluded that it is very important to complete this specific stem form information in order to obtain reliable and more realistic results of the production estimates.

For the analyzed forests the form factor behaved as a constant, independent from the diameter (DDB: tree diameter at 1.30 metres high) value because the trees have reached a stage when the form is already determined since they have been exposed to an intensive management, and therefore the remanent trees for final exploitation are very homogeneous and also the best of the forest.

The relationship between the variables total commercial volume (over and underbark) and DBH corresponded in all cases to the equation: $V = a \text{ DBH}^b$ with a totally acceptable accuracy, which permitted the elaboration of local yield tables respect DBH.

With reference to the **inventory methods**, the statistical analysis determined that it does not exist difference with respect to basal area between methods, whereas the time employed in the temporal Bitterlich method was that shortest, followed by the permanent Bitterlich method, the circular plot method and the square plot method. Therefore, the temporal Bitterlich method combines the characteristics of employing less time and with the same accuracy in the results. If more detailed information is required (basal area per diametrical class), the permanent Bitterlich method is the most adequate.

The bark percentage analysis showed that there is no defined behaviour of this parameter in relationship to DBH and the mean percentage for all the trees was 12.02%. On the other hand, the highest bark percentage was found in the basal log and decreases as when reaching the critical commercial diameter.

8. BIBLIOGRAFÍA

- 1.-**ALDER, D.** 1980. *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia a los trópicos; predicción del rendimiento*. Roma, FAO. 80 p. (FAO. Montes N° 22/2).
- 2.-**AVERY, T.** 1967. *Forest measurements*. Mc Graw- Hill Inc., New York. 290 p.
- 3.-**BITTERLICH, W.** 1984. *The relascope idea*. London, Commonwealth Agricultural Bureaux. 242 p.
- 4.-**BONILLA, J. A.** 1969. *Aplicación del principio de Bitterlich en la determinación del área basal: evaluación de su eficacia*. Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Agronomía. Boletín N° 106. Montevideo. 20 p.
- 5.-**BRUCE, D; SCHUMACHER, F. X.** 1965. *Medición Forestal*. México, CRAT. 475 p.
- 6.-**BURGER, D; SEITZ, R. A.** 1976. *Recomendações para a padronização de símbolos dasométricos*. FLORESTA. Revista do Centro de Pesquisas Florestais do Setor de Ciencias Agrarias da U. F. P. (Curitiba.). 7 (2): 32-38.
- 7.-**CABALLERO DELOYA, M.** 1979. *Parcelas de muestra permanente para I.F.C. en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. Ciencia Forestal N° 21. pp: 56-65.
- 8.-**CAILLIEZ, F.** 1980. *Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con referencia especial a los trópicos; estimación del volumen*. Roma, FAO. 92 p. (FAO: Montes N° 22/1).
- 9.-**COCHRAN, W. G.** 1977. *Sampling techniques*. New York, Wiley. 428 p.
- 10.-**FREESE, F.** 1970. *Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales*. México, CRAT. 120 p.
- 11.-**HUSCH, B.** 1963. *Forest mensuration and statistics*. New York, The Ronald Press Company. 474 p.
- 12.-**LAFFITTE, J. C.; MEZZOTTONI, C; BONILLA, J. A.** 1964. *Segunda contribución dasométrica. Tablas de Volumen estándar de Pino marítimo*. Boletín del Departamento Forestal (Uruguay). N°10: 1-18.

- 13.-LOETSCH, F.; HALLER, K. E. 1964. *Forest Inventory*. Munchen, BLV Verlagsgesellschaft. V.1. 436 p.
- 14.-LOETSCH, F.; ZÖHRER, F. AND HALLER, K. E. 1964. *Forest Inventory*. Munchen, BLV. V.2. 469 p.
- * 15.-MEDINA BERMUDEZ, R. 1982. *Técnicas usadas en los inventarios forestales de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. Ciencia Forestal N° 37. V.7. pp: 46-63.
- 16.-MEDINA BERMUDEZ, R. 1983. *Delimitación de sitios circulares de muestreo en inventarios forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. Ciencia Forestal N° 43. V.8. pp: 3-23.
- 17.-PELZ, D. 1983. *Sixth-tree sampling in forest inventory*. FLORESTA. Revista do Centro de Pesquisas Florestais do Setor de Ciencias Agrarias da U.F.P. (Curitiba). 14 (1): 54-58.
- 18.-PELZ, D. 1983. *Three-P sampling for forest inventory*. FLORESTA. Revista do Centro de Pesquisas Florestais do Setor de Ciencias Agrarias da U.F.P. (Curitiba). 14 (1): 59-63.
- 19.-PRODAN, M; PETERS, R; COX, F; REAL, P. 1997. *Mensura Forestal*. Costa Rica, IICA. GTZ. 561 p.
- 20.-RUIZ ALTAMIRANO, M. 1981. Sitios permanentes para inventarios forestales continuos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. Ciencia Forestal N° 33. V. 6. pp:27-42.
- 21.-SORRENTINO, A. 1986. *Manual teórico práctico del Curso de Dasometría*. 2ª. Ed. Montevideo, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 2 v. 312 p.
- 22.-SORRENTINO, A. 1987. *Tablas Locales de Volumen comercial para pinos marítimo (Pinus pinaster Ait), elliottii (Pinus elliottii Engelm var. elliottii) y taeda (Pinus taeda L.)*, Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Agronomía. Boletín N° 135. 34 p.
- 23.-SORRENTINO, A. 1992. *Un método rápido para estimaciones volumétricas en pie.*, Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Agronomía. Notas técnicas N° 12. Montevideo. 12 p.

- 24.-SORRENTINO, A. 1997. *Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales*. Montevideo. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L. 350 p.
- 25.-SOSA CEDILLO, V. 1981. *Inventarios Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. Ciencia Forestal N° 31. V. 6. pp:18-42.
- 26.-VAN HOUTTE, J. 1964. Empleo del relascopio de Bitterlich en la medición forestal. IDIA Suplemento Forestal (Argentina). N° 12: 83-113.
- 27.-VOULMINOT, C.M. 1987. Factores de conversión volumétricos para pino elliottii (*Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*) en Puerto Arazatí, Rincón del Pino, Departamento de San José. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 131 p.
- 28.-VOULMINOT, C.M. 1989. *Factores de conversión volumétricos para pino elliottii (Pinus elliottii Engelm var. elliottii) en Puerto Arazatí, Rincón del Pino, Departamento de San José*. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía. Tesis Resumen N°2. 22p.

Apéndice I

Factores de corrección según métodos de muestreo para las distintas unidades analizadas

Método de muestreo	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4	Unidad 5	PROMEDIO	Factor de corrección
Bitterlich temporal	267,1625	280,9813	261,3000	245,2200	242,7075	259,4743	0,8783
Bitterlich permanente	256,9550	263,4300	226,7775	240,5200	256,7750	248,8915	0,9157
Parcela circular 100 m2	163,3683	116,7051	235,0359	212,6718	214,5630	188,4688	1,2093
Parcela circular 200 m2	192,1449	230,1554	195,3629	170,8453	202,5486	198,2114	1,1498
Parcela circular 400 m2	217,5598	217,1737	198,5556	174,6554	189,9845	199,5858	1,1419
Parcela cuadrada 400 m2	226,7016	234,9727	234,0187	237,9710	242,3613	235,2051	0,9690

Unidad 1

Parcela Circular 100 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25					
25,1- 30					
30,1 - 35	0,0730	7,3	14,5	0,68	71,9780
35,1- 40	0,1089	10,89	15	0,66	107,8110
40,1- 45	0,1555	15,55	15	0,63	146,9475
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		33,74			326,7365
TOTAL/ 0,5 Ha					163,3683

Parcela Circular 200 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0490	2,4500	10	0,69	16,9050
25,1- 30	0,0530	2,6500	13	0,67	23,0815
30,1 - 35	0,3216	16,0815	14,5	0,68	158,5636
35,1- 40	0,2268	11,3400	15	0,66	112,2660
40,1- 45	0,1555	7,7750	15	0,63	73,4738
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		40,2965			384,2898
TOTAL/ 0,5 Ha					192,1449

Parcela Circular 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,1340	3,3500	10,0	0,69	23,1150
25,1- 30	0,2381	5,9527	13,0	0,67	51,8482
30,1 - 35	0,6373	15,9322	14,5	0,68	157,0913
35,1- 40	0,6720	16,8008	15,0	0,66	166,3283
40,1- 45	0,1555	3,8875	15,0	0,63	36,7369
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		45,9232			435,1197
TOTAL/ 0,5 Ha					217,5598

Parcela Cuadrada 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0471	1,1786	10,0	0,69	8,1323
25,1- 30	0,2403	6,0081	13,0	0,67	52,3302
30,1 - 35	0,6553	16,3831	14,5	0,68	161,5371
35,1- 40	0,6704	16,7608	15,0	0,66	165,9320
40,1- 45	0,2771	6,9282	15,0	0,63	65,4716
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		47,2587			453,4032
TOTAL/ 0,5 Ha					226,7016

Parcela Bitterlich permanente

Clase de DAP	AB/ clase	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20				
20,1- 25	1	10,0	0,69	6,9000
25,1- 30	7	13,0	0,67	60,9700
30,1 - 35	18	14,5	0,68	177,4800
35,1- 40	15	15,0	0,66	148,5000
40,1- 45	6	15,0	0,63	56,7000
45,1- 50	2	16,0	0,63	20,1600
> 50	4	18,0	0,60	43,2000
TOTAL/ Ha	53			513,9100
TOTAL/ 0,5 Ha				256,9550

Parcela Bitterlich Temporal

AB/Ha	Altura	f	Volumen/ Ha
55	14,5	0,67	534,3250
TOTAL/ 0,5 Ha			267,1625

Unidad 2

Parcela Circular 100 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20					
20,1- 25	0,0355	3,5470	10,0	0,69	24,4743
25,1- 30					
30,1 - 35	0,0842	8,4240	14,5	0,68	83,0606
35,1- 40	0,1192	11,9200	16,0	0,66	125,8752
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		23,8910			233,4101
TOTAL/ 0,5 Ha					116,7051

Parcela Circular 200 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20					
20,1- 25	0,1156	5,7805	10	0,69	39,8854
25,1- 30	0,2251	11,2565	13,5	0,67	101,8150
30,1 - 35	0,2303	11,5180	14,5	0,68	113,5674
35,1- 40	0,2432	12,1600	16	0,66	128,4096
40,1- 45	0,1520	7,6025	16	0,63	76,6332
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		48,3175			460,3107
TOTAL/ 0,5 Ha					230,1553

Parcela Circular 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20					
20,1- 25	0,1978	4,9458	10,0	0,69	34,1257
25,1- 30	0,6153	15,3830	13,5	0,67	139,1392
30,1 - 35	0,6432	16,0813	14,5	0,68	158,5611
35,1- 40	0,2432	6,0800	16,0	0,66	64,2048
40,1- 45	0,1520	3,8013	16,0	0,63	38,3166
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		46,2913			434,3474
TOTAL/ 0,5 Ha					217,1737

Unidad 3

Parcela Circular 100 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20	0,0262	2,6160	10,0	0,77	20,1432
20,1- 25	0,0491	4,9090	12,5	0,69	42,3401
25,1- 30	0,1849	18,4910	14,0	0,67	173,4456
30,1 - 35	0,2493	24,9300	15,0	0,68	254,2860
35,1- 40					
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		50,9460			470,0717
TOTAL/ 0,5 Ha					235,0359

Parcela Circular 200 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20	0,0262	1,3080	10,0	0,77	10,0716
20,1- 25	0,0962	4,8115	12,5	0,69	41,4992
25,1- 30	0,3632	18,1610	14,0	0,67	170,3502
30,1 - 35	0,3310	16,5495	15,0	0,68	168,8049
35,1- 40					
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		40,8300			390,7259
TOTAL/ 0,5 Ha					195,3629

Parcela Circular 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20	0,0553	1,3815	10,0	0,77	10,6376
20,1- 25	0,1405	3,5133	12,5	0,69	30,3018
25,1- 30	0,6563	16,4068	14,0	0,67	153,8953
30,1 - 35	0,4970	12,4248	15,0	0,68	126,7325
35,1- 40	0,1195	2,9875	15,5	0,66	30,5621
40,1- 45					
45,1- 50	0,1680	4,2000	17,0	0,63	44,9820
> 50					
TOTAL/ Ha		40,9138			397,1112
TOTAL/ 0,5 Ha					198,5556

Parcela Cuadrada 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20	0,0516	1,2900	10,0	0,77	9,9330
20,1- 25	0,1839	4,5983	12,5	0,69	39,6599
25,1- 30	0,8134	20,3353	14,0	0,67	190,7446
30,1 - 35	0,5894	14,7353	15,0	0,68	150,2996
35,1- 40	0,1210	3,0250	15,5	0,66	30,9458
40,1- 45					
45,1- 50	0,1735	4,3375	17,0	0,63	46,4546
> 50					
TOTAL/ Ha		48,3213			468,0375
TOTAL/ 0,5 Ha					234,0187

Patrcela Bitterlich permanente

Clase de DAP	AB/ clase	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20				
20,1- 25	1	12,5	0,69	8,6250
25,1- 30	6	14,0	0,67	56,2800
30,1 - 35	14	15,0	0,68	142,8000
35,1- 40	15	15,5	0,66	153,4500
40,1- 45	5	16,0	0,63	50,4000
45,1- 50				
> 50	4	17,5	0,60	42,0000
TOTAL/ Ha	45			453,5550
TOTAL/ 0,5 Ha				226,7775

Parcela Bitterlich Temporal

AB/Ha	Altura	f	Volumen/ Ha
52	15	0,67	522,6000
TOTAL/ 0,5 Ha			261,3000

Unidad 4

Parcela Circular 100 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20			11,0	0,77	
20,1- 25	0,0425	4,2460	13,0	0,69	38,0866
25,1- 30	0,2287	22,8720	14,0	0,67	214,5394
30,1 - 35	0,1752	17,5170	14,5	0,68	172,7176
35,1- 40					
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		44,6350			425,3436
TOTAL/ 0,5 Ha					212,6718

Parcela Circular 200 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20			11,0	0,77	
20,1- 25	0,0858	4,2915	13,0	0,69	38,4948
25,1- 30	0,3458	17,2920	14,0	0,67	162,1990
30,1 - 35	0,1785	8,9235	14,5	0,68	87,9857
35,1- 40	0,1004	5,0200	16,0	0,66	53,0112
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		35,5270			341,6906
TOTAL/ 0,5 Ha					170,8453

Parcela Circular 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0858	2,1458	13,0	0,69	19,2474
25,1- 30	0,5159	12,8963	14,0	0,67	120,9668
30,1 - 35	0,5120	12,7993	14,5	0,68	126,2006
35,1- 40	0,3140	7,8500	16,0	0,66	82,8960
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		35,6913			349,3108
TOTAL/ 0,5 Ha					174,6554

Parcela Cuadrada 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0868	2,1698	13,0	0,69	19,4627
25,1- 30	0,9395	23,4865	14,0	0,67	220,3034
30,1 - 35	0,4907	12,2663	14,5	0,68	120,9452
35,1- 40	0,4365	10,9120	16,0	0,66	115,2307
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha	1,9534	48,8345			475,9420
TOTAL/ 0,5 Ha					237,9710

Parcela Bitterlich permanente

Clase de DAP	AB/ clase	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20		11,0		
20,1- 25		13,0		
25,1- 30	5	14,0	0,67	46,9000
30,1 - 35	14	14,5	0,68	138,0400
35,1- 40	15	16,0	0,66	158,4000
40,1- 45	7	17,0	0,63	74,9700
45,1- 50	3	17,0	0,63	32,1300
> 50	3	17,0	0,60	30,6000
TOTAL/ Ha	47			481,0400
TOTAL/ 0,5 Ha				240,5200

Parcela Bitterlich Temporal

AB/Ha	Altura	f	Volumen/ Ha
48	15,25	0,67	490,4400
TOTAL/ 0,5 Ha			245,2200

Unidad 5

Parcela Circular 100 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0380	3,8010	12,0	0,69	31,4723
25,1- 30	0,1711	17,1070	13,5	0,67	154,7328
30,1 - 35	0,2464	24,6370	14,5	0,68	242,9208
35,1- 40					
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha		45,5450			429,1259
TOTAL/ 0,5 Ha					214,5630

Parcela Circular 200 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0380	1,9005	12,0	0,69	15,7361
25,1- 30	0,2988	14,9410	13,5	0,67	135,1413
30,1 - 35	0,4026	20,1295	14,5	0,68	198,4764
35,1- 40	0,1090	5,4490	15,5	0,66	55,7433
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha	0,8484	42,4200			405,0971
TOTAL/ 0,5 Ha					202,5486

Parcela Circular 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,0679	1,6968	12,0	0,69	14,0491
25,1- 30	0,5597	13,9930	13,5	0,67	126,5667
30,1 - 35	0,7371	18,4287	14,5	0,68	181,7072
35,1- 40	0,2254	5,6350	15,5	0,66	57,6461
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha	1,5901	39,7535			379,9691
TOTAL/ 0,5 Ha					189,9845

Parcela Cuadrada 400 m²

Clase de DAP	AB/ clase	AB/ clase/ Ha	Altura	f	Volumen/ clase/ Ha
<20					
20,1- 25	0,2526	6,3158	13,0	0,69	56,6523
25,1- 30	0,5495	13,7365	14,0	0,67	128,8484
30,1 - 35	0,8226	20,5645	15,0	0,68	209,7579
35,1- 40	0,3286	8,2153	16,5	0,66	89,4641
40,1- 45					
45,1- 50					
> 50					
TOTAL/ Ha	1,9533	48,8320			484,7226
TOTAL/ 0,5 Ha					242,3613

Parcela Bitterlich permanente

Clase de DAP	AB/ clase	Altura	f	Volumen/ clase /Ha
<20				
20,1- 25				
25,1- 30	5	14,0	0,67	46,9000
30,1 - 35	15	15,0	0,68	153,0000
35,1- 40	15	16,5	0,66	163,3500
40,1- 45	8	17,0	0,63	85,6800
45,1- 50	3	18,0	0,63	34,0200
> 50	3	17,0	0,60	30,6000
TOTAL/ Ha	49			513,5500
TOTAL/ 0,5 Ha				256,7750

Parcela Bitterlich Temporal

AB/Ha	Altura	f	Volumen/ Ha
46	15,75	0,67	485,4150
TOTAL/ 0,5 Ha			242,7075

Datos Utilizados para el análisis

INQUE	UNIDAD DE MUESTREO	TRATAMIENTO	OPERADOR	AREA m2ha	TIEMPO segundos	Tratamientos:
55	1	1	1	52	198	1= Unidad temporal Bitterlich
55	1	1	2	81	210	2= Unidad permanente Bitterlich
55	1	1	3	51	232	3= Parcela circular 100 m2
55	1	1	4	57	179	4= Parcela circular 200 m2
55	1	2	1	57	448	5= Parcela circular 400 m2
55	1	2	2	66	572	6= Parcela cuadrada 400 m2
55	1	2	3	58	625	Operadores:
55	1	2	4	81	545	1= Laura
55	1	3	-	58.7	-	2= Roberto
55	1	4	-	48.3	-	3= Alejandro
55	1	5	-	63	683	4= Silvio
55	1	6	-	54.9	1106	
146	2	1	1	42	149	Bosque 55: Pinus radiata, plantación del año 1961
146	2	1	2	49	215	Bosque 146: Pinus edulis/ baeda, con baeda predominante, plantación del año 1969
146	2	1	3	46	142	Bosque 152: Pinus baeda, plantación del año 1978
146	2	1	4	49	148	Bosque 114: Pinus edulis/ baeda, con baeda predominante, plantación del año 1961
146	2	2	1	45	315	
146	2	2	2	43	442	
146	2	2	3	40	393	
146	2	2	4	46	371	
146	2	3	-	31.8	-	
146	2	4	-	34.7	-	
146	2	5	-	52.1	560	
146	2	6	-	43	679	
146	3	1	1	43	186	
146	3	1	2	49	285	
146	3	1	3	36	136	
146	3	1	4	45	183	
146	3	2	1	41	281	
146	3	2	2	47	448	
146	3	2	3	42	356	
146	3	2	4	41	320	
146	3	3	-	27.7	-	
146	3	4	-	38.3	-	
146	3	5	-	34.7	460	
146	3	6	-	39.8	1181	
152	4	1	1	32	149	
152	4	1	2	38	215	
152	4	1	3	30	142	
152	4	1	4	38	148	
152	4	2	1	28	250	
152	4	2	2	38	343	
152	4	2	3	30	280	
152	4	2	4	32	280	
152	4	3	-	45.1	-	
152	4	4	-	31.5	-	
152	4	5	-	31.2	475	
152	4	6	-	34	715	
114	5	1	1	22	-	
114	5	1	2	29	-	
114	5	1	3	21	-	
114	5	1	4	24	-	
114	6	1	1	24	-	
114	6	1	2	18	-	
114	6	1	3	22	-	
114	6	1	4	22	-	
114	7	1	1	23	-	
114	7	1	2	27	-	
114	7	1	3	21	-	
114	7	1	4	23	-	
114	8	1	1	20	-	
114	8	1	2	24	-	
114	8	1	3	14	-	
114	8	1	4	20	-	
114	9	1	1	24	-	
114	9	1	2	24	-	
114	9	1	3	25	-	
114	9	1	4	25	-	
180	10	1	1	25	108	
180	10	1	2	26	120	
180	10	1	3	28	147	
180	10	1	4	28	108	
180	11	1	1	15	104	
180	11	1	2	18	100	
180	11	1	3	18	111	
180	11	1	4	18	105	
180	12	1	1	15	92	
180	12	1	2	14	96	
180	12	1	3	12	84	
180	12	1	4	14	93	
180	13	1	1	8	71	
180	13	1	2	9	105	
180	13	1	3	8	72	
180	13	1	4	8	86	
180	14	1	1	3	69	
180	14	1	2	3	110	
180	14	1	3	3	94	
180	14	1	4	3	101	
180	15	1	1	15	110	
180	15	1	2	12	117	
180	15	1	3	14	148	
180	15	1	4	14	124	
180	16	1	1	28	90	
180	16	1	2	30	113	
180	16	1	3	31	100	
180	16	1	4	32	104	
180	17	1	1	4	80	
180	17	1	2	5	93	
180	17	1	3	6	82	
180	17	1	4	4	52	

