

// **GUAYABO (*Psidium guajava* L) ASOCIADO CON PASTOS  
MÉTODOS DE ANÁLISIS VOLUMÉTRICO Y POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE LEÑA**

✓  
**Eduardo Somarriba**

El trabajo de campo de esta investigación fue financiado por el Proyecto UNU-CATIE y su reproducción por el Programa Suizo de Cooperación para el Desarrollo, DDA, por medio de INFORAT: Información y Documentación Forestal para América Tropical.

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE  
Departamento de Recursos Naturales Renovables  
Turrialba Costa Rica, 1982**

SOLARRIBA, E\*. Guayabo (Psidium guajava L.) asociado con pastos; métodos de análisis volumétrico y potencial de producción de leña. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UNU, 1982. 38 p. 20 refs.

Resumen

Centro Internacional de  
Documentación e Información  
Agrícola

16 MAR 1983

C I C I A

Turrialba, Costa Rica

Se cosecharon un total de 53 árboles de guayaba (Psidium guajava L.) asociados con pastos y se determinaron sus volúmenes por xilometría y por peso-densidad de la madera. Se encontró que una combinación del área basal del tronco y de las primeras ramas permite explicar el 92.30% de la variación del volumen de los árboles según la ecuación  $Y = 0.28 AB + 1.06 ABr + 2.8$ . El método por peso-densidad produce una sobreestimación de apenas 1.08% sobre el volumen real y se recomienda por ser más operativo. La densidad seca y húmeda de la madera de guayaba es de 0.56 y 1.11 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. La relación entre volumen real/volumen apilado de leña de guayaba es de 0.44.

Summary

A total of 53 guava trees (Psidium guajava L.) growing in pastures were harvested. Their volumes were measured by xylometry and by weighing with density measurement of the wood. It was found that trunk basal area and basal area of the first branches are associated with 92.30% of the variance of the tree total volume ( $Y = 0.28 AB + 1.06 ABr + 2.85$ ). The weight-density method overestimates the real volume by only 1.08% and is therefore recommended because it is more practical. Dry and green wood densities are 0.58 and 1.11 g/cm<sup>3</sup> respectively. A ratio of 0.44 for real/staked wood volume was found.

\* Lic. Ecología. Estudiante graduado, Departamento de Recursos Naturales Renovables, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1982.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
Resumen .....	ii
Tabla de contenido .....	iii
1. Introducción .....	1
2. Características del sitio .....	1
3. Métodos .....	1
3.1 Establecimiento de parcelas, numeración y medición de árboles.. .....	2
3.2 Análisis diamétrico y programa de muestreo.....	2
3.3 Cosecha y volumetría de árboles.....	4
3.3.1 Xilometría .....	4
3.3.2 Volumetría por densidad específica y peso del árbol....	5
3.4 Procesamiento de datos .....	5
3.4.1 Regresiones para volumen.....	5
3.4.2 Comparación de métodos volumétricos.....	7
4. Resultados.....	7
4.1 Análisis diamétrico y programa de muestreo .....	7
4.2 Regresiones para volumen.....	10
4.3 Evaluación de métodos volumétricos.....	14
4.4 Resultados complementarios .....	17
4.4.1 Análisis dimensional.....	17
4.4.2 Índice de volumen apilado/real.....	17
5. Discusión.....	18
6. Conclusiones.....	19
Anexos .....	20
Bibliografía .....	32

## AGRADECIMIENTOS

Debo manifestar mi agradecimiento a la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) por el apoyo económico a esta investigación; al Ing. John Beer por el apoyo logístico y sus múltiples comentarios sobre el manuscrito; al Ing. Oscar Ferreiro por su colaboración en la cartografía y la medición inicial de los árboles de guayaba; a Paulo Dittel por su dedicada asistencia en el trabajