

Thesis
.199

LAS FOTOGRAFÍAS AERIAS EN LA ESTIMACION
DEL VOLUMEN DE BOSQUES SECUNDARIOS
EN EL TROPICO

Jorge Eduardo Izquierdo Carrasco

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS

Turrialba, Costa Rica



Lehmann 153420

B253

LAS FOTOGRAFÍAS AERIAS EN LA ESTIMACION DEL VOLUMEN :
DE BOSQUES SECUNDARIOS EN EL TROPICO

por

JORGE EDUARDO IZQUIERDO CARRASCO

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Centro Tropical de Investigación y Enseñanza Graduada

Departamento de Dasonomía

Turrialba, Costa Rica

Julio, 1962

100
199



LAS FOTOGRAFIAS AEREAS EN LA ESTIMACION DEL VOLUMEN
DE BOSQUES SECUNDARIOS EN EL TROPICO

Tesis

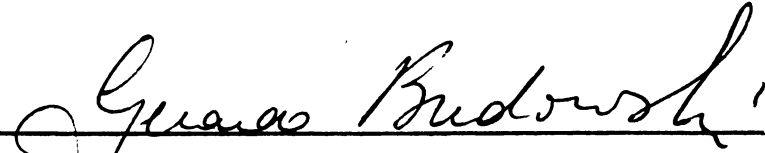
Sometida al Consejo de Estudios Graduados
como requisito parcial para optar al grado
de

Magister Agriculturae

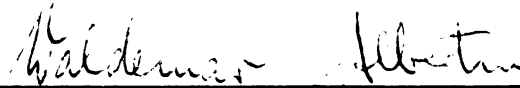
en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

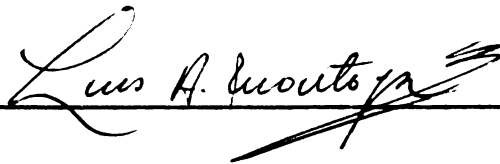
APROBADA



Consejero



Comité



Comité

Julio, 1962

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos:

-- Al Ing. Gerard Schreuder por su orientación, estímulo y ayuda durante la realización del presente trabajo.

-- Al Dr. Gerardo Budowski y a los Ings. Waldemar Albertin y Luis Montoya, por la revisión del manuscrito y sus valiosas sugerencias y críticas.

-- A la Organización de Estados Americanos (OEA) por haber auspiciado sus estudios en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

-- Al Servicio Forestal y de Caza del Perú, y en especial a su Director Ing. Flavio Bazán P., por las facilidades brindadas durante la realización de sus estudios posgraduados.

-- A los que en una u otra forma, le prestaron su valiosa cooperación.



BIOGRAFIA

Jorge Eduardo Izquierdo Carrasco nació en la ciudad de Piura, Perú, el 28 de Agosto de 1929.

Hizo sus estudios primarios en su ciudad natal. Los secundarios en el Colegio Nacional de San Miguel de Piura y en el Colegio Militar Leoncio Prado de Lima.

De 1948 a 1952 fue alumno de la Escuela Nacional de Agricultura (hoy Universidad Agraria) en "La Molina", Lima, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo.

Asistió el año 1958 al Curso Internacional de Dasonomía Tropical en Río Piedras, Puerto Rico, con beca otorgada por la International Cooperation Administration (ICA).

En Febrero de 1961, auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), ingresó como estudiante graduado al Departamento de Dasonomía del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, egresando en Julio de 1962.

Hasta la fecha de iniciar sus estudios posgraduados, desempeñaba el cargo de Jefe de la Región Forestal de Pucallpa, en el Servicio Forestal y de Caza de su país.



TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iv
BIOGRAFIA	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS	ix
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	3
Volumen de árboles individuales	3
Volumen del rodal	6
MATERIALES Y METODOS	10
Descripción del área estudiada	10
Tipo y calidad de las fotografías	12
Interpretación preliminar y confección del mapa base	12
Mediciones en las fotografías	14
Alturas	14
Densidades	18
Datos de campo	19
Cómputo de volúmenes	20
Método experimental	21
RESULTADOS	22
Grado de precisión en la medición de alturas	22
Relación entre densidad y volumen de los árboles del estrato I(31-40 metros)	22
Relación entre densidad y volumen de los árboles del estrato II(21-30 metros)	23
Relación entre volumen de los árboles del dosel superior y volumen total	23
DISCUSION Y CONCLUSIONES	28
Identificación de especies	28
Limitaciones en la medición de alturas	30
El uso de la densidad como variable	31
Posibilidades en la estimación de volumen	32



	Página
RESUMEN	36
SUMMARY	38
LITERATURA CITADA	40
APENDICE	42

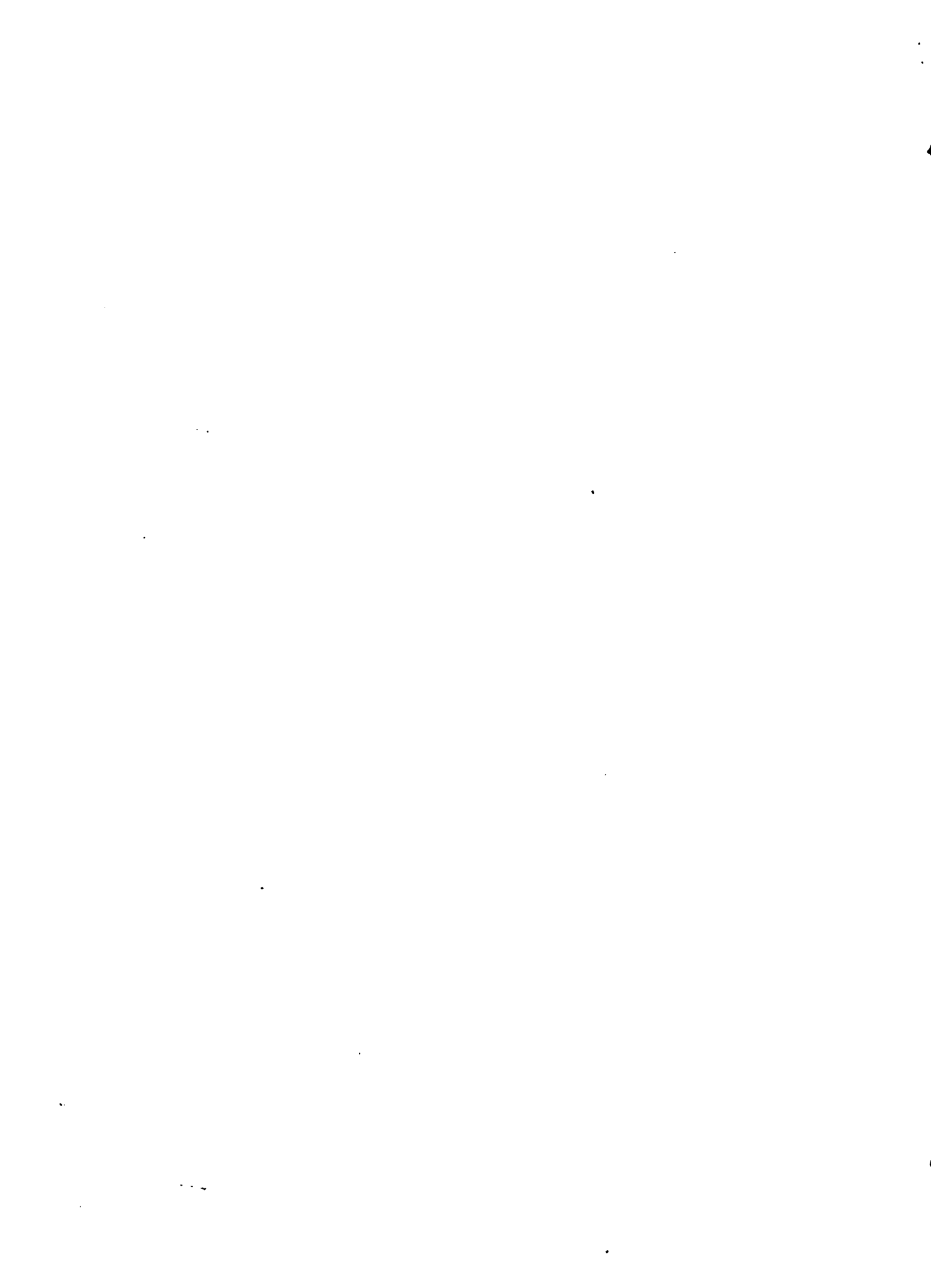
INDICE DE TABLAS

		Página
Tabla N ^o		
1	Alturas en metros para diferentes valores de dP en milímetros, en fotografías 123 y 124 de la línea de vuelo N ^o 4 (zona de Turrialba), con paralaje absoluto 91 mm. (Altura de vuelo sobre el nivel del mar: 7,000 pies = 2,128 metros)	17
2	Alturas en metros para diferentes valores de dP en milímetros, en fotografías 124 y 125 de la línea de vuelo N ^o 4 (zona de Turrialba), con paralaje absoluto 98.25 mm. (Altura de vuelo sobre el nivel del mar: 7,000 pies = 2,128 metros)	18
3	Valores encontrados en los análisis de correlación y regresión	26



INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

Figura N ^o		Página
1	Comunidad <u>Goethalsia meiantha</u>	11
2	Comunidad <u>Rollinia microsepala</u>	11
3	Par estereoscópico (fotografías aéreas 123 y 124) mostrando parte del bosque donde se realizó el estudio	13
4	Mapa base del bosque donde se realizó el estudio ...	15
Gráfico N ^o		
1	Regresión de densidad estrato I(31-40 metros) sobre volumen árboles estrato I(31-40 metros)	24
2	Regresión de volumen estrato I(31-40 metros) sobre volumen total	25



INTRODUCCION

En los bosques de las regiones tropicales, hasta ahora, sólo se ha encontrado interés en unas pocas especies de árboles productores de maderas valiosas, siendo de relativamente escasa importancia la determinación del volumen maderable total que pudieran contener. Esta situación, sin embargo, está cambiando rápidamente con el estudio de las propiedades de especies antes desconocidas, con los adelantos en las técnicas de elaboración de pulpa y fabricación de láminas de madera prensada, e incluso con el mejoramiento de las vías de comunicación, avances estos que sin duda, darán por resultado que maderas consideradas hasta recientemente no comerciales, encuentren buenas posibilidades en el mercado.

Deberá considerarse entonces el contenido del bosque como unidad y se hará necesario un método lo suficientemente rápido y barato para estimarlo; las fotografías aéreas parecen ser por el momento, los medios más eficientes de que se dispone para dicho fin.

Con el presente estudio se intenta acumular información sobre algunos aspectos que podrían servir de base para la realización de inventarios usando las técnicas fotogramétricas. Para lograr este propósito se seleccionó un bosque de crecimiento secundario, debido al hecho de que esta clase de bosque está alcanzando gran importancia en muchos países de América Latina donde se practica una agricultura nómada, y poca o ninguna investigación de este tipo se ha llevado a cabo en el trópico, en rodales en esta etapa de la sucesión.

La investigación será encaminada principalmente a determinar si existe relación entre características posibles de estimar cuantitativamente en las fotografías - altura y densidad de los estratos - y el

volumen maderable de los rodales.

Aunque se ha informado que en bosques tropicales la única medición que con cierto grado de precisión puede hacerse en las fotografías es el diámetro de la copa, descartándose la determinación de altura y densidad (21), tal afirmación parece ser válida sólo para bosques climax, cuyo dosel es generalmente continuo. En bosques secundarios es posible estimar las alturas en pequeños claros que siempre se encuentran dentro del mismo bosque, o aun en los linderos. Además pueden medirse densidades ya que es factible apreciar estratos o doseles independientes.

REVISION DE LITERATURA

Los métodos de fotointerpretación que en países templados son de gran utilidad en la realización de inventarios forestales y elaboración de planes de manejo, son de difícil aplicación en regiones tropicales debido principalmente a la heterogeneidad y escaso conocimiento de la vegetación, así como a la baja calidad del material fotográfico usado (3).

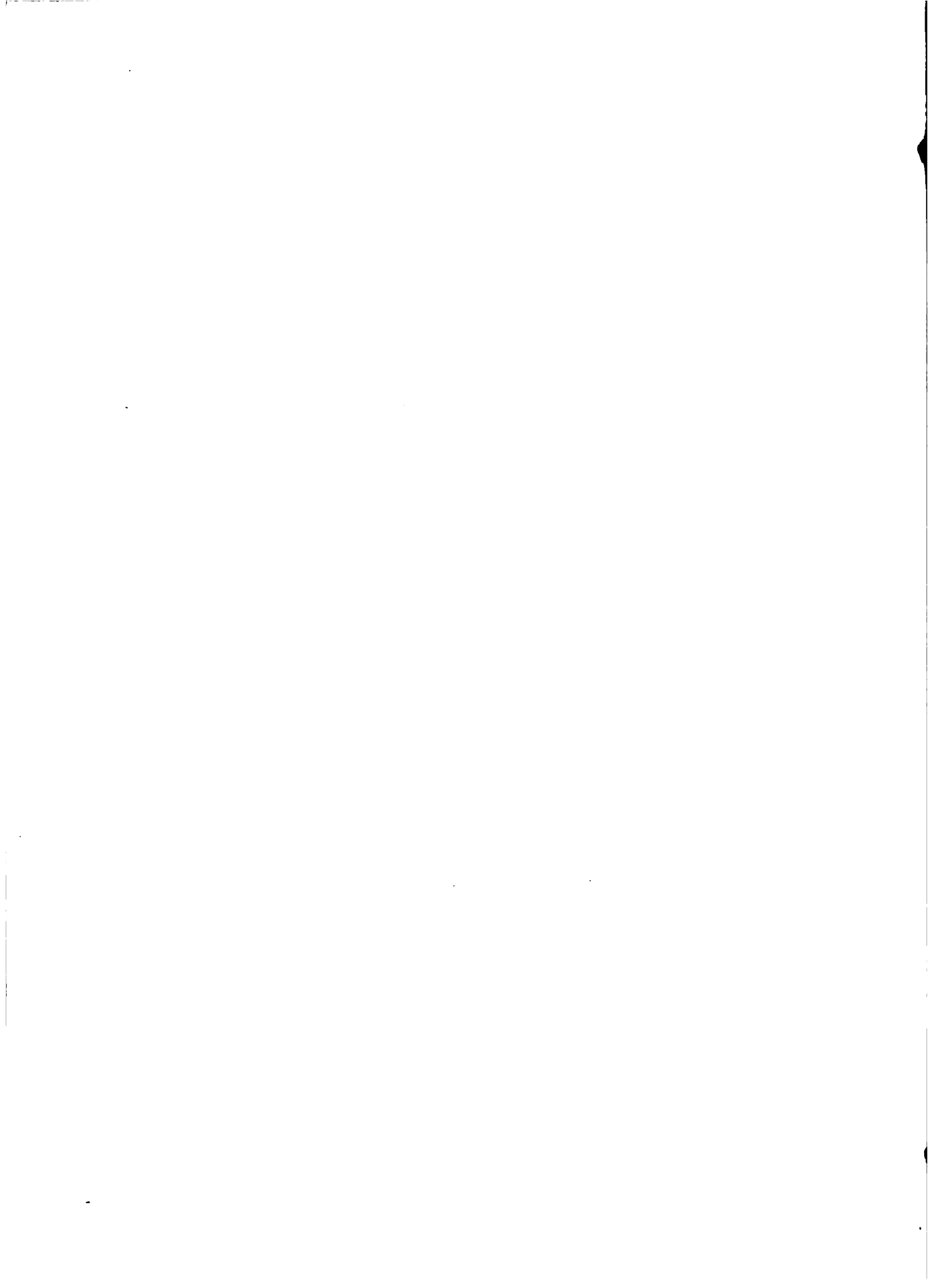
Aunque se han realizado interesantes estudios tendientes a aprovechar una de las más claras ventajas de la fotografía aérea en el inventario, como es la división del bosque en elementos homogéneos con el fin de reducir el número de parcelas de muestreo necesarias para la obtención de un determinado grado de precisión (16, 19), poco se conoce sobre métodos de estimación del contenido maderable de los bosques con base en las fotografías aéreas solamente.

En general a esta determinación de volumen puede llegarse por dos caminos básicamente diferentes: obteniendo el volumen de árboles individuales o estimando el volumen de rodales de características definidas (10).

En cualquiera de los casos, la precisión que se obtenga depende de la exactitud con que puedan efectuarse las mediciones en las fotografías, así como de la correlación que tengan con el parámetro deseado (20).

Volumen de árboles individuales

La construcción y aplicación de tablas de volumen sobre fotografías aéreas, depende básicamente de la correlación entre diámetro de la copa y diámetro del tronco (generalmente expresado como diámetro a la altura del pecho: D.A.P.), correlación que puede establecerse para una especie o un grupo de especies (1). En la mayoría de los casos se ha encontrado



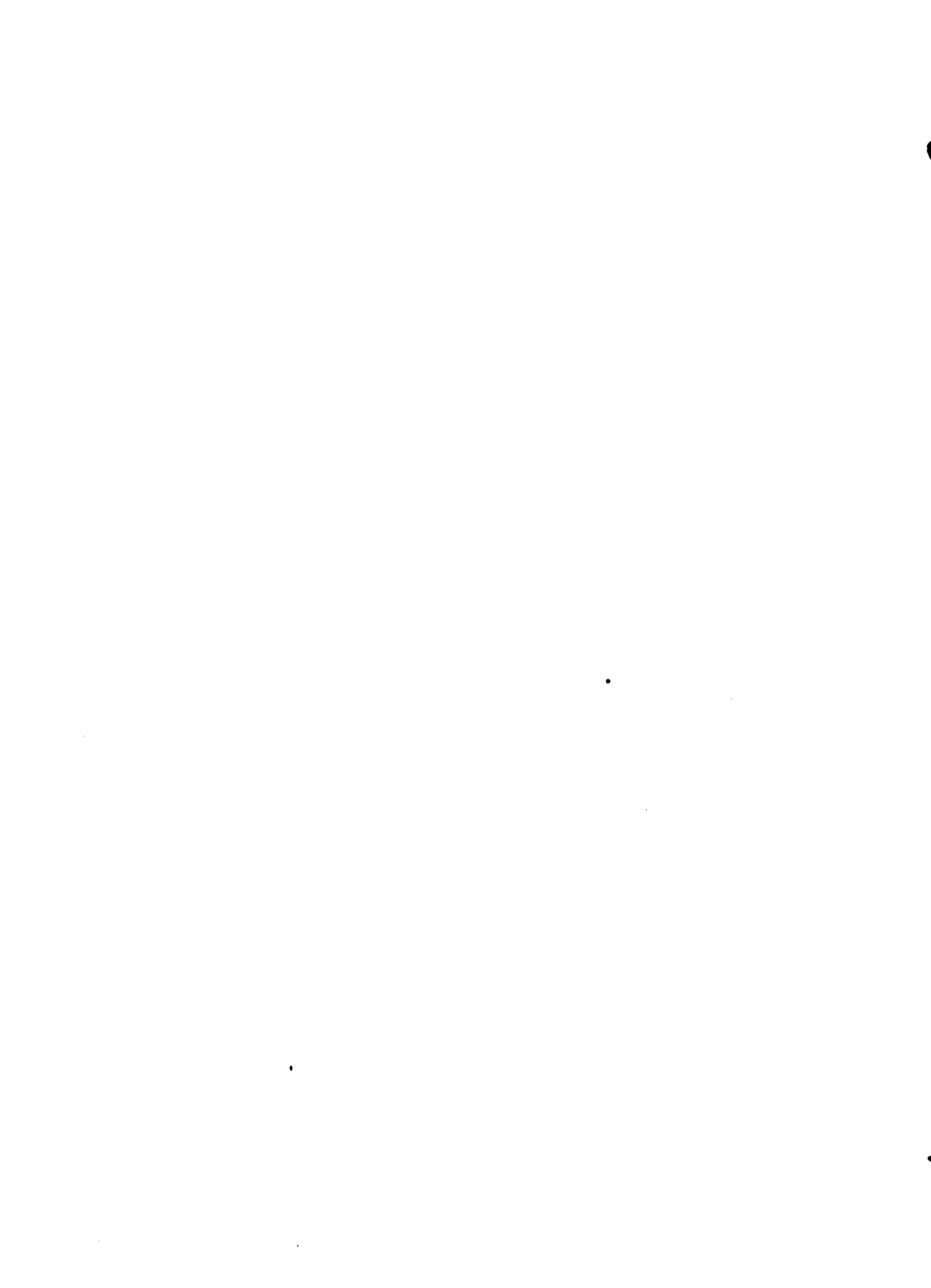
que la línea de regresión es un sigmoide pero se acerca a la recta (20).

Aunque los estimados no son particularmente precisos, frecuentemente con errores standard sobre 2 pulgadas según Spurr (20), pueden mejorarse agregando las mediciones de altura total como variable independiente.

En los bosques tropicales de Surinam y del valle del Amazonas (Brasil), Heinsdijk (12) encuentra este tipo de relación entre los árboles del dosel superior, siendo la regresión exactamente lineal a partir de anchos de copa de 3 metros en Surinam, donde los datos se refieren a 17,868 árboles, y a partir de los 10 metros en Amazonas, con 7,785 árboles. Las mediciones del diámetro de la copa fueron efectuados en el terreno, lo cual es común en este tipo de estudios.

En Guayana Británica, Swellengrebel (21) trabajando con fotografías a escala 1:10,000 tomadas con fines experimentales, establece la relación diámetro de copa - diámetro de tronco, midiendo la primera variable directamente en las fotografías y el diámetro del tronco del mismo árbol en el terreno; indica que cuando se utilizan los diámetros de copa medidos en el terreno, generalmente se asume que darán los mismos resultados que si se tomaran en las fotografías, a pesar de que sólo un intento se ha hecho de correlacionar estas dos formas de medición, y que por lo tanto la medición debe efectuarse en las fotografías.

Con respecto a este punto, Spurr (20) indica que las dos formas de medir el diámetro de la copa no son comparables, debido a que en las fotografías sólo se considerará aquella parte que es visible directamente desde arriba, eliminándose las porciones cubiertas por otros árboles y los extremos de las ramas que por ser muy delgados no se revelan bien.



No obstante estos aciertos en el establecimiento de la relación diámetro de copa - diámetro de tronco, existen también casos en que los resultados han sido negativos; en Java por ejemplo, en estudios sobre fotografías aéreas y en el terreno, no se encuentra relación entre esas dos variables en árboles maduros de teca (Tectona grandis), lo cual se atribuye a que el árbol alcanza su máximo diámetro de copa a una edad en que el diámetro del tronco aun sigue aumentando, pudiendo incluso las copas hacerse más pequeñas a medida que el árbol envejece (14).

Siendo posible medir altura y diámetro de copa en las fotografías, el volumen del árbol puede estimarse hasta donde esté correlacionado con estas variables y la regresión se expresa generalmente en forma de tablas de volumen (20).

En los trabajos de Heinsdijk (12), realizados con fotografías a escala 1:40,000, los árboles fueron clasificados en cuanto a su altura en: 1) bajos, menores de 25 metros, y 2) altos, mayores de 25 metros, división que con experiencia suficiente es fácil de llevar a cabo con ayuda de un estereoscopio; con respecto a los diámetros de las copas, se establecieron cuatro clases: 1) de 2 a 12, 2) de 13 a 17, 3) de 18 a 22, y 4) de 23 a más metros. Con estos datos, y sin pretender alcanzar una gran exactitud, el autor considera posible obtener el volumen de un árbol y por contaje de copas, el volumen de los árboles del dosel superior; el volumen total del bosque que es el objetivo que se persigue, se estima estableciéndose que está relacionado al volumen de los árboles del dosel superior.

En Guayana Británica (21), como las tablas de volumen locales están basadas tan sólo en el diámetro del tronco y se aplican a todas las especies, fue posible, después de correlacionar con éxito diámetro de la

copa y diámetro del tronco a la altura del pecho, hacer una tabla de volumen substituyendo cada clase de D.A.P. por su respectivo volumen en el gráfico de la regresión diámetro de copa-D.A.P.

Estos métodos no muy precisos de estimar volumen, se aceptan en el trópico debido a lo difícil que es hacer estudios más detallados en bosques de composición tan heterogénea.

En países templados se considera que la determinación de volumen por árbol es practicable sobre fotografías de escala grande y en rodales abiertos (20) donde pueden separarse estereoscópicamente los árboles, para una medición exacta de altura total, diámetro de copa y número de copas (1).

Aunque se han confeccionado tablas basadas en una sólo variable independiente, en la mayoría de los casos en que se trata de determinar el volumen individual de árboles, se utiliza tanto el diámetro de la copa, como la altura, prefiriéndose que estos items sean definidos en los términos en que son medidos en las fotografías (20).

El mayor problema en esta forma de determinar volumen parece ser el conteaje de copas, descrito como difícil por Heinsdijk (12) y constituye la mayor causa de error en la fotointerpretación (20).

En general los errores standard, cuando se utilizan tablas de volumen para árboles individuales, son altos, variando de 30 a 60% del volumen promedio, pero ordinariamente estos errores se compensan cuando pueden ser vistos y medidos todos los árboles sobre las fotografías (20).

Volumen del rodal

Las variables independientes más obviamente relacionadas con el volumen del rodal por unidad de área son altura y densidad del bosque,



siendo por esto las que más se usan en la determinación de la regresión (20).

Los volúmenes que se obtienen no consideran descuentos por defectos ya que estos no pueden ser evaluados en forma adecuada (1).

En algunos casos se ha utilizado una sola variable independiente para determinar el volumen, pudiendo ser ésta la altura o el diámetro promedio; la primera daría mayor precisión en rodales coetáneos, secundarios y en los cuales el espacio para el crecimiento está efectivamente ocupado (fully stocked), mientras que el diámetro es particularmente útil en el caso de rodales maduros con especies de hoja ancha (8).

Por el contrario, se han publicado tablas de volumen que además de altura y densidad, tienen en cuenta una tercera variable que puede ser diámetro promedio de la copa o número de árboles por unidad de área (1, 20); sin embargo, esta adición no disminuye materialmente el error standard del estimado (20).

En cualquier caso es evidente que cuando lo que se desea es el volumen del bosque, el uso de tablas de volumen para rodales es mucho más simple que el de tablas para árboles independientes, teniendo además como ventaja las primeras, que las características mensurables pueden ser correlacionadas ya sea con el volumen de los árboles visibles o con el volumen total, mientras en el caso de árboles individuales sólo es posible estimar la parte visible (10).

En la confección de una tabla de volumen para roble (Quercus sp.) de terrenos altos en Pennsylvania, Gingrich y Meyer (10) establecieron que la altura del rodal es la variable más estrechamente correlacionada al volumen, siguiéndole en importancia diámetro de copa y densidad de copas en porcentajes. Sin embargo altura y diámetro de copa se refieren



al tamaño promedio de los árboles sobre la parcela, con un coeficiente 0.519 en su interrelación. Determinando la correlación parcial entre volumen de parcela y diámetro de copa, después de eliminar el efecto de altura, se obtienen coeficientes no significativos. En consecuencia los estimados de volumen se basan en altura y densidad de copas en porcentaje, por considerarse que el diámetro de la copa no tiene influencia apreciable sobre el volumen.

El error standard en la determinación del volumen por parcela de un quinto de acre encontrado por estos autores, varía de 25 a 29 por ciento, e incluso en la aplicación real de la tabla la exactitud puede disminuir por errores en las mediciones de alturas y densidades en las fotografías, que varían de un intérprete a otro.

En Itawamba, Mississippi (2), en bosques mixtos - Pinus echinata, Pinus taeda y especies de hoja ancha de terrenos altos - se encuentra una relación linear entre diámetro de copa y D.A.P.; usando la fórmula de regresión se obtienen valores de D.A.P. para 10, 15, 20 y 25 pies de diámetro de copa, y con estos el volumen de árboles individuales en clases de 10 pies de altura según tablas de volumen para factor mórfico 77^{*}.

Para convertir volumen de árboles individuales en volumen del rodal fue necesario determinar el número promedio de árboles por acre para clases de diámetro de copa y densidad, lo cual - basándose en la premisa de que en la zona estudiada la copa tiende a ocupar un área igual al cuadrado de su diámetro - se obtenía dividiendo el área ocupada por las copas según densidad, entre el área ocupada por el árbol de copa promedio.

* Factor mórfico: la relación entre el volumen de un árbol y el de un sólido geométrico que tiene el mismo diámetro y la misma altura.





Figura N^o 1. Comunidad Goethalsia meiantha.
Vista del bosque desde un campo de caña continuo.

Figura N^o 2

Comunidad Rollinia microsepala.
Vista hacia el interior del bosque.



100

100

100

100

100

100

Por último, el número de árboles por acre, para cada clase de diámetro de copa y densidad, multiplicado por el volumen por árbol, daría el volumen por acre. En la tabla confeccionada estos volúmenes por acre se registran según diámetro de copa promedio, altura promedio y densidad en porcentaje.

Para determinar lo adecuado de la tabla, sin que intervengan los errores de fotointerpretación, se compararon los valores que aquella indicaba, con los volúmenes encontrados en el terreno, observándose que la diferencia no era significativa al nivel del 5 por ciento de probabilidades; o sea que la tabla daría estimados confiables en rodales similares, si las variables podían determinarse con precisión razonable en las fotografías.

En la prueba de aplicación práctica, de doce estimados (6 fotointérpretes por 2 mediciones), ocho no daban diferencia significativa con el volumen determinado en el terreno, asociándose las diferencias en los cuatro restantes, principalmente a la medición de densidad de copas.

Según Spurr (20), los errores standard son por lo general altos, pero pueden disminuirse con un muestreo adecuado, obteniéndose estimados dentro del 10 por ciento; por el mismo motivo se recomienda ajustar los resultados mediante un control en el terreno que permita hallar un factor de corrección para eliminar los errores (10, 17).

Otros métodos para determinar volumen de un rodal citados por Spurr (20) son: la utilización del área del perfil del rodal que se toma como variable independiente para correlacionar con volumen; y la comparación con fotografías similares de parcelas de volumen conocido, método este último que aunque bastante subjetivo, ha probado dar resultados comparables a los obtenidos con el uso de regresiones.



MATERIALES Y METODOS

Descripción del área estudiada

El bosque donde se realizó el estudio cubre una extensión de 152 hectáreas y se encuentra situado en terrenos de propiedad de la finca Florencia y aproximadamente a 3 kilómetros en línea recta y hacia el sur del edificio principal del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica. De topografía bastante irregular - presenta declives desde 20 a 50 por ciento - su parte más alta está a 787 metros sobre el nivel del mar y la más baja a 600 metros.

Los suelos, de origen volcánico, corresponden a formaciones de lava vieja y son mayormente lateríticos de textura arcillo-arenosa (7).

Según datos de la estación meteorológica del Instituto, la temperatura es de 22.6°C y la precipitación de 2581.3 mm. de promedio anual (5), aunque pequeñas variaciones podrían registrarse en la zona estudiada. Esto sitúa el bosque dentro de la formación bosque subtropical muy húmedo del sistema de clasificación de Holdridge (13).

La etapa de la sucesión ha sido estudiada en detalle por Budowski (4) quien reconoce en particular la comunidad Goethalsia meiantha (pág. 11) y la comunidad Rollinia microsepala (pág. 11). Ambas presentan como característica la existencia de tres estratos, el superior aproximadamente de 30 metros, con algunos emergentes un poco más altos y el inferior no siempre fácilmente reconocible. En el caso de la comunidad Goethalsia meiantha, el dosel superior está formado casi exclusivamente por las copas de los árboles de esta especie, encontrándose a veces Ceiba pentandra. La separación entre este dosel y el inmediatamente inferior, de composición más heterogénea, es conspicua. En la comunidad



Rollinia microsepala, esta especie domina casi completamente el dosel superior, siendo pocos los árboles de otras especies dentro del estrato.

La edad del bosque, por su similitud con aquel estudiado por Budowski, puede estimarse entre 40 y 50 años.

Dos aspectos que deben ser mencionados por la relación que pueden tener con la materia del presente trabajo son: la evidencia de que ha existido o existe explotación selectiva, aunque moderada, de algunos árboles; y la presencia de especies de hojas caedizas que afectan el reconocimiento y ubicación de puntos previamente determinados en las fotografías.

Tipo y calidad de las fotografías

Las fotografías usadas han sido obtenidas del Instituto Geográfico de Costa Rica y corresponden a los números 123, 124 y 125 de la línea de vuelo número 4 de la zona de Turrialba, tomadas en Julio de 1960, o sea 21 meses antes de la realización del presente trabajo.

El largo focal de la cámara de 6 pulgadas y una altura de vuelo sobre el nivel del mar de 7,000 pies, darían una escala de 1:14,000, pero debido a la elevación de la zona estudiada, ésta varía de 1:10,064 a 1:8,837, lo cual si bien es ideal para este tipo de estudio, presenta el inconveniente de que el campo visual se estrecha bastante.

La película usada ha sido de tipo pancromática y las reproducciones sobre papel semimate son de mediana calidad (pág. 13).

Interpretación preliminar y confección del mapa base

En forma preliminar se realizó una interpretación en las fotografías para dividir el bosque en áreas aparentemente homogéneas, utilizando un estereoscopia binocular "Fairchild" modelo F-71, y posteriormente esta



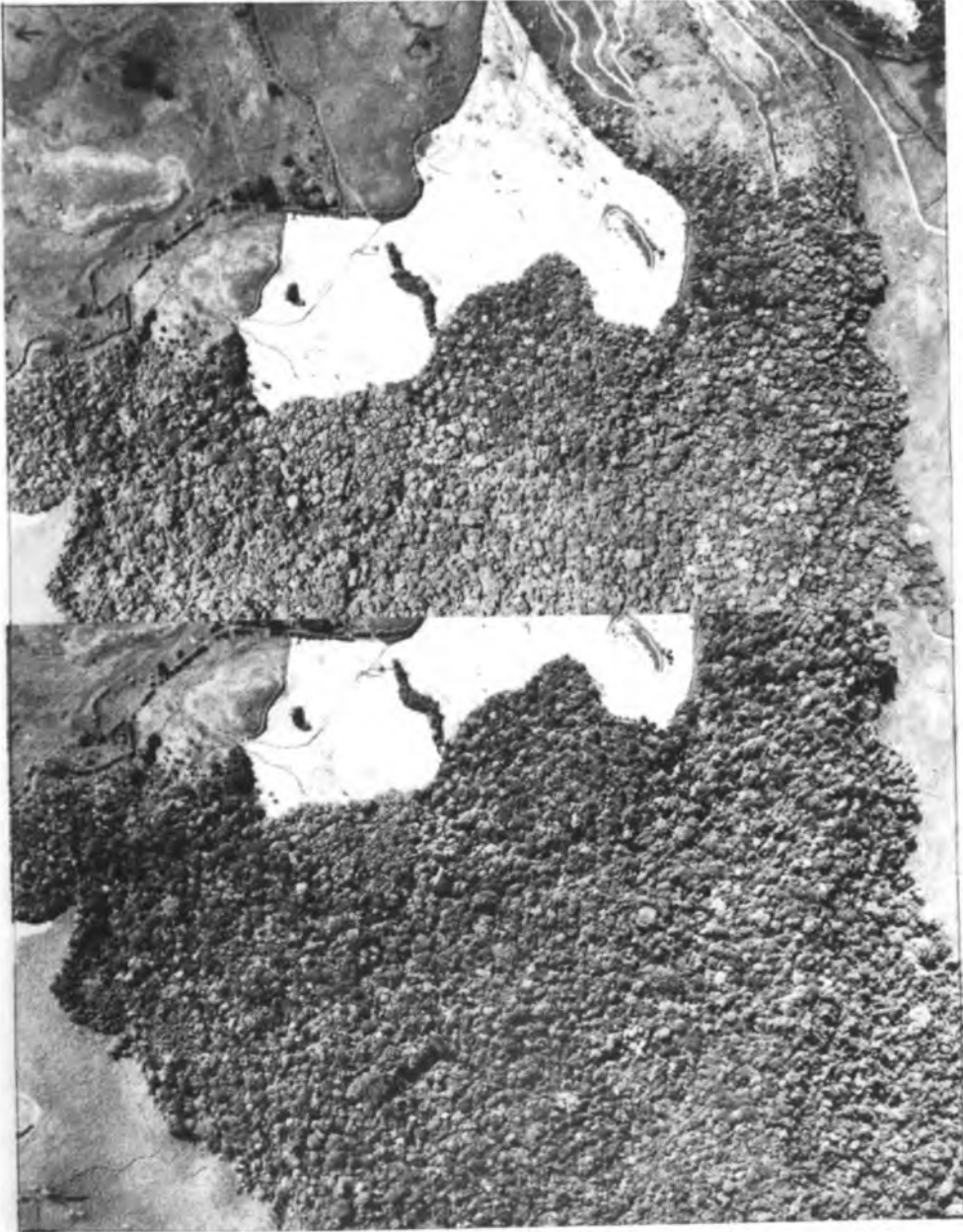


FIGURA 3. Par estereoscópico (fotografías aéreas 123 y 124) mostrando parte del bosque donde se realizó el estudio.

clasificación se hizo más en detalle con un estereoscopio de bolsillo "Zeiss", teniendo en cuenta principalmente las variaciones en altura, densidad y número de estratos del rodal, reconocibles en las fotografías.

Para la confección del mapa base (pág. 15) se eligió el método de triangulación radial con templetes metálicos, siguiéndose los siguientes pasos:

- a) Determinación del punto principal y de los puntos conjugados sobre cada fotografía.
- b) Elección de puntos de control o puntos de "pase" ("wing" o "pass" point).
- c) Preparación de la red de templetes.
- d) Ubicación de los puntos de control sobre la cartulina donde se proyectará el mapa.
- e) Transferencia mediante cámaras lúcidas (sketch-master) de los linderos del bosque, límites de las divisiones obtenidas en la fotointerpretación y algunos otros detalles como carreteras principales, vías férreas, ingenio azucarero, etc.

Mediciones en las fotografías

De acuerdo a las finalidades del estudio, las medidas que se realizaron en las fotografías fueron altura y densidad de los estratos.

Alturas.- Las alturas se determinaron por el método de la diferencia de paralaje, utilizándose los "puntos flotantes", que según Wilson (22) dan resultados de mayor precisión y son de más fácil manejo que los diferentes tipos de cuñas que para el mismo objeto se han diseñado.

Aprovechando pequeños claros dentro del bosque o bien en los linderos del mismo, donde el punto podía bajarse hasta el nivel del suelo





FIGURA 4. Mapa base del bosque donde se realizó el estudio (reducido en 25%). El original fue preparado a escala aproximada 1:10,000. Se muestran los límites del bosque, los límites de las divisiones y las líneas de contorno.



o muy próximo a éste, se hacía la medición del paralaje de la base, y poniendo luego el punto en el tope del árbol se tomaba una segunda lectura; por sustracción se obtenía la diferencia de paralaje -dP-. Repitiendo esta operación dos o tres veces dentro de cada área muestreada y juzgando ocularmente el dP del resto de árboles, podía agruparse éstos en estratos dentro de amplias clases de altura como 11-20, 21-30 y 31-40 metros.

Para mayor facilidad se había preparado de antemano tablas mostrando las alturas equivalentes a valores determinados de dP para cada par de fotografías y según las variaciones de escala debidas a las diferentes elevaciones del terreno sobre el nivel del mar.

Estas tablas están basadas en la fórmula general del paralaje:

$$h = \frac{H \times dP}{P + dP}$$

donde:

h = altura del árbol en metros;

H = altura de vuelo del avión en metros;

P = paralaje absoluto en milímetros; y

dP = diferencia de paralaje en milímetros.

Ante la imposibilidad de determinar la elevación de cada punto donde se hacían las mediciones, el área boscosa fue dividida en fajas altitudinales de 600 a 650, 650 a 700 y 700 a más metros, utilizándose los promedios - 625, 675 y 725 - como base para hallar las alturas de vuelo a usarse en la fórmula del paralaje.

En las páginas siguientes se muestran las tablas en referencia, aclarándose que los valores dados son aplicables exclusivamente a las fotografías usadas en el estudio.



TABLA 1.- Alturas en metros para diferentes valores de dP en milímetros, en fotografías 123 y 124 de la línea de vuelo N^o 4 (zona de Turrialba), con paralaje absoluto 91 mm.
(Altura de vuelo sobre el nivel del mar: 7,000 pies = 2,128 m.)

Elevación del terreno sobre el nivel del mar, en metros					
625		675		725	
H = 2128 - 625 = 1503		H = 2128 - 675 = 1453		H = 2128 - 725 = 1403	
<u>dP</u>	<u>h</u>	<u>dP</u>	<u>h</u>	<u>dP</u>	<u>h</u>
0.100	1.64	0.100	1.59	0.100	1.54
0.500	8.21	0.500	7.93	0.500	7.66
0.609	10.00	0.630	10.00	0.653	10.00
0.917	15.00	0.949	15.00	0.983	15.00
1.000	16.33	1.000	15.79	1.000	15.25
1.227	20.00	1.270	20.00	1.315	20.00
1.500	24.37	1.500	23.56	1.500	22.75
1.538	25.00	1.593	25.00	1.650	25.00
1.853	30.00	1.918	30.00	1.988	30.00
2.000	32.32	2.000	31.24	2.000	30.17



TABLA 2.- Alturas en metros para diferentes valores de dP en milímetros, en fotografías 124 y 125 de la línea de vuelo Nº 4 (zona de Turrialba), con paralaje absoluto 98.25 mm.

(Altura de vuelo sobre el nivel del mar: 7,000 pies = 2,128 m.)

Elevación del terreno sobre el nivel del mar, en metros						
625		675		725		
H = 2128 - 625 = 1503		H = 2128 - 675 = 1453		H = 2128 - 725 = 1403		
dP	h	dP	h	dP	h	
0.100	1.52	0.100	1.47	0.100	1.42	
0.500	7.61	0.500	7.35	0.500	7.10	
0.658	10.00	0.680	10.00	0.705	10.00	
0.990	15.00	1.000	14.63	1.000	14.13	
1.000	15.14	1.024	15.00	1.061	15.00	
1.325	20.00	1.371	20.00	1.420	20.00	
1.500	22.60	1.500	21.84	1.500	21.09	
1.661	25.00	1.720	25.00	1.782	25.00	
2.000	29.98	2.000	28.98	2.000	27.99	
2.001	30.00	2.071	30.00	2.146	30.00	

Densidades.- En fotogrametría se entiende por densidad de las copas ("crown closure" o "crown cover"), la proporción del área de un rodal cubierta por las copas de los árboles. Aunque en la mayoría de los casos sólo es necesario considerar la densidad de los árboles del dosel superior, ocasionalmente es importante tomar en cuenta también la densidad de la vegetación inferior.

En nuestro caso, como ya se ha sugerido, se realizaban las mediciones en forma independiente para cada estrato, utilizando una lámina de material transparente con puntos estrechamente espaciados ($100 \times \text{cm}^2$); el número de puntos que caían sobre las copas del estrato que estaba siendo medido, expresado como porcentaje del total de puntos dentro del área, indicaba la densidad buscada.

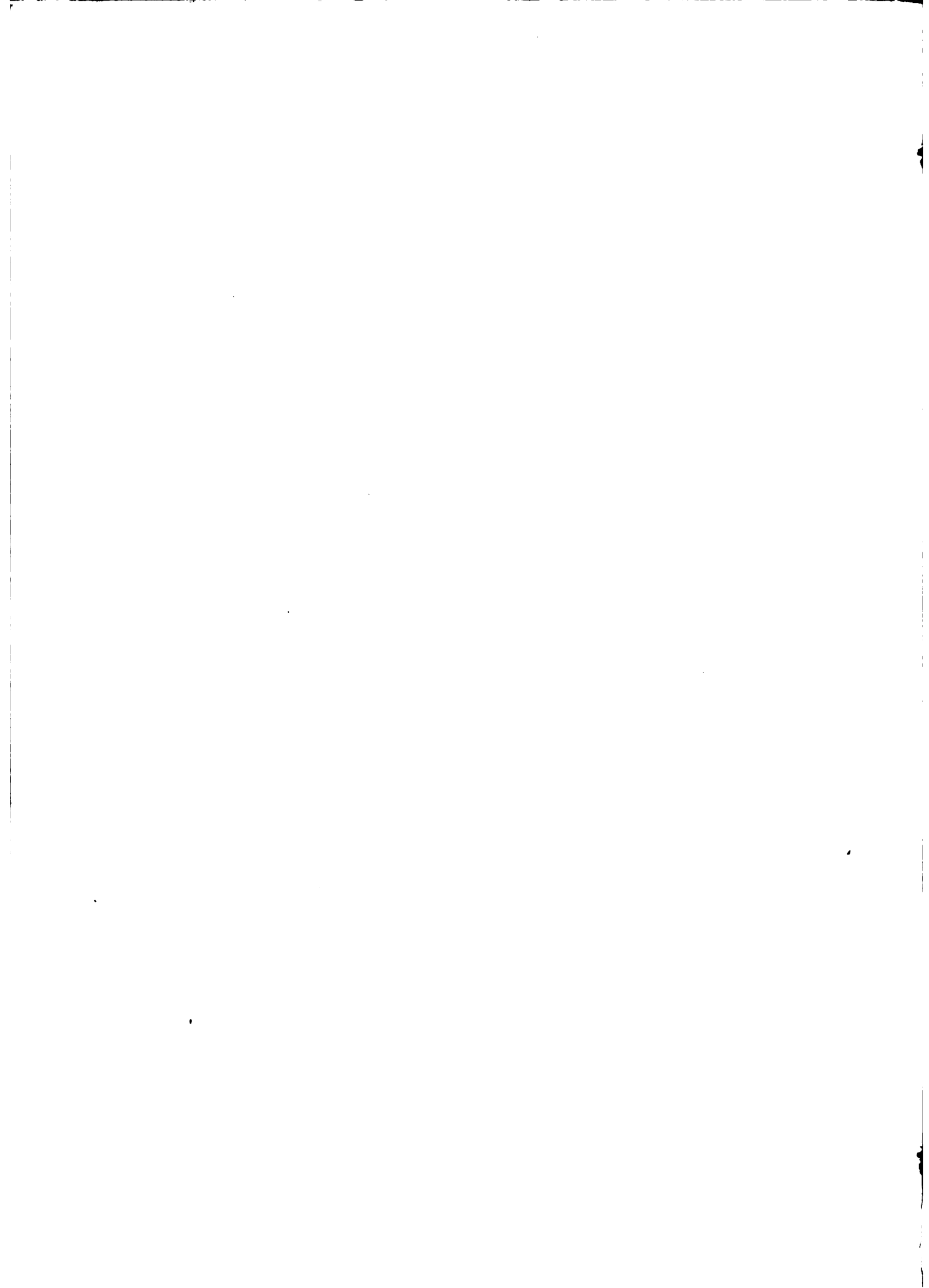
Para cada división muestreada la medición de altura y densidad se hacía en forma casi simultánea, ya que era necesario guardar en mente el estrato o clase de altura de los árboles dentro del área de observación.

El método descrito para determinar densidad tiene la ventaja de ser más objetivo que las estimaciones basadas en comparación con estereogramas de rodales de densidad conocida, ya que en esta última interviene demasiado el juicio personal del fotointérprete.

Datos de campo

Los datos obtenidos en el campo fueron: diámetro a la altura del pecho (D.A.P.), altura total y altura comercial de todos los árboles con D.A.P. igual o mayor a 15 centímetros, dentro de parcelas de muestreo de forma circular y de 1,000 metros cuadrados de superficie. El radio de éstas, 17.84 metros, en ningún caso tuvo que ser modificado por la pendiente del terreno, ya que siempre fue posible colocar la cinta métrica en forma horizontal, levantando uno de sus extremos.

Aunque en la fotointerpretación se había determinado 85 divisiones, por ser algunas de ellas bastante similares entre si, y por limitaciones de tiempo sólo se levantó 21 sitios de muestreo, eligiéndose las áreas que presentaban variación en las características mensurables en las fotografías; con esto se perseguía obtener valores lo suficientemente



dispersos como para que indicaran por lo menos la tendencia o fluctuación del volumen, según la variación de altura y densidad de los estratos.

Como es común en la realización de inventarios forestales, de los árboles que se encontraban exactamente en los límites de la parcela de muestreo, alternativamente se incluía uno en la medición y otro se desechaba.

Para la medición de alturas, total y comercial, se efectuaban dos o tres lecturas con un medidor de alturas Haga, al comenzarse a tomar los datos de cada parcela, continuándose luego con estimaciones oculares.

Los diámetros se tomaron a 1.30 metros del suelo, usando una forcípula graduada en centímetros, teniéndose cuidado de promediar diámetros mayor y menor cuando el tronco del árbol no era de forma cilíndrica. En los casos de árboles con aletas o raíces tablares, el diámetro se tomaba en la terminación de éstas o sea donde el fuste tomaba su forma regular.

Cómputo de volúmenes

En ausencia de una tabla de volúmenes adecuada para el tipo de bosque bajo estudio, se utilizó la fórmula:

$$V = 0.00003925 \times \text{DAP}^2 \times \text{Ht}$$

derivada de:

$$V = \frac{\pi \times \text{DAP}^2 \times \text{Ht} \times 0.5}{40,000}$$

donde:

V = volumen en metros cúbicos

DAP = diámetro a la altura del pecho en centímetros

Ht = altura total en metros

0.5 = factor mórfico



Con esta fórmula se pretende obtener, lógicamente sin gran precisión, el volumen maderable total del árbol.

El valor 0.5, al no existir precedente en la literatura, fue elegido en forma arbitraria; en los trópicos es costumbre usar el factor 0.7 cuando se trata del volumen de la porción del tronco libre de ramas (15), pero dicho factor obviamente debe disminuir al considerarse la altura total.

Método experimental

Con los datos acumulados se llevaron a cabo estudios de correlación y regresión entre las siguientes variables:

- Densidad del estrato I(31-40 metros)- Volumen de los árboles del estrato I
- Densidad del estrato II(21-30 metros)- Volumen de los árboles del estrato II
- Volumen de los árboles del estrato I(31-40 metros)- Volumen total.



RESULTADOS

Grado de precisión en la medición de alturas

La agrupación de los árboles en clases de altura fue relativamente fácil y los resultados se mostraron bastante satisfactorios para los fines del estudio.

El hecho de que no fuera necesario medir la altura de árboles individuales y el conocimiento previo de las características del bosque, facilitaron sin lugar a dudas la tarea.

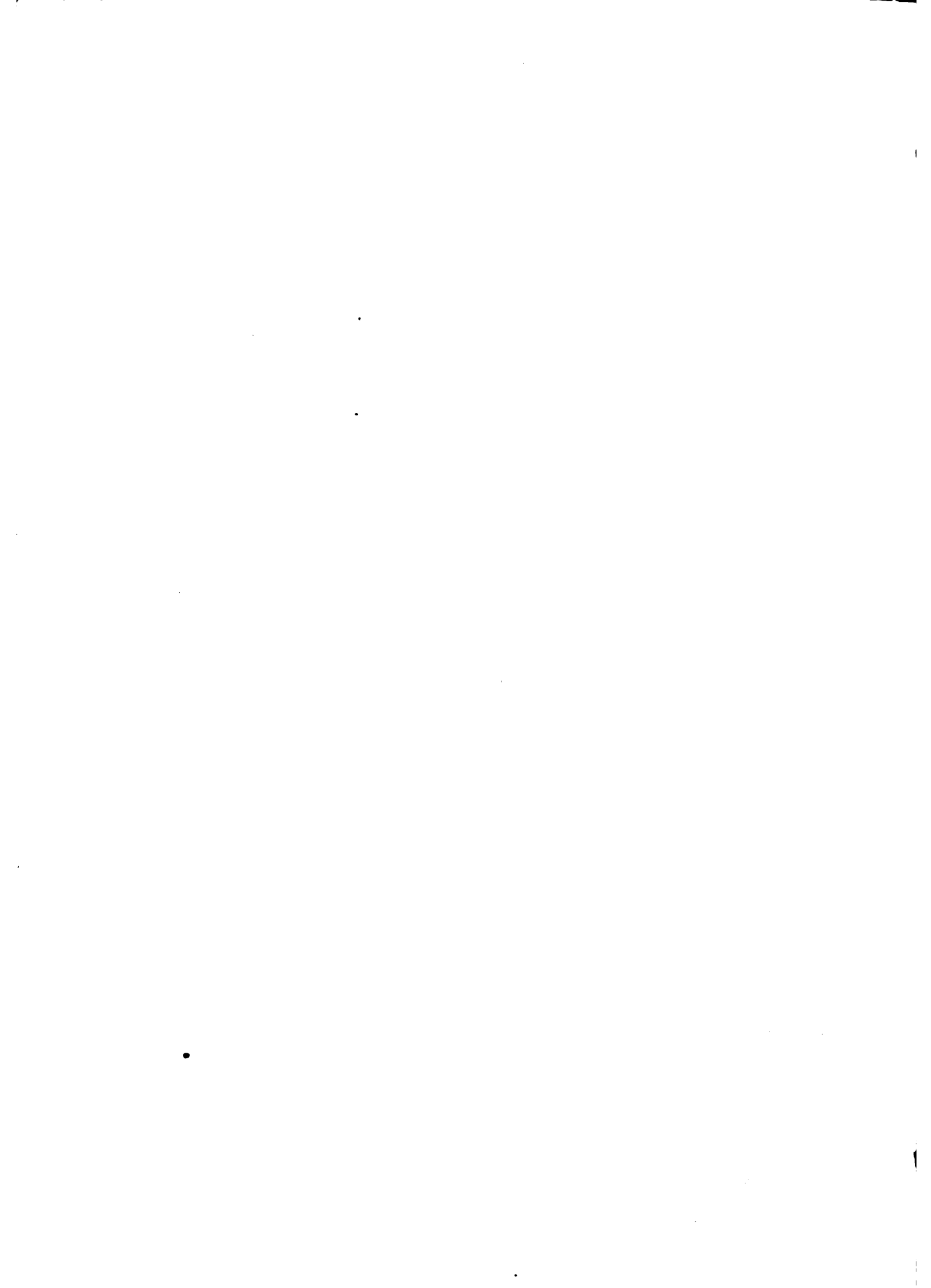
Sólo en dos oportunidades se cometieron errores de apreciación: en una no se consideró la existencia del dosel de 31 a 40 metros aun cuando había un árbol dentro de la parcela que alcanzaba 34 metros, y en otra por el contrario se sobreestimó la altura, considerándose un estrato de 31 a 40 metros, cuando el árbol más alto alcanzaba tan sólo 30 metros.

La precisión en el estimado de los estratos inferiores no pudo ser apreciada correctamente, pero como se verá más adelante, ésta no tendría repercusión en los resultados finales, ya que las conclusiones se basan mayormente en la exactitud con que puedan juzgarse las características del dosel superior.

Relación entre densidad y volumen de los árboles del estrato I(31-40 metros).

En la determinación de la intensidad con que están asociados densidad y volumen de los árboles del dosel superior (31-40 metros) se obtuvo un valor de $r = 0.748$, que indica una correlación altamente significativa entre las dos variables.

Asumiendo luego que la relación existente es lineal, se pudo



establecer que el incremento en volumen por cada unidad de variación en la densidad, está representado por el coeficiente 0.4107, lo cual permitió fijar la línea de regresión, $\hat{y} = 2.893 + 0.410737x$ que se muestra en el Gráfico N° 1.

Otros valores de interés para la interpretación estadística se muestran en resumen en la Tabla N° 3 (pág. 26).

Relación entre densidad y volumen de los árboles del estrato II(21-30 metros).

El coeficiente de correlación $r = 0.138$ obtenido al analizar estas dos variables, indica una aparente independencia, considerada no satisfactoria para los fines del estudio y las posibles causas de este resultado serán comentadas más adelante.

Relación entre volumen de los árboles del dosel superior y volumen total.

En esta fase del estudio en que se consideran tan sólo aquellas parcelas en que existe un dosel entre 31 y 40 metros dominando el área, se encontró para r un valor de 0.806 que indica lo estrecho de la relación. Se determinó así mismo que la influencia ejercida por el volumen de los árboles del dosel superior en la existencia de la correlación es de 64.96 por ciento y que el aumento en el volumen total por cada metro cúbico de incremento en los árboles del dosel superior sería de 0.7563 m^3 , resultado este último que nos muestra además la disminución de volumen en los estratos inferiores a medida que se hace mayor el del estrato dominante.

La línea de regresión $\hat{y} = 18.265 + 0.756307x$ se muestra en el Gráfico N° 2 (pág. 25) y los valores estadísticos hallados en el análisis en la Tabla N° 3 (pág. 26).



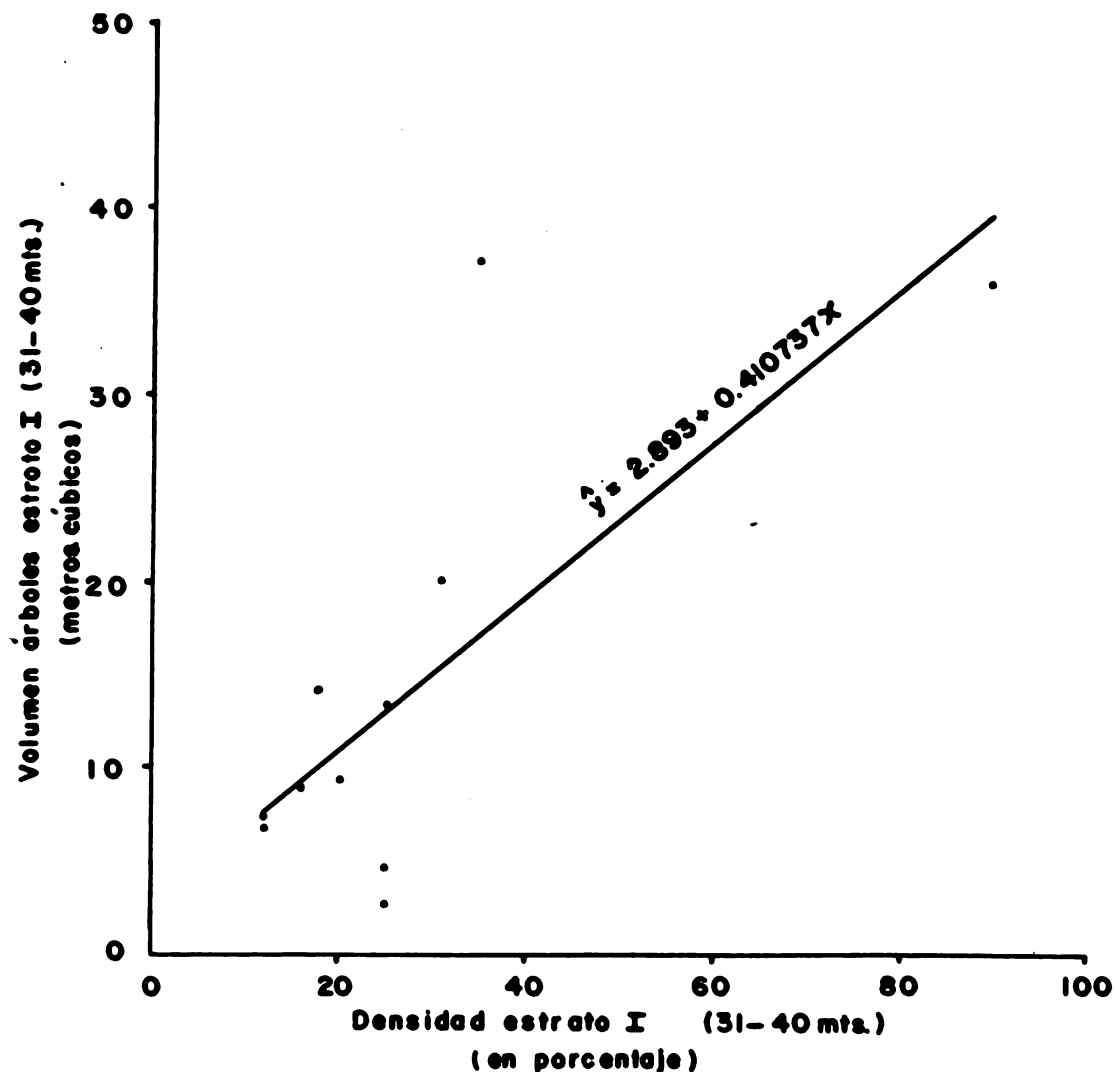


GRAFICO 1. Regresión de densidad estrato I(31-40 metros) sobre volumen árboles estrato I(31-40 metros). Se muestran los puntos correspondientes a los pares de x e y; las desviaciones con respecto a la línea de regresión están representadas por las distancias verticales de los puntos a esa línea.

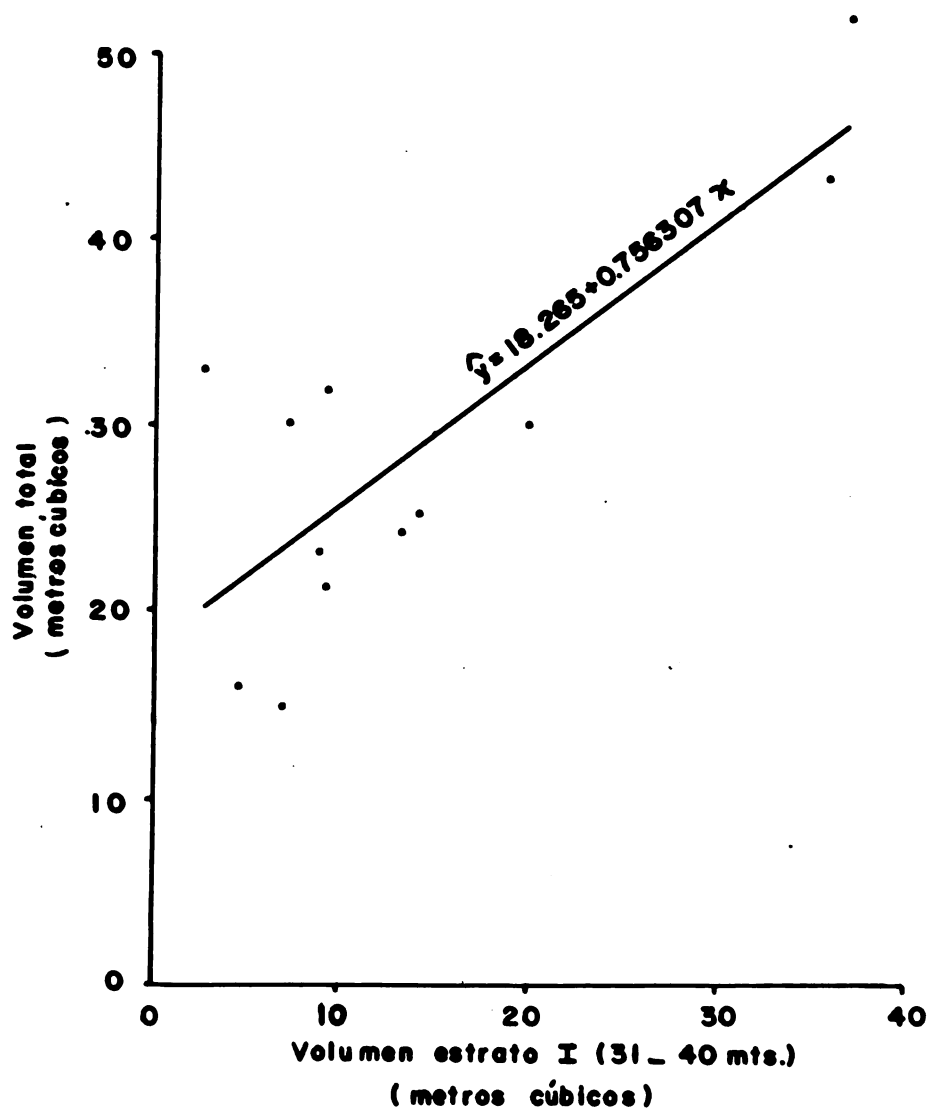


GRAFICO 2. Regresión de volumen estrato I(31-40 metros) sobre volumen total. Se muestran los puntos correspondientes a los pares de x e y; las desviaciones con respecto a la línea de regresión están representadas por las distancias verticales de los puntos a esa línea.

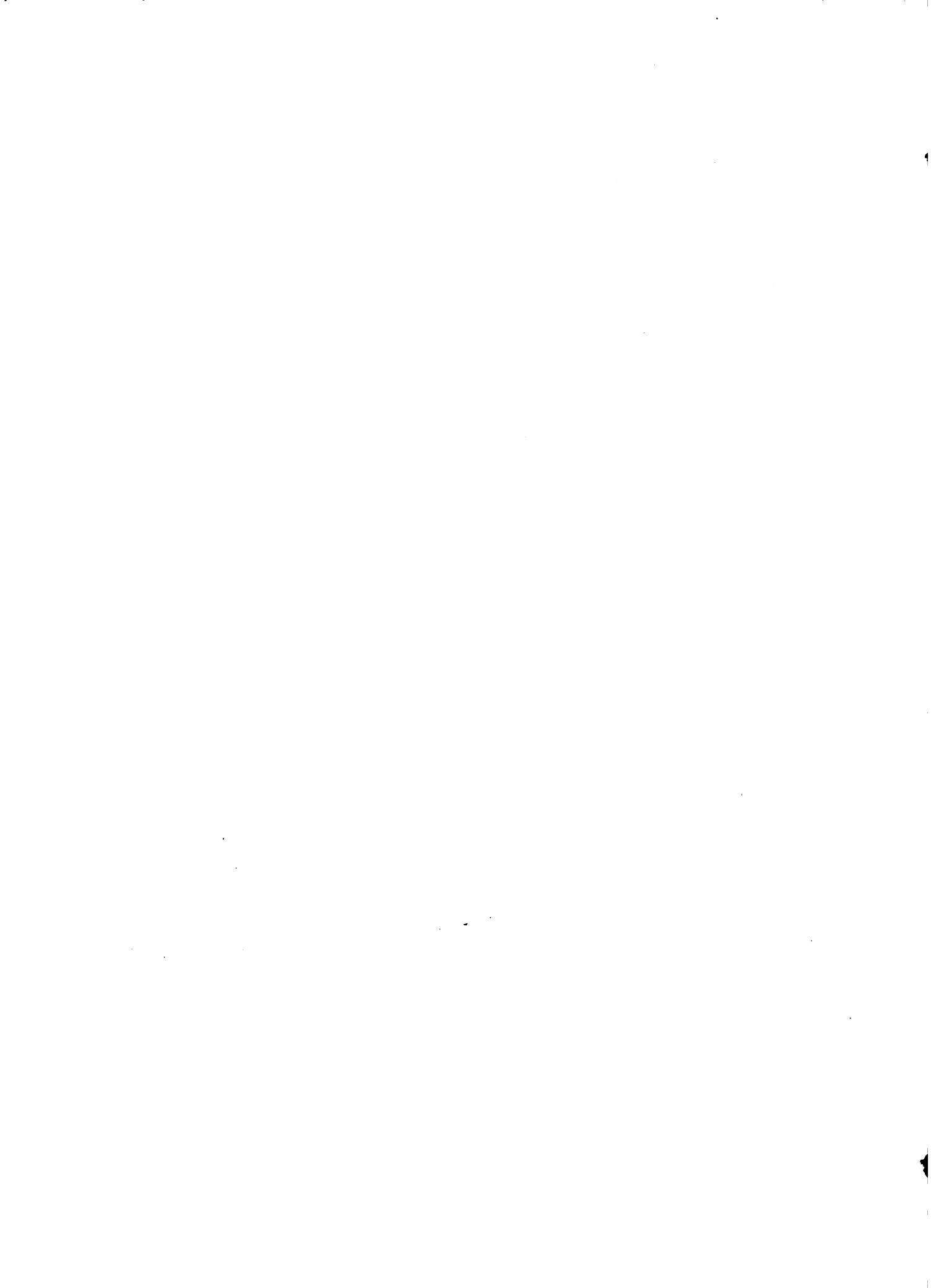


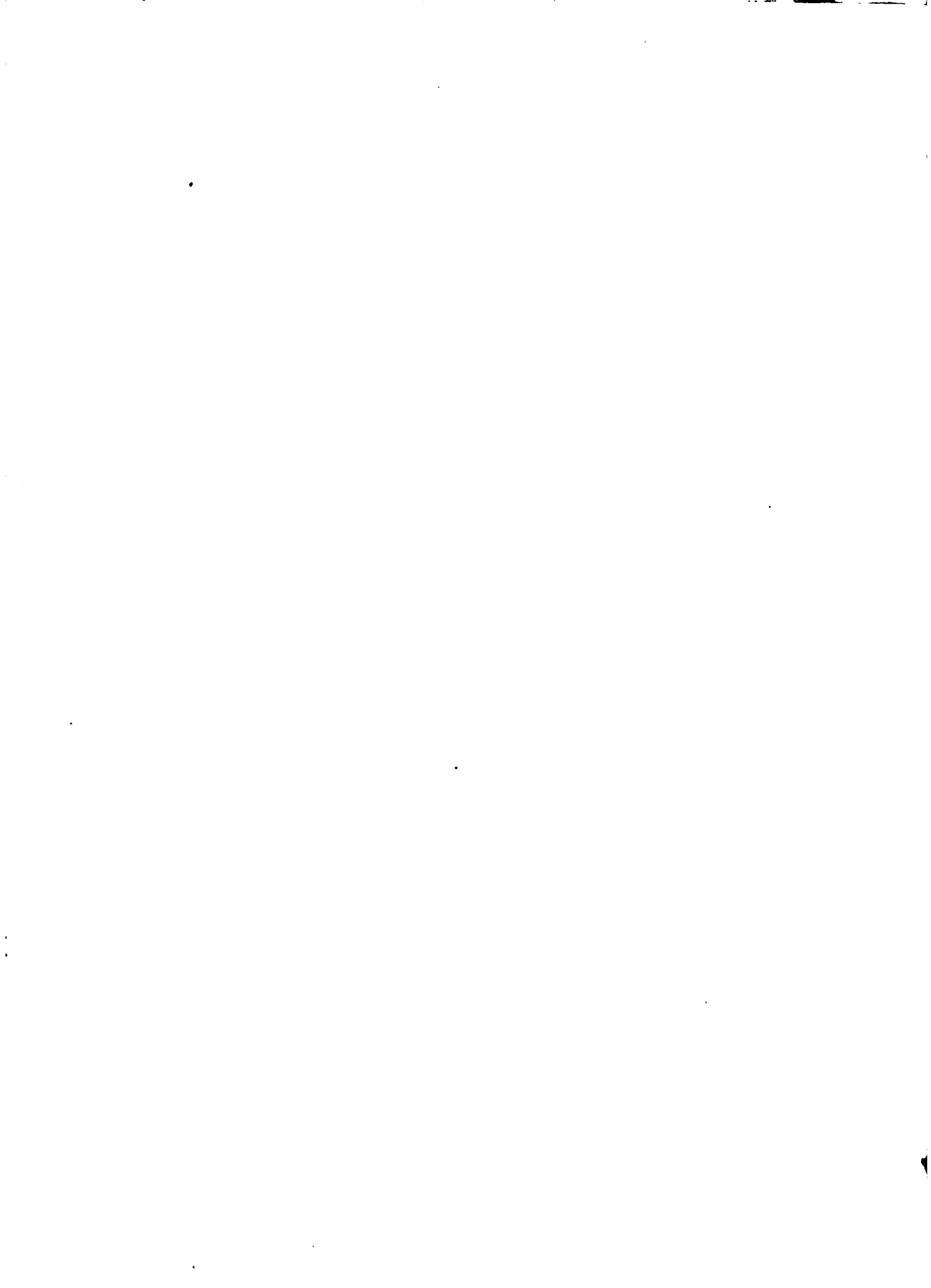
TABLA 3. Valores encontrados en los análisis de correlación y regresión.

	Densidad estrato I / volumen estrato I	Densidad estrato II / volumen estrato II	Volumen estrato I / volumen total
n	12	16	12
SC _x	4,808.9167	5,229	1,448.1957
SC _y	1,448.1957	589.9117	1,273.5743
SP _{xy}	1,975.2003	242.204	1,095.2802
r	0.748	0.138	0.806
r(0.05)10 G.L.	0.576	-----	0.576
r(0.01)10 G.L.	0.708	-----	0.708
100. r ²	55.95%	-----	64.96%
b _{yx}	0.410737058	-----	0.756306761
\hat{y}	2.893+0.410737x	-----	18.265+0.756307x
s _{yx}	7.980	-----	6.672
s _y	11.474	-----	10.760
s _{byx}	0.114	-----	0.175
t _c	3.603	-----	4.322
t(0.05)10 G.L.	2.228	-----	2.228

Fórmulas usadas (6):

Coefficiente de correlación:

$$r = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{SC_x \cdot SC_y}}$$



Coefficiente de regresión:

$$b_{yx} = \frac{SP_{xy}}{SC_x}$$

Ecuación de regresión:

$$\hat{y} = a + b_{yx}X$$

Error standard desde la regresión:

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{SC_y - (b_{yx}^2 \cdot SC_x)}{n - 2}}$$

Error standard de los items con respecto al promedio:

$$s_y = \sqrt{\frac{SC_y}{n - 1}}$$

Error standard del coeficiente de regresión:

$$s_{byx} = \sqrt{\frac{SC_y - (b_{yx}^2 \cdot SC_x)}{(n-2) SC_x}}$$



DISCUSION Y CONCLUSIONES

Identificación de especies

En bosques tropicales la identificación de especies en fotografías aéreas se considera muy difícil, especialmente cuando el fotointérprete no tiene conocimiento suficiente de la forma de vegetación y en algunos casos, por esta limitación, se ha pretendido negar todo valor a las fotografías en el reconocimiento e inventario de este tipo de bosques.

Esta posición pesimista debe ser desechada y considerarse que bajo ciertas circunstancias la identificación de una sola especie puede servir para señalar tipos de bosque de mayor o menor utilidad, como sucede en Ghana con una especie del género Raphia que señala lugares cenagosos con pocos árboles maderables y Musanga smithii que revela una fase temprana de la sucesión en un bosque (9).

Una recomendación acertada de Heinsdijk (12) es concentrar la atención en las especies que por su hábito de crecimiento aparecen comúnmente en el dosel superior, lo cual, reduce enormemente el trabajo de identificación. Si tal afirmación es válida en bosques climax, alcanza mayor vigor cuando se trata de bosques secundarios los cuales son, en su mayoría, de composición florística más simple y están por lo general dominados por una especie o un pequeño grupo de especies (18). Siguiendo esta norma, el número a observarse en el bosque estudiado, es reducido. Sólo se consideraría aquellas que aparecen en el estrato de 31 a 40 metros, como puede verse en el Gráfico de la página 44. La presencia de dos árboles de guarumo (Cecropia sp.) en este estrato, debe ser comentada, ya que por su hábito de crecimiento, a esta edad es normalmente cubierta por otros árboles y sólo en casos excepcionales puede llegar



a formar parte del dosel dominante.

Como ocurre con Mora excelsa en Guayana Británica (21), en nuestro caso pudo reconocerse los rodales en que dominaba el guácimo (Goethalsia meiantha), pero más por la apariencia general del grupo que como árbol individual. En el conjunto de un estrato casi uniforme en altura, las copas se asemejan a una serie de polígonos de color claro y estrechamente unidos.

Otras dos especies que podrían ser reconocidas con algo de certeza, en determinados casos, son Trophis sp. cuando emerge considerablemente del nivel general del dosel y Ceiba pentandra con copa excepcionalmente grande.

Sin embargo, todo esto supone un conocimiento previo del bosque, conocimiento que a la vez nos indicaría las características que debemos esperar de un rodal dominado por una especie o grupo de especies. La presencia de guácimo en el dosel superior, por ejemplo, nos haría pensar en un segundo estrato no mayor de 15 metros, en el cual podrían estar representadas algunas especies de la familia Lauraceae, Guarea sp., Castilla elastica, Heliocarpus appendiculatus, Cecropia obtusifolia, Virola sebifera y unas pocas Goethalsia meiantha (4).

En general parece ser que la forma de la copa es mejor indicador de la especie, que el tono blanco o gris de la fotografía (11); esto se debe a que algunas veces, árboles de la misma especie ofrecen un tono claro cuando tienen hojas jóvenes y oscuro cuando estas son viejas (21), lo que haría de la época en que se toma las fotografías un factor importante en la identificación.



Limitaciones en la medición de alturas

La condición esencial para medir alturas con el método de la diferencia de paralaje es poder ver en las fotografías el tope del árbol y el suelo. Este requisito difícilmente se llena en el caso de bosques tropicales y por eso, en vez de medición, deberíamos referirnos a estimación de alturas.

En este trabajo interviene algo de juicio personal del fotointérprete, quien asumirá que las mediciones que haga aprovechando un claro en el bosque, están por lo general en defecto y agregará una cantidad determinada a su lectura, equivalente a lo que su experiencia le indique ser la altura de la cubierta vegetal inferior. Afortunadamente parece que en ningún caso esta cubierta podría ser confundida con un estrato de árboles, aun cuando fueran de muy reducido tamaño.

Como indica Spurr (20), el fotointérprete juzgará en forma suficientemente precisa las alturas de los árboles o estratos y ocasionalmente hará una medida de corrección para mejorar sus estimados, especialmente de aquellos árboles que pueden ser medidos en forma fácil y exacta.

En los bosques de la región amazónica se encuentra que los árboles podrían ser agrupados con relativa facilidad en menores y mayores de 25 metros (12). Esta misma afirmación es válida en nuestro caso, donde se pudo obtener aun más detalles al lograrse reconocer hasta tres estratos en clases de diez en diez metros.

Como sucede con la identificación de especies, en la medición de alturas también sería de gran valor el conocimiento que de las condiciones locales del bosque posea el fotointérprete. Así por ejemplo, sabiendo que la mayoría de los árboles emergentes alcanzan alrededor de



35 metros, difícilmente podría incurrir en grandes errores en el momento de la medición.

En resumen, se puede decir que la determinación de alturas es lo suficientemente precisa para los fines que se persiguen, aun cuando pequeños errores podrían ser cometidos, debido ya sea a una falsa estimación de la cubierta vegetal inferior, al exceso de sombras en las áreas descubiertas, a un mal revelado del tope de los árboles o a las variaciones en la topografía.

El uso de la densidad como variable

Se ha dicho ya que la densidad del rodal, junto con la altura, es una de las variables más obviamente relacionadas con el volumen, sin embargo hasta ahora no había sido utilizada en bosques tropicales, asumiéndose que siempre debía permanecer constante. Esta afirmación es cierta si se considera la vegetación en su totalidad, como cubriendo completamente la superficie del suelo, pero basta una ligera observación de un bosque de crecimiento secundario para darse cuenta que, a diferencia del bosque climax, donde las copas presentan una utilización más completa del espacio (4), los árboles no alcanzan todos un mismo nivel, si no que por el contrario se encuentran ordenados por estratos que pueden ser fácilmente distinguidos en las fotografías aéreas, especialmente de escala grande.

En estos estratos fue que se puso atención al determinar las densidades, y el método que se siguió ya ha sido descrito en páginas anteriores, aunque podría agregarse que se encontró ser una buena práctica el hacer esquemas, a escala aumentada, de las copas dentro de la pequeña área a ser medida, las cuales se numeraban de acuerdo a la clase de

altura que les correspondía. Era más fácil contar así el número de puntos que caía en cada estrato.

Es necesario aclarar que al analizar las correlaciones en que interviene la densidad, así como al trazar las líneas de regresión, se ha ido muy lejos al dar a estas densidades porcentajes en números fijos, en vez de utilizar clases de determinada amplitud; este último sistema sería más correcto, ya que aun después de dividir el bosque en áreas homogéneas, se encontrarían pequeñas diferencias en la lectura de dos puntos de la misma división. Se justifica sin embargo el método puesto en práctica ya que las miras eran determinar la tendencia en la variación del volumen al variar la densidad. Sin lugar a dudas, de llegar a utilizarse este sistema, la agrupación de la densidad en clases sería un punto a tenerse en cuenta y al hacerse los estudios de correlación un número mayor de muestras sería necesario.

Es probable también que de tenerse un criterio fijo al hacerse la división del bosque, en este caso la densidad y en especial la del dosel superior, los resultados mejorarían notablemente reduciéndose las variaciones que dentro de una división podrían encontrarse.

Como sistema, aparte de las ventajas ya enunciadas por Gingrich y Meyer (pág. 7), la densidad como variable sería más factible de utilizarse en bosques secundarios tropicales, por el hecho de que no es necesario individualizar el árbol, tarea difícil y en la que se cometen serios errores al tomarse como una copa lo que en la realidad es un grupo de árboles estrechamente unidos.

Posibilidades en la estimación de volumen

Habiéndose correlacionado con éxito la densidad de los árboles del

dosel superior con su volumen, habría la posibilidad de estimar esta última variable a través de un buen estudio de las fotografías aéreas.

La densidad es una indicación del número de árboles o de las dimensiones de éstos, características que son las que en última instancia influyen sobre el volumen del rodal. La densidad como indicadora del número de árboles es obvia y en cuanto a su asociación con las dimensiones del árbol, parece una buena indicación la existencia de una correlación entre el diámetro de la copa y el D.A.P., encontrada en varios estudios, debido a que en cierto modo, el diámetro de la copa es un factor de densidad y el D.A.P. lo es del volumen.

El reducido número de especies en el estrato superior (31-40 metros) ha influido sin duda en lo estrecho de la correlación, ya que ésta no se ve influenciada por la variación que habría, de existir muchas especies con diferentes hábitos de crecimiento.

Un hecho que llama la atención al observar el Gráfico Nº 1 (pág.24) es la dispersión del punto que representa la parcela Nº 9 ($x = 35$; $y = 37.252$) con respecto a la línea de regresión; tratando de buscar una explicación, se encontró que el dosel de 31 a 40 metros estaba representado únicamente por un árbol de Ceiba pentandra con un volumen por sí solo superior al de la mayoría de las parcelas y que a pesar de tener una copa muy grande, al medirse la densidad muchos puntos caían fuera de ella, correspondiendo por lo tanto a una relativamente baja densidad, un gran volumen.

La pretensión de encontrar los volúmenes en forma independiente para cada dosel, tuvo que ser dejada de lado al obtenerse un coeficiente de correlación $r = 0.138$ entre densidad y volumen de los árboles del segundo estrato. Este valor tan bajo puede explicarse por el hecho de

que las copas del dosel dominante impiden hacer una lectura correcta de la densidad del estrato inmediato inferior. Para comprender el tipo de error que en estas circunstancias se comete, bastaría imaginar dos masas boscosas iguales en su segundo estrato y que por estar bajo cubiertas diferentes, aparecen al momento de hacer la lectura, con diferencias en su densidad.

La única solución aparentemente posible para obtener el volumen total, era tratar de buscar una asociación entre una variable que se pudiese obtener directa o indirectamente y el valor que se deseaba. Esto condujo, de acuerdo a otros estudios (12), a buscar una relación entre el volumen de los árboles del estrato superior y el volumen total.

El coeficiente 0.806 indica una muy buena asociación entre esas dos variables, lo cual hace suponer que existe la posibilidad de estimar en forma indirecta el volumen total.

Cuando se dice que al incrementarse el volumen del dosel superior en un metro cúbico, el volumen total aumenta 0.756 metros cúbicos, aparentemente hay una contradicción, ya que en este último está incluido el volumen del dosel superior, pero se debe suponer como es lógico, que existe una disminución en los árboles de los estratos inferiores, a medida que los dominantes se hacen más numerosos; esto puede ser debido ya sea a la muerte de algunos árboles al ser cubiertos por otros mayores o a que algunos individuos que forman parte del segundo estrato pasan a formar parte del estrato dominante.

En el Gráfico Nº 2 (pág. 25) se puede ver que el volumen total disminuiría hasta 18.265 metros cúbicos cuando la línea de regresión corta al eje de las "ies", es decir cuando el volumen en el dosel superior se hace igual a cero. En parcelas en que no existía un estrato de 31 a 40

metros, se encontró en el estudio, volúmenes desde 9.218 hasta 22.089 metros cúbicos.

Una pregunta que no puede dejarse de hacer al concluir estos análisis, es hasta donde ha influido en las correlaciones el hecho de haber existido una explotación, aunque aparentemente limitada, dentro del bosque. Sin pretender dar una respuesta definitiva, se puede indicar que no ha afectado de ningún modo la determinación del volumen del dosel superior, ya que la eliminación de un árbol modifica tanto la densidad como el volumen, y que la asociación entre el volumen del dosel superior y el volumen total sufriría sólo ligeras variaciones, toda vez que es el volumen de los árboles mayores el que más influye sobre el total.

Con un perfeccionamiento en las técnicas de medición, el sistema podría ser utilizado con éxito en la estimación del volumen en bosques de crecimiento secundario, recomendándose, como sugieren algunos autores (10, 17), ajustar los resultados con un control en el terreno. No obstante, más estudios en los que se realice un muestreo más intenso, serán necesarios antes de poder adoptarse definitivamente.

El interrogante de hasta donde una tabla de volúmenes basada en el método descrito podría extenderse de un bosque a otro, es difícil de responder. Sería aventurado pretender que abarcara sin limitaciones a todo bosque secundario de la misma formación vegetal, ya que debemos tener en cuenta que la sucesión puede llegar a los 150 ó 200 años y que su curso depende en parte de características intrínsecas del suelo y de la historia misma del terreno desde la destrucción del bosque original. Debemos recordar en suma, que la sucesión secundaria es un cambiar constante, es la evolución de un ecosistema inestable a otro estable (18).

RESUMEN

El presente trabajo constituye un estudio sobre la posibilidad de realizar inventarios forestales en bosques tropicales de origen secundario usando técnicas fotogramétricas.

Se emplearon fotografías aéreas a escala aproximada 1:10,000. El bosque estudiado es secundario de la formación bosque subtropical muy húmedo, en Turrialba, Costa Rica, de 600 a 787 metros de elevación. Se dividió en áreas aparentemente homogéneas, teniendo en cuenta especialmente las variaciones en altura, densidad y número de estratos. Se hizo un inventario en el campo mediante 21 parcelas de muestreo.

Usando el método de la diferencia de paralaje se encontró factible agrupar los árboles en estratos de 10 en 10 metros de altura, con suficiente precisión especialmente en los del dosel superior, y medir las densidades en porcentaje, en forma independiente para cada estrato.

Se encontró que existe una correlación altamente significativa ($r = 0.748$) entre la densidad de los árboles del estrato de 31 a 40 metros, medida en las fotografías, y su volumen medido en el campo.

Se obtuvo un coeficiente de correlación muy bajo ($r = 0.138$) entre la densidad y el volumen de los árboles del estrato de 21 a 30 metros, por lo que se descartó la posibilidad de obtener los volúmenes en forma independiente para cada uno de los estratos inferiores.

La única solución aparentemente posible para llegar al

volumen total fue tratar de buscar una asociación entre una variable que se pudiese obtener directa o indirectamente y el valor que se deseaba.

A tal efecto, se determinó que entre el volumen de los árboles del estrato de 31 a 40 metros y el volumen total, hay una estrecha correlación indicada por un valor de $r = 0.806$ y que por cada metro cúbico de incremento en los árboles del dosel superior, el volumen total aumentaría 0.7563 metros cúbicos. La fórmula de regresión encontrada fue: $\hat{y} = 18.265 + 0.756307x$.

Se sugiere la posibilidad de utilizar este método en la determinación del volumen en bosques de crecimiento secundario, recomendándose ajustar los resultados con un control en el terreno.



SUMMARY

The present work constitutes a study on the possibility of realizing forest inventories in tropical forests of secondary origin, using photogrammetric techniques.

Aerial photographs of an approximate scale of 1:10,000 were used. The secondary forest studied belongs to the subtropical wet forest in Turrialba, Costa Rica between 600 and 787 meters elevation. The forest was divided into homogeneous areas, using variations in height, density and number of strata as differentiating characters. An inventory in the field was made for 21 sample plots.

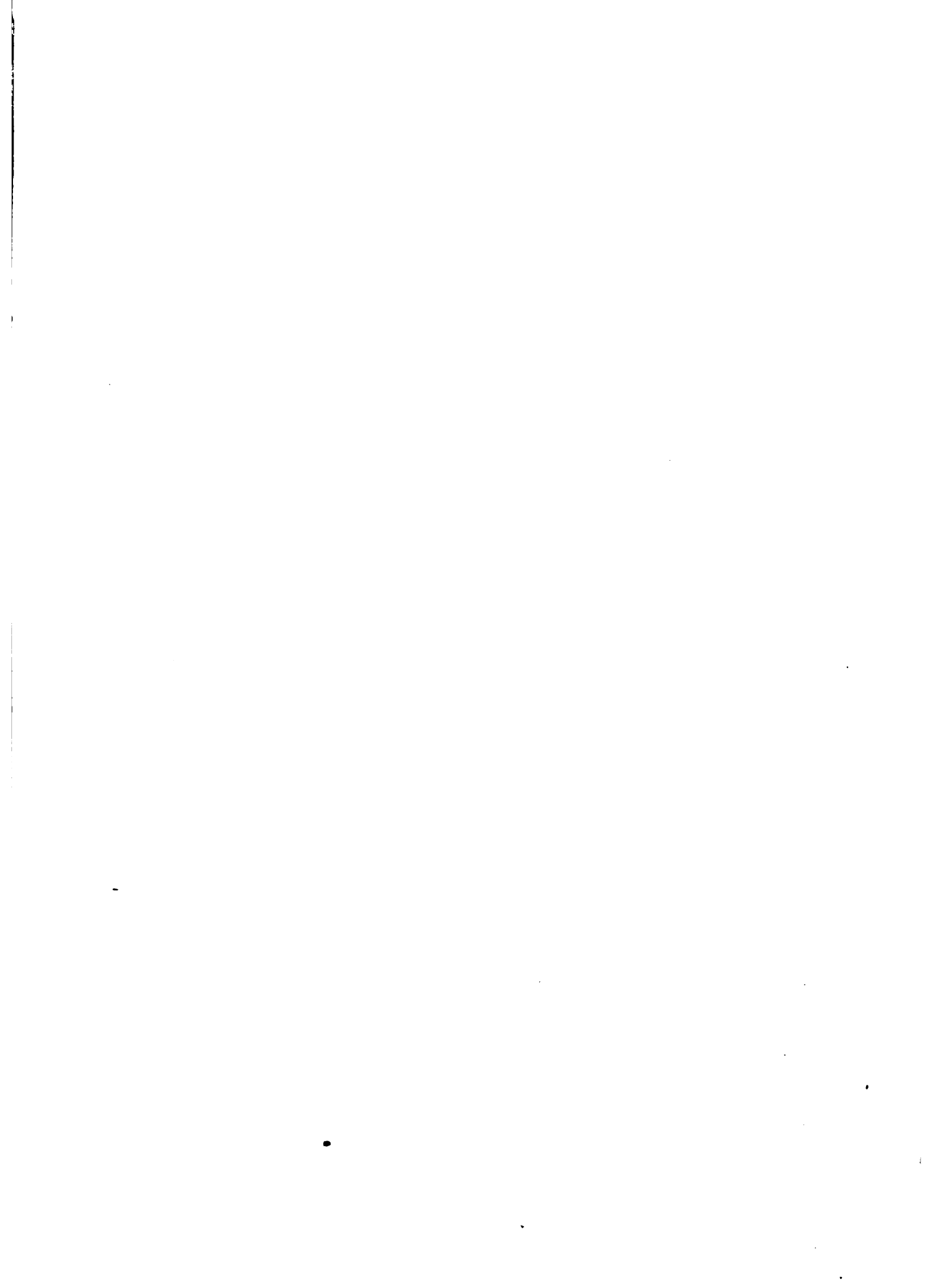
Using the parallax difference method it was possible to classify the trees into strata of 10 meters with reasonable precision, especially those of the upper canopy. The density in per cent was also measured for each stratum. A highly significant correlation ($r = 0.748$) was found between the density of the trees of the stratum of 31-40 meters, as measured in the photographs, and the volume as measured in the field.

A very low correlation coefficient ($r = 0.138$) was obtained for the density and the volume of the trees of the stratum between 21-30 meters which made the possibility of obtaining good volume estimates for each of the lower strata highly improbable.

Apparently the only possible solution to obtain a total volume was to look for an association between a variable to be obtained directly or indirectly and the value desired. With this purpose in mind, it was determined that for the volume of the trees of the stratum of 31 to 40 meters and the total volume

there was a close correlation indicated by a value of $r = 0.806$ and that for each cubic meter of increment for the trees of the upper stratum, the total volume increased 0.7563 cubic meters. The regression formula was $\hat{y} = 18.265 + 0.756307x$.

It can be suggested that this method be used in the determination of the volume of secondary forests with adequate field checking.



LITERATURA CITADA

1. AVERY, G. Forester's guide to aerial photo-interpretation. Southern Forest Experiment Station. Occasional Paper No 156. 1957. 41 p.
2. _____ Composite aerial volume table for southern pines and hardwoods. Journal of Forestry 56(10):741-745. 1958.
3. BOON, D. A. Recent development in photo-interpretation of tropical forests. Photogrammetria 12(1):382-86. 1955/56.
4. BUDOWSKI, G. Studies on forest succession in Costa Rica and Panama. Ph. D. Dissertation. New Haven, Connecticut, Yale University, 1961. 189 p.
5. _____ & SCHREUDER, G. The climate at Turrialba. Turrialba, Costa Rica, 1961. 36 p. (Communications from Turrialba No 68).
6. CALZADA BENZA, J. Experimentación agrícola con aplicación a la ganadería. Lima, Perú, Ediciones Agro-Ganaderas, S. A., 1953. 360 p.
7. DONDOLI, C. & TORRES, J. A. Estudio geagrónómico de la región oriental de la meseta central. Ministerio de Agricultura e Industrias, San José, Costa Rica, 1954. 180 p.
8. FERREE, M. J. Estimating timber volumes from aerial photographs. In: Spurr, S. H. Photogrammetry and photo-interpretation; with a section on applications to forestry. Second edition of: Aerial photographs in forestry. New York, The Ronald Press Company, 1960. 472 p.
9. FRANCIS, D. A. Empleo de las fotografías aéreas en los bosques tropicales. Unasyva 11(3):107-14. 1957.
10. GINGRICH, S. F. & MEYER, H. A. Construction of an aerial stand volume table for upland oak. Forest Science 1(2):140-47. 1955.
11. HEINSDIJK, D. Forest type mapping with the help of aerial photographs in the tropics. Tropical Woods 102:27-46. 1955.
12. _____ The upper story of tropical forests. Tropical Woods 107:66-84. 1957. 108:31-45. 1958.
13. HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formations from simple climatic data. Science 105(2727):367-68. 1947.



14. HOLLERWÖGER, F. Is there a correlation in the teak forests between crown diameter and the height of the trees with regard to the diameter at breast height? *Journal of Scientific Research in Indonesia*. Djakarta 3(1):3-20. 1954. (Original no disponible; resumido en *Forestry Abstracts* 16(3):400-01. 1955).
15. JAARVERSLAG 1957. Paramaribo, Surinam, Dienst Landsbosbeheer, 1958. 90 p. Apéndice.
16. LOETSCH, F. A forest inventory in Thailand. *Unasyuva*. 11(4):174-80. 1957.
17. MEYER, H. A. & WORLEY, D. P. Volume determinations from aerial stand volume tables and their accuracy. *Journal of Forestry* 55(5):368-72. 1957.
18. RICHARDS, P. W. *The tropical rain forest. An ecological study.* Cambridge, The University Press, 1952. 450 p.
19. ROSAYRO, R. A. de The application of aerial photography to stock-mapping and inventories on an ecological basis in rain forest in Ceylon. *The Empire Forestry Review* 38(2):141-74. 1959.
20. SPURR, S. H. *Photogrammetry and photo-interpretation; with a section on applications to forestry.* Second edition of: *Aerial photographs in forestry.* New York, The Ronald Press Company. 1960. 472 p.
21. SWELLENGREBEL, E. J. G. On the value of large scale aerial photographs in British Guiana forestry. *The Empire Forestry Review* 38(1):54-64. 1959.
22. WILSON, R. C. *Aerial photo techniques - area classification in the Southeastern region.* Paper prepared for Forest Survey Techniques Conference, Harvard Forest, Mass., May 20-31. 1946. 14 p.



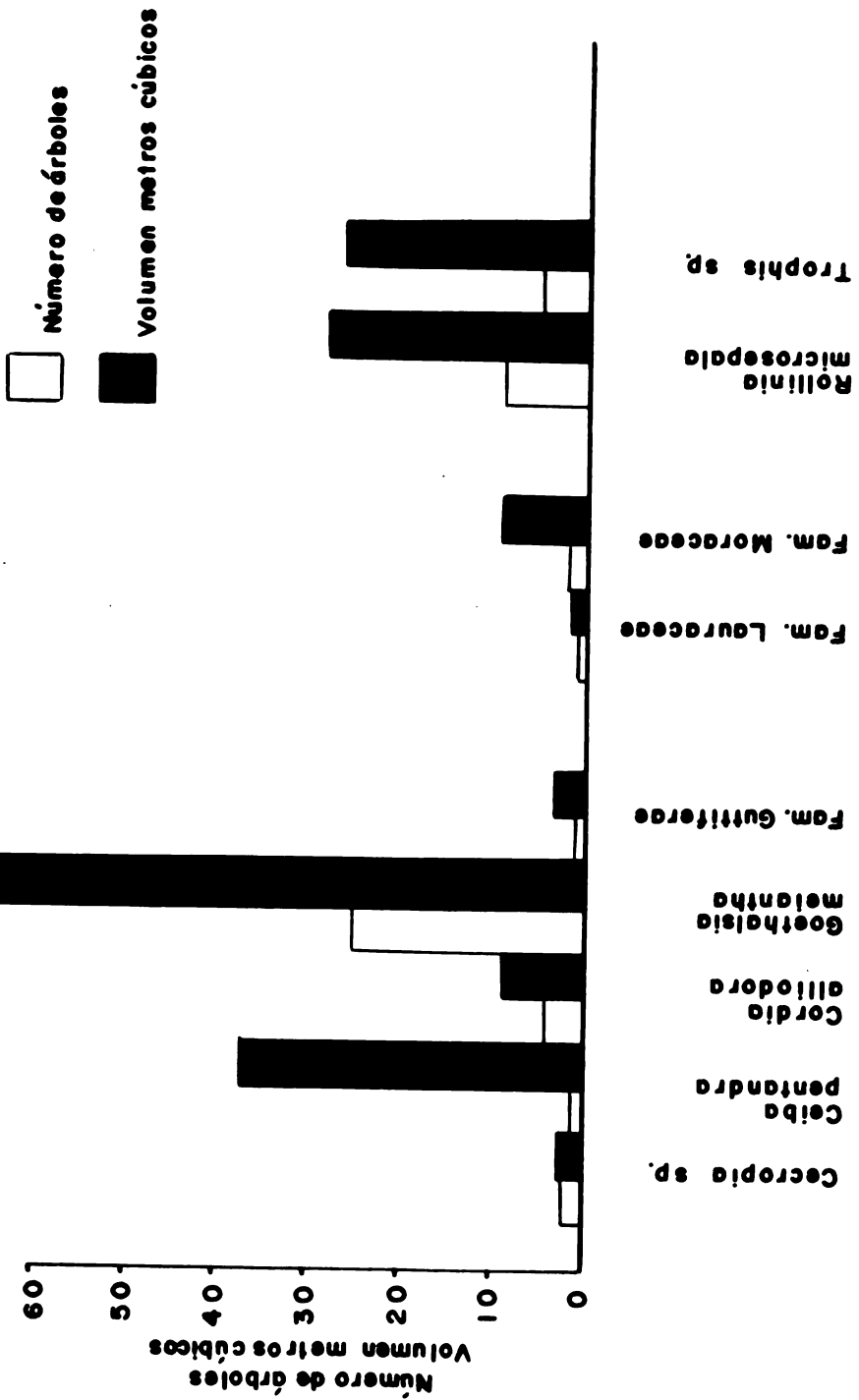
APENDICE

Número de árboles y volumen en metros cúbicos por especies
(o familias) según el estrato en que se encuentran.

Especie (o familia)	Estratos						Total	
	I		II		III			
	Número árboles	Volumen	Número árboles	Volumen	Número árboles	Volumen		Número árboles
<u>Cecropia</u> sp.	2	2.361	39	27.263	7	2.182	48	31.806
<u>Ceiba</u> pentandra	1	37.252	2	6.081	2	0.389	5	43.722
<u>Cordia</u> alliodora	4	8.759	8	13.753	2	0.853	14	23.365
<u>Goethalsia</u> meiantha	25	68.445	37	43.757	26	7.667	88	119.869
<u>Inga</u> spp.	--	--	14	10.448	59	17.594	73	28.042
<u>Pourouma</u> sp.	--	--	12	13.712	20	6.689	32	20.401
<u>Rollinia</u> microsepala	9	28.008	22	32.730	18	7.395	49	68.133
<u>Trophis</u> sp.	5	26.164	6	8.088	22	6.214	33	40.466
<u>Virola</u> spp.	--	--	13	11.906	25	7.395	38	19.301
fam. Guttiferae	1	3.369	5	5.502	7	2.071	13	10.942
fam. Lauraceae	1	1.666	16	14.822	28	8.013	45	24.501
fam. Moraceae	2	9.242	1	0.923	2	0.811	5	10.976
Otras	--	--	24	22.553	57	14.338	81	36.891
Total	50	185.266	199	211.538	275	81.611	524	478.415



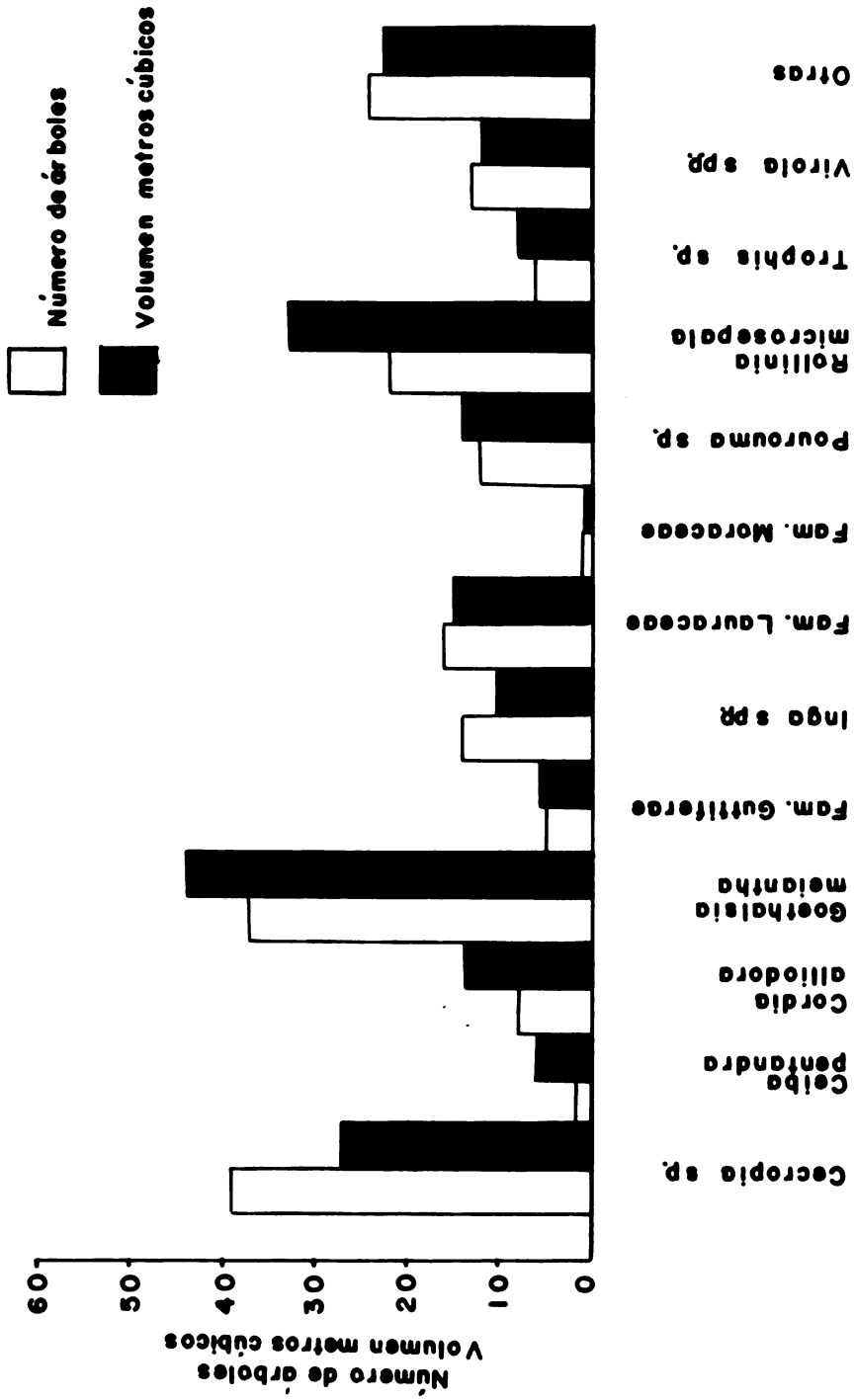
**Estrato I
(31-40mts.)**



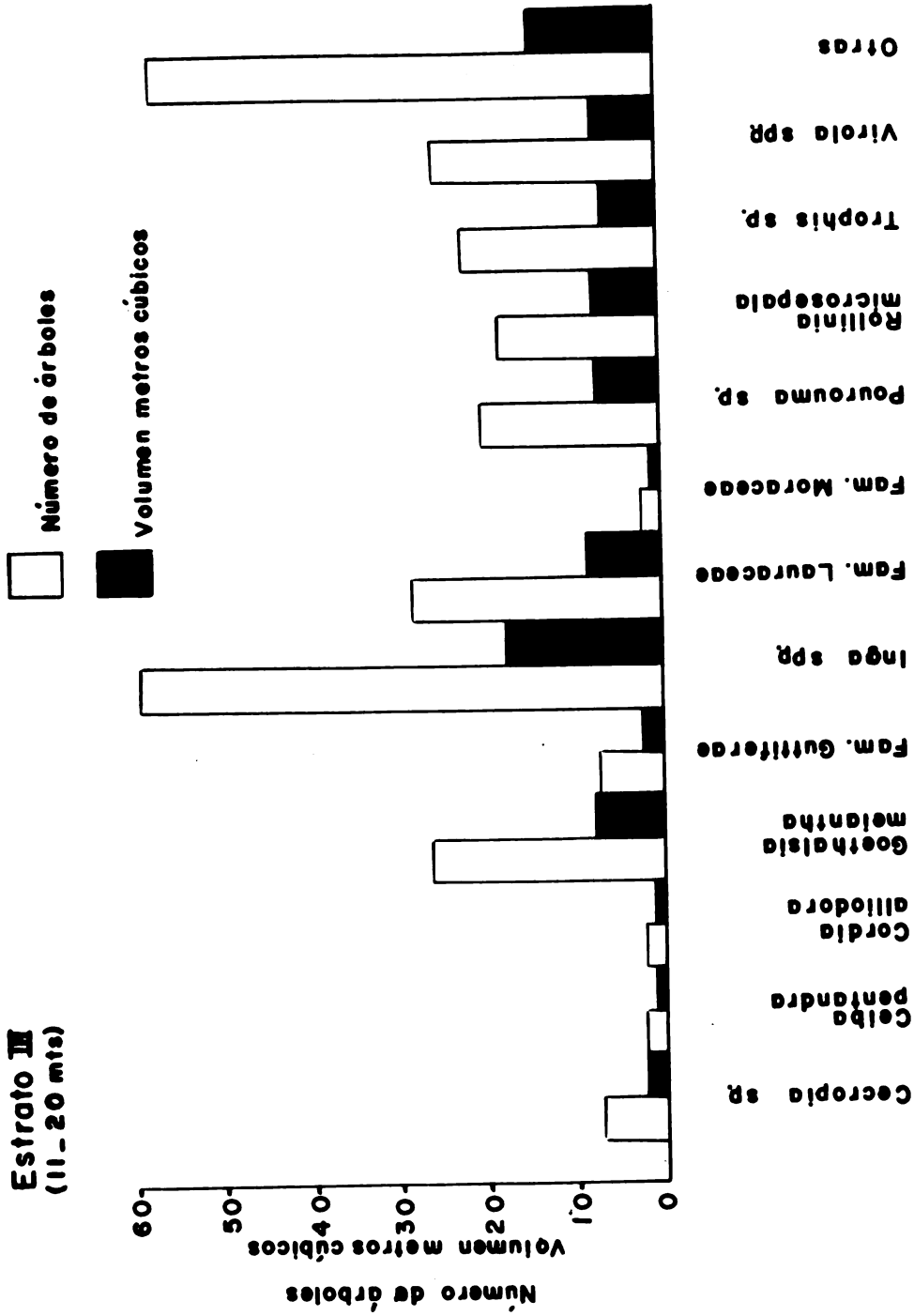
Distribución de frecuencia en número de árboles y volumen en metros cúbicos, por especies (o familias), en el estrato I(31-40 metros).



**Estrato II
(21-30 mts)**



Distribución de frecuencia en número de árboles y volumen en metros cúbicos, por especies (o familias), en el estrato II(21-30 metros).



Distribución de frecuencia en número de árboles y volumen en metros cúbicos, por especies (o familias), en el estrato III(11-20 metros).



NUMERO DE ARBOLES Y VOLUMEN EN METROS CUBICOS POR ESPECIES
(O FAMILIAS) EN LAS PARCELAS DE MUESTRO

ESPECIES	PARCELA 1		PARCELA 2		PARCELA 3		PARCELA 4		PARCELA 5		PARCELA 6		PARCELA 7		PARCELA 8		PARCELA 9		PARCELA 10		PARCELA 11		
	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	No Arbo.	Volu. m ³	
<i>Brosimum</i> sp.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Casahuate</i>	--	1 0.267	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4 1.865	1 0.769	1 0.769	1 0.769	1 0.769	1 0.769	1 0.769	1 0.177
<i>Cordia</i> sp.	--	2 1.708	--	6 5.177	4 2.921	--	5 2.771	3 1.079	3 3.464	3 2.671	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Crataegus</i>	--	1 0.228	--	--	1 1.106	--	--	--	1 37.252	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Cordia alliodora</i>	2 2.011	--	2 2.478	1 1.947	4 7.867	--	--	1 1.798	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Cordia</i> sp.	--	1 0.136	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Berberis</i> sp.	--	--	--	--	2 0.413	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Coccoloba molle</i>	--	--	--	--	1 1.824	24 43.734	4 4.946	1 1.781	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2 5.174	8 12.957	--
<i>Quercus</i> sp.	1 0.368	--	--	1 0.660	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Alnus</i> sp.	6 2.748	5 1.555	14 5.765	5 2.623	1 0.251	1 0.132	6 4.042	8 2.473	2 0.328	5 1.208	4 1.116	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Lochner</i>	--	--	1 0.153	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1 2.944	--	--	--	--	--	--	--
<i>Coburnia</i>	--	--	--	--	3 1.088	--	--	--	--	1 0.254	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Passiflora</i> sp.	--	--	--	1 0.531	1 0.323	--	5 2.349	3 5.270	1 1.987	--	2 0.273	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Malvaceae</i>	2 1.009	10 25.411	--	2 1.058	--	--	--	4 8.617	1 0.769	1 0.227	4 7.369	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Simarouba</i>	--	--	--	1 0.478	--	--	1 1.343	--	--	2 2.846	1 0.242	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Stemmadia</i>	1 0.241	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Trochilium</i> sp.	--	1 0.124	--	2 10.065	--	--	2 0.416	4 1.267	3 1.174	2 8.831	2 0.832	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Yarela</i> sp.	--	3 0.695	--	1 1.005	--	--	3 1.709	3 0.642	3 1.545	3 1.641	7 5.073	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Yarela</i> sp.	1 0.142	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Samolium</i> sp.	1 1.990	--	--	--	--	--	2 1.452	1 0.141	2 0.890	6 4.590	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
?	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
?	--	--	--	--	--	--	1 0.277	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
?	2 0.752	--	3 0.222	--	1 0.283	--	1 1.005	2 1.061	--	4 3.840	5 3.917	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
?	1 0.584	1 0.204	--	--	--	--	1 1.085	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
?	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
?	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
TOTALES POR PARCELA	17	9.845	25	30.328	20	9.218	22	24.439	18	16.076	25	43.866	31	21.395	30	22.089	21	52.218	30	32.031	34	30.256	--

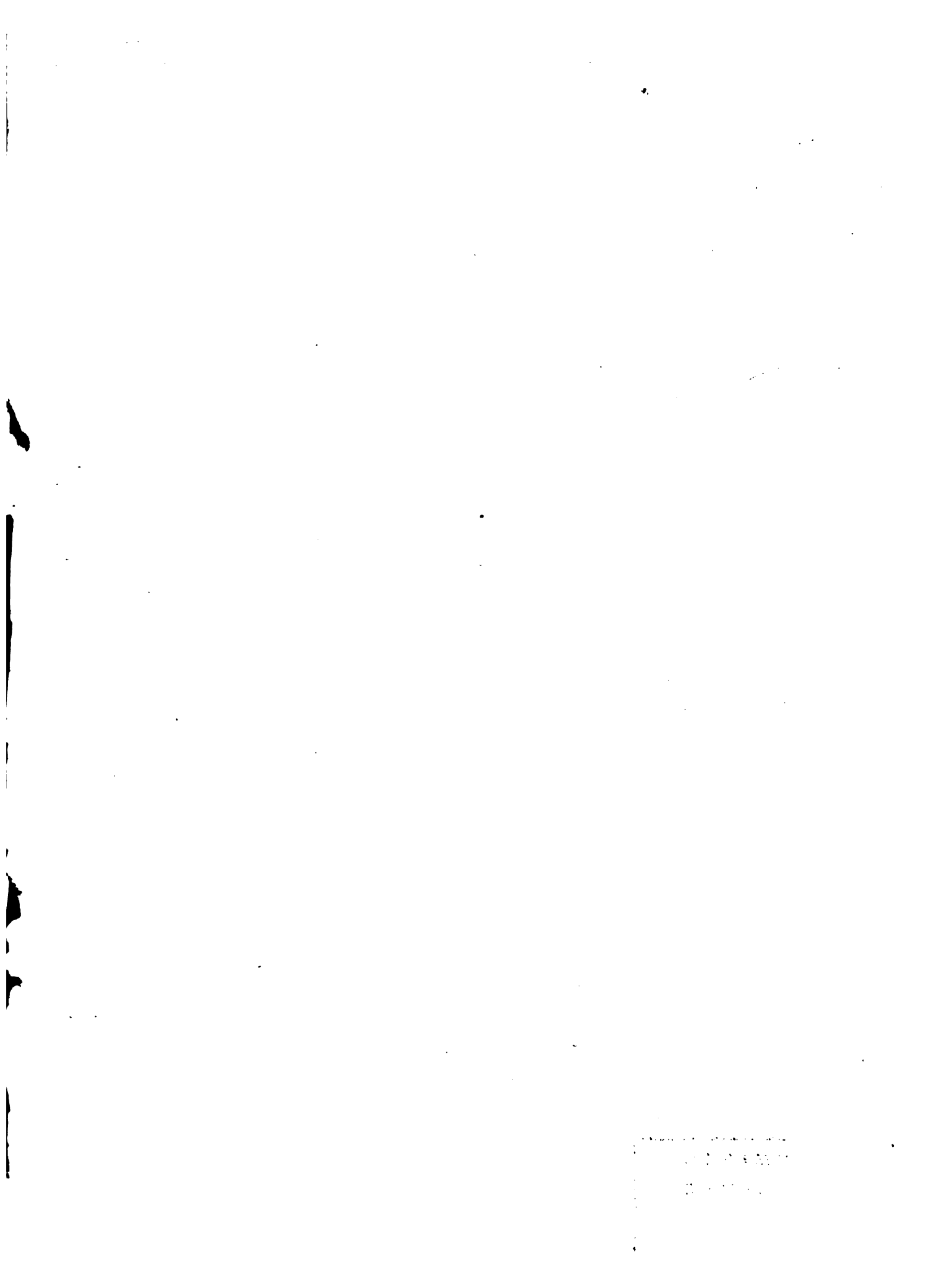


CONTINUACION

ESPECIE	FAMILIA	PARCELA 12		PARCELA 13		PARCELA 14		PARCELA 15		PARCELA 16		PARCELA 17		PARCELA 18		PARCELA 19		PARCELA 20		PARCELA 21		TOTAL POR ESPECIE (o familia)	
		No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.	No. Vols- Arbo.		No. Vols- Arbo.
<i>Brotium</i> sp.	Moraceae	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.191	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.191
<i>Canthia alantica</i>	Moraceae	1	1.069	2	0.785	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.314	--	--	--	--	--	--	11	5.246
<i>Canthia</i> sp.	Moraceae	4	2.496	5	2.798	4	1.336	3	1.242	2	1.085	2	1.322	2	0.936	--	--	--	--	--	--	48	31.506
<i>Canthia</i> sp.	Bombacaceae	1	4.975	1	0.161	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	5	43.722
<i>Canthia</i> sp.	Burseraceae	2	2.468	--	--	--	--	--	--	1	2.177	1	2.139	--	--	--	--	--	--	--	--	14	23.365
<i>Canthia</i> sp.	Burseraceae	--	--	--	--	4	1.226	1	0.415	--	--	--	--	1	0.277	--	--	--	--	--	--	7	2.054
<i>Canthia</i> sp.	Papilionaceae	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	0.413
<i>Canthia</i> sp.	Tiliaceae	9	9.306	3	6.363	2	4.903	--	--	1	0.494	--	--	4	7.651	--	--	10	14.699	17	5.092	88	119.869
<i>Canthia</i> sp.	Mollisaceae	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	1.028
<i>Canthia</i> sp.	Mimosaceae	1	0.314	4	1.227	--	--	2	0.501	1	0.883	6	2.424	1	0.227	1	0.225	--	--	--	--	73	28.042
<i>Canthia</i> sp.	Tiliaceae	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	3.097
<i>Canthia</i> sp.	Bombacaceae	--	--	1	0.147	--	--	--	--	--	--	2	0.374	--	--	--	--	--	--	--	--	7	1.863
<i>Canthia</i> sp.	Moraceae	3	2.065	3	0.697	2	1.501	3	1.061	1	0.227	4	3.542	1	0.312	2	1.963	--	--	--	--	32	20.401
<i>Canthia</i> sp.	Asteraceae	1	2.688	1	0.191	4	4.982	8	6.087	--	--	2	2.506	3	4.431	--	--	--	--	6	2.788	49	68.133
<i>Canthia</i> sp.	Simarubaceae	--	--	--	--	1	0.294	1	0.132	2	0.432	--	--	--	--	2	0.897	1	0.361	--	--	12	6.945
<i>Canthia</i> sp.	Asteraceae	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.241
<i>Canthia</i> sp.	Moraceae	1	0.715	6	6.356	--	--	--	--	2	0.663	3	3.117	2	0.407	2	6.264	1	0.235	--	--	33	40.466
<i>Canthia</i> sp.	Pyriaceae	4	3.211	2	1.876	--	--	2	0.602	4	2.040	--	--	--	2	1.138	--	--	1	0.124	38	19.301	
<i>Canthia</i> sp.	Verbenaceae	--	--	--	--	--	--	1	0.399	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	0.541
<i>Canthia</i> sp.	Rutaceae	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12	9.063
<i>Canthia</i> sp.	Asteraceae	--	--	--	3	0.823	--	--	--	--	--	--	--	2	0.312	5	1.222	--	--	--	--	10	2.399
<i>Canthia</i> sp.	Onitidaceae	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.283	--	--	--	11	10.382	--	--	--	--	--	13	10.942
<i>Canthia</i> sp.	Lastraceae	3	3.256	3	0.942	3	1.032	3	0.741	9	5.390	--	--	1	0.141	1	0.374	1	0.151	3	0.794	45	24.501
<i>Canthia</i> sp.	Leguminosae	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3	1.873
<i>Canthia</i> sp.	Melastomaceae	--	--	--	--	3	0.711	4	0.585	--	--	--	--	2	0.681	--	--	--	--	--	--	9	1.977
<i>Canthia</i> sp.	Moraceae	--	--	--	--	--	--	--	--	4	10.825	--	--	1	0.151	--	--	--	--	--	--	5	10.976
TOTAL POR PARCELA		30	33.063	31	21.343	26	16.770	28	11.765	29	25.490	20	15.444	18	15.068	29	23.287	13	15.446	27	3.798	524	478.415

**DOCUMENTO
MICROFILMADO**

Fecha:



Date Due

15 NOV. 1976		
27 NOV. 1976		
11 DIC. 1976	18 ENE 1996	
28 DIC. 1976	DEVUELTO	
11 ENE. 1977	10 NOV 1995	
26 ENE. 1977	24 NOV 1995	
-9 FEB. 1977	1 DIC 1995	
23 FEB. 1977	02 ENE 1996	
-9 MAR. 1977	31 ENE 1996	
24 MAR. 1977	P. INTERNO	
-7 ABR. 1977	14 FEB. 1996	
IBM		
SEP 30 1981		
27 MAY 1982		
IBM		
DEVUELTO		

75

DOCUMENTO
MICROFILMADO

Fecha:

Thesis
I99

17462

IZQUIERDO, J.E.
Las fotografias aéreas
en la estimación del
volumen de...

DATE	ISSUED TO
188 OCT-1	188 APR-7
188 OCT-16	150 MAY-18
188 OCT-30	150 APR-19
188 NOV-15	188 JAN-17
	SEP 20 1991

Thesis
.I99

17462