BOSQUE 105

UNIDAD DE MUESTREO	TRATAMIENTO	AREA BASAL m2/ha
1	1	55,00000
1	2	53,00000
1	3	33,70000
1	4	40,30000
1	5	45,92000
1	6	47,25000
2	1	55,00000
2	2	52,00000
2	3	23,89100
2	4	48,31750
2	5	46,29125
2	6	50,62500
3	1	52,00000
3	2	45,00000
3	3	51,07260
3	4	40,89310
3	5	41,00425
3	6	48,33060
4	1	48,00000
4	2	47,00000
4	3	44,67750
4	4	35,52394
4	5	35,69730
4	6	48,83225
5	1	46,00000
5	2	49,00000
5	3	45,54588
5	4	42,41995
5	5	39,75363
5	6	48,83225

Diseños estadísticos y modelos empleados en el análisis

Para el análisis de este experimento se definieron siete diseños experimentales, generando cada uno de ellos un modelo estadístico.

1) Para medir el efecto del método de muestreo (tratamiento) sobre la estimación del area basal se utilizó un diseño de bloques al azar. El modelo estadístico empleado fué el siguiente:

$$Y = \mu + \beta_i + T_j + \varepsilon$$

donde:

Y = area basal m^2/ha

μ = Media general del experimento

β = Efecto del iésimo bloque

T = Efecto del jotaésimo tratamiento

ε = Error experimental

2) Para medir el efecto del método de muestreo (tratamiento), del operador y de la interacción entre ambos sobre la estimación del area basal se utilizó un arreglo factorial con un diseño experimental de bloques al azar. El modelo estadístico empleado fué el siguiente:

$$Y = \mu + \beta_i + O_k + T_j + O*T + \varepsilon$$

donde:

Y = area basal m^2/ha

μ = Media general del experimento

β = Efecto del iésimo bloque

O = Efecto del kaésimo operador

T = Efecto del jotaésimo tratamiento

$O*T$ = Efecto de la interacción entre el operador y el tratamiento

ε = Error experimental

3) Para medir el efecto del operador sobre la estimación del area basal se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. El modelo estadístico empleado fué el siguiente:

$$Y = \mu + \beta_i + O_k + \varepsilon$$

donde:

Y = area basal m²/ha

μ = Media general del experimento

β = Efecto del iésimo bloque

O = Efecto del kaésimo operador

ε = Error experimental

4) Para medir el efecto del método de muestreo (tratamiento), sobre el tiempo empleado en realizar la medición se utilizó un diseño de bloques al azar. El modelo estadístico empleado fué el siguiente:

$$Y = \mu + \beta_i + T_j + \varepsilon$$

donde:

Y = Tiempo empleado en la medición (segundos)

μ = Media general del experimento

β = Efecto del iésimo bloque

T = Efecto del jotaésimo tratamiento

ε = Error experimental

5) Para medir el efecto del método de muestreo, operador y la interacción entre ambos sobre el tiempo empleado en la medición se utilizó un arreglo factorial con un diseño experimental de bloques al azar. El modelo estadístico empleado fué el siguiente:

$$Y = \mu + \beta_i + O_k + T_j + O*T + \varepsilon$$

donde:

Y = Tiempo empleado en la medición, (segundos)

μ = Media general del experimento

β = Efecto del iésimo bloque

O = Efecto del kaésimo operador

T = Efecto del jotaésimo tratamiento

O*T = Efecto de la interacción entre el operador y el tratamiento

ε = Error experimental

j) Para estimar el efecto del operador sobre el tiempo empleado en la medición se utilizó un diseño de bloques al azar. El modelo estadístico empleado fué el siguiente:

$$t = \mu + \beta_i + O_k + \varepsilon$$

donde:

t = Tiempo empleado en la medición (segundos)

μ = Media general del experimento

β = Efecto del iésimo bloque

O = Efecto del kaésimo operador

ε = Error experimental

7) En el bosque n° 105, considerado independientemente del resto de los bosques, para medir el efecto del método de medición (tratamiento) sobre la estimación del area basal se utilizó un diseño experimental de parcelas al azar. El modelo estadístico utilizado fué el siguiente:

$$Y = \mu + T_j + \varepsilon$$

donde:

Y = Area basal m^2/ha

μ = Media general del experimento

T = Efecto del jotaésimo tratamiento

ε = Error experimental

Análisis estadísticos

Los análisis de varianza fueron realizados por el procedimiento PROC GLM del sistema SAS. (SAS Institute 1986).

Efecto del método de muestreo (tratamiento) sobre la estimación del área basal

SAS

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class Levels Values

LOQUE 3 55 146 152

RAT 6 1 2 3 4 5 6

Number of observations in data set = 48

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: AREA

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
--------	----	----------------	---------	--------

Model	7	3147.94791667	15.71	0.0001
-------	---	---------------	-------	--------

Error	40	1144.66187500		
-------	----	---------------	--	--

Corrected Total	47	4292.60979167		
-----------------	----	---------------	--	--

R-Square	C.V.	AREA Mean
----------	------	-----------

0.733341	12.29816	43.49791667
----------	----------	-------------

Source	DF	Type I SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	2	2968.85562500	51.87	0.0001
TRAT	5	179.09229167	1.25	0.3036

Source	DF	Type III SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	2	2968.85562500	51.87	0.0001
TRAT	5	179.09229167	1.25	0.3036

SAS
General Linear Models Procedure

Least Squares Means

TRAT AREA
LSMEAN

1 45.4965278
2 44.7465278
3 41.3215278
4 38.9465278
5 43.2465278
6 43.4465278

BLOQUE AREA
LSMEAN

55 54.7812500
46 40.8812500
52 32.9395833

General Linear Models Procedure

Tests (LSD) for variable: AREA

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.05 df= 40 MSE= 28.61655

Critical Value of T= 2.02

Least Significant Difference= 6.6207

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 5.333333

Means with the same letter are not significantly different.

Grouping	Mean	N	TRAT
A	45.000	16	1
A			
A	44.250	16	2
A			
A	42.950	4	6
A			
A	42.750	4	5
A			
A	40.825	4	3
A			
A	38.450	4	4

Efecto del método de muestreo, del operador y de la interacción de ambos sobre la estimación del área basal.

AS

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class Levels Values

LOQUE 3 55 146 152

OPERADOR 4 1 2 3 4

TRAT 2 1 2

Number of observations in data set = 32

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: AREA

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	9	2537.50000000	33.35	0.0001
Error	22	186.00000000		
Corrected Total	31	2723.50000000		

R-Square	C.V.	AREA Mean
0.931706	6.515787	44.62500000

Source	DF	Type I SS	F Value	Pr > F
LOQUE	2	2217.00000000	131.11	0.0001
OPERADOR	3	307.00000000	12.10	0.0001
TRAT	1	4.50000000	0.53	0.4734
OPERADOR*TRAT	3	9.00000000	0.35	0.7861

Source	DF	Type III SS	F Value	Pr > F
LOQUE	2	2217.00000000	131.11	0.0001
OPERADOR	3	307.00000000	12.10	0.0001
TRAT	1	4.50000000	0.53	0.4734
OPERADOR*TRAT	3	9.00000000	0.35	0.7861

IS

General Linear Models Procedure
Least Squares Means

OPERADOR AREA
LSMEAN

1	42.7916667
2	49.0416667
3	41.0416667
4	46.2916667

TRAT AREA
LSMEAN

1	45.1666667
2	44.4166667

BLOQUE AREA
LSMEAN

35	56.8750000
146	44.1250000
152	33.3750000

General Linear Models Procedure

T tests (LSD) for variable: AREA

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.05 df= 22 MSE= 8.454545

Critical Value of T= 2.07

Least Significant Difference= 3.0151

Means with the same letter are not significantly different.

Grouping	Mean	N	OPERADOR
A	48.875	8	2
A			
A	46.125	8	4
B	42.625	8	1
B			
B	40.875	8	3

3) Efecto del operador sobre la estimación del área basal

SAS

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class Levels Values

LOQUE 5 55 114 146 152 180

OPERADOR 4 1 2 3 4

Number of observations in data set = 68

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: AREA

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	7	10980.5823529	31.89	0.0001
Error	60	2951.3588235		
Corrected Total	67	13931.9411765		

R-Square	C.V.	AREA Mean
0.788159	29.18719	24.02941176

Source	DF	Type I SS	F Value	Pr > F
LOQUE	4	10882.6411765	55.31	0.0001
OPERADOR	3	97.9411765	0.66	0.5776

Source	DF	Type III SS	F Value	Pr > F
LOQUE	4	10882.6411765	55.31	0.0001
OPERADOR	3	97.9411765	0.66	0.5776

SAS

General Linear Models Procedure
Least Squares Means

OPERADOR	AREA LSMEAN
----------	----------------

1	33.5883824
2	35.8825000
3	32.8825000
4	35.1766176

LOQUE	AREA LSMEAN
-------	----------------

5	55.2500000
14	22.6000000
46	45.1250000
52	34.5000000
80	14.4375000

General Linear Models Procedure

tests (LSD) for variable: AREA

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

alpha= 0.05 df= 60 MSE= 49.18931

Critical Value of T= 2.00

Least Significant Difference= 4.8119

Means with the same letter are not significantly different.

Grouping	Mean	N	OPERADOR
A	25.529	17	2
A			
A	24.824	17	4
A			
A	23.235	17	1
A			
A	22.529	17	3

4) Efecto del método de muestreo (tratamiento) sobre el tiempo empleado en la medición.

SAS

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class Levels Values

BLOQUE 3 55 146 152

TRAT 4 1 2 5 6

Number of observations in data set = 40

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: TIEMPO

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	5	2273505.92500	70.53	0.0001
Error	34	219210.45000		
Corrected Total	39	2492716.37500		

	R-Square	C.V.	TIEMPO Mean
	0.912060	21.08185	380.875000000

Source	DF	Type I SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	2	156708.67500	12.15	0.0001
TRAT	3	2116797.25000	109.44	0.0001

Source	DF	Type III SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	2	156708.67500	12.15	0.0001
TRAT	3	2116797.25000	109.44	0.0001

SAS

General Linear Models Procedure
Least Squares Means

TRAT TIEMPO
 LSMEAN

1	185.370833
2	395.120833
5	539.558333
6	972.808333

BLOQUE TIEMPO
 LSMEAN

55	616.181250
146	512.981250
152	440.481250

General Linear Models Procedure

T tests (LSD) for variable: TIEMPO

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.05 df= 34 MSE= 6447.366

Critical Value of T= 2.03

Least Significant Difference= 91.22

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 6.4

Means with the same letter are not significantly different.

Grouping	Mean	N	TRAT
A	970.25	4	6
B	537.00	4	5
C	392.56	16	2
D	182.81	16	1

5) Efecto del método de muestreo, operador e interacción entre ambos sobre el tiempo empleado en la medición.

SAS

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class Levels Values

BLOQUE 3 55 146 152

OPERADOR 4 1 2 3 4

TRAT 2 1 2

Number of observations in data set = 32

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: TIEMPO

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	9	494841.500000	16.58	0.0001
Error	22	72957.375000		
Corrected Total	31	567798.875000		

R-Square	C.V.	TIEMPO Mean
0.871508	20.01715	287.68750000

Source	DF	Type I SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	2	94204.125000	14.20	0.0001
OPERADOR	3	37432.375000	3.76	0.0255
TRAT	1	351960.500000	106.13	0.0001
OPERADOR*TRAT	3	11244.500000	1.13	0.3585

Source	DF	Type III SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	2	94204.125000	14.20	0.0001
OPERADOR	3	37432.375000	3.76	0.0255
TRAT	1	351960.500000	106.13	0.0001
OPERADOR*TRAT	3	11244.500000	1.13	0.3585

SAS

General Linear Models Procedure
Least Squares Means

OPERADOR TIEMPO
 LSMEAN

1	253.062500
2	345.812500
3	294.312500
4	275.812500

TRAT TIEMPO
 LSMEAN

1	187.375000
2	397.125000

BLOQUE TIEMPO
 LSMEAN

55	375.625000
146	274.000000
152	227.125000

General Linear Models Procedure

T tests (LSD) for variable: TIEMPO

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.05 df= 22 MSE= 3316.244

Critical Value of T= 2.07

Least Significant Difference= 59.714

Means with the same letter are not significantly different.

TGrouping		Mean	N	OPERADOR
	A	341.25	8	2
	A			
B	A	289.75	8	3
B				
B		271.25	8	4
B				
B		248.50	8	1

6) Efecto del operador sobre el tiempo empleado en la medición

SAS

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

BLOQUE 4 55 146 152 180

OPERADOR 4 1 2 3 4

Number of observations in data set = 64

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: TIEMPO

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	6	687556.812500	14.18	0.0001
Error	57	460514.421875		
Corrected Total	63	1148071.234375		

R-Square	C.V.	TIEMPO Mean
0.598880	46.42563	193.60937500

Source	DF	Type I SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	3	660648.515625	27.26	0.0001
OPERADOR	3	26908.296875	1.11	0.3526

Source	DF	Type III SS	F Value	Pr > F
BLOQUE	3	660648.515625	27.26	0.0001
OPERADOR	3	26908.296875	1.11	0.3526

SAS

General Linear Models Procedure
Least Squares Means

OPERADOR TIEMPO
 LSMEAN

1	218.710937
2	274.460937
3	248.710937
4	234.398437

BLOQUE TIEMPO
 LSMEAN

55	375.625000
146	274.000000
152	227.125000
180	99.531250

General Linear Models Procedure

T tests (LSD) for variable: TIEMPO

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.05 df= 57 MSE= 8079.2
Critical Value of T= 2.00
Least Significant Difference= 63.636

Means with the same letter are not significantly different.

T Grouping	Mean	N	OPERADOR
A	224.00	16	2
A			
A	198.25	16	3
A			
A	183.94	16	4
A			
A	168.25	16	1

SAS

General Linear Models Procedure

Level of TRATAM	-----AREA-----		
	N	Mean	SD
1	5	51.2000000	4.0865633
2	5	49.2000000	3.3466401
3	5	39.7773960	10.8878416
4	5	41.4908980	4.6055896
5	5	41.7332860	4.4493614
6	5	48.7740200	1.2198531

General Linear Models Procedure

T tests (LSD) for variable: AREA

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate
not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.05 df= 24 MSE= 31.49023

Critical Value of T= 2.06

Least Significant Difference= 7.325

Means with the same letter are not significantly different.

T Grouping		Mean	N	TRATAM
	A	51.200	5	1
	A			
	A	49.200	5	2
	A			
B	A	48.774	5	6
B				
B	C	41.733	5	5
B	C			
B	C	41.491	5	4
	C			
	C	39.777	5	3

Resultados Obtenidos

1) Efecto del método de muestreo sobre la estimación del área basal

Método de muestreo	Área basal m ² /ha
1	45,000
2	44,250
3	40,825
4	38,450
5	42,750
6	42,950
Promedio	43,500

p=0.3036

2) Efecto del método de muestreo, operador e interacción entre ambos sobre la estimación del área basal

Operador	Método de muestreo		Promedio	
	1	2		
1	42,25	43,00	42,625	b
2	49,25	48,50	48,875	a
3	41,25	40,50	40,875	b
4	47,25	45,00	46,125	a
Promedio	45,00	44,25	44,625	

p=0.0001

p=0.4734

interacción p=0.7861

3) Efecto del operador sobre la estimación del área basal

Operador	Área basal m ² /ha
1	23,235
2	25,529
3	22,529
4	24,824
Promedio	24,029

p=0.5776

4) Efecto del método de muestreo sobre el tiempo empleado en la medición

Método de muestreo	Tiempo segundos		
1	182	d	
2	393	c	
5	537	b	
6	970	a	p=0.0001
Promedio	381		

5) Efecto del método de muestreo, operador e interacción entre ambos sobre la estimación del tiempo empleado en la medición

Operador	Método de muestreo		Promedio		
	1	2			
1	174	324	248	b	
2	231	451	341	a	
3	163	417	290	ab	
4	163	379	271	b	p=0.0255
Promedio	183	393	287		
		p=0.0001			
		interaccion p=0.3585			

6) Efecto del operador sobre el tiempo empleado en la medición

Operador	Tiempo segundos	
1	168	
2	224	
3	198	
4	184	p=0.3526
Promedio	193	

7) Bosque 105

Efecto del método de medición
sobre la estimación del área basal

Método de muestreo	Area basal m2/ha
1	51,2
2	49,2
3	39,777
4	41,491
5	41,733
6	48,774
Promedio	45,36

p=0.0112

Apéndice 3

ESTABLECIMIENTO PUERTO ARAZATÍ

**SISTEMA DE INFORMACIÓN DE
INVENTARIO FORESTAL CONTÍNUO**

PLANILLAS PARA UNIDADES TEMPORALES EN PINOS

BOSQUE Nº: _____ FECHA PLANT.: ____/____/____
 ESPECIE: _____ FECHA: ____/____/____
 FACTOR AREA BASAL: _____ OBSERVACIONES: _____
 OPERADOR RELASCOPIO: _____ ANOTADOR: _____

PUNTO	N 0.5	N1	DIAMETROS (cm)		HA1 (m)	HA2/3 (m)	OBSERVACIONES
			DAP1	DAP2			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							

N — Número de árboles

DAP — Diámetro a 1.30 metros desde el suelo en centímetros

H — Altura

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE INVENTARIO FORESTAL CONTÍNUO

BOSQUE N°: _____ ESPECIE: _____
 FECHA PLANTACIÓN: _____ FECHA REGISTRO: ____/____/____
 CUADRÍCULA: _____ PADRÓN: _____ SISTEMA PLANT.: _____
 DISTANCIA PLANTACIÓN: _____ MANEJO: _____
 UNIDAD DE MUESTREO: _____ UBICACIÓN: _____
 OPERADOR RELASCOPIO: _____ OPERADOR FORCÍPULA: _____
 ANOTADOR: _____ FACTOR: _____
 OBSERVACIONES: _____

[illegible]

H = Altura

PLANILLA DE INVENTARIO DE PARCELAS CIRCULARES

Unidad de muestreo:

Especie:

Edad:

Localidad:

Tiempo de realización:

[illegible]

DAP = Diámetro a 1.30 metros de altura desde el suelo medido en centímetros.

PLANILLA DE INVENTARIO DE PARCELAS CUADRADAS

Unidad de muestreo:

Especie:

Edad:

Localidad:

Tiempo de realización:

[illegible]

DAP = Diámetro a 1.30 metros desde el suelo medido en centímetros.

PLANILLA PARA TOMA DE DATOS DE DIÁMETRO

Árbol N°:

DAP 1:

DAP 2:

LONGITUD	DIÁMETRO 1	DIÁMETRO 2
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Altura del tocón _____

Largo total _____

DAP = Diámetro a 1.30 metros desde el suelo medido en centímetros.

PLANILLA DE CLASIFICACIÓN DE TROZAS

[illegible]

PLANILLA PARA TOMA DE DATOS DE TROZAS COMERCIALES

[illegible]

D> = Diámetro mayor

Dm = Diámetro medio

$D_{\leq}$ = Diámetro menor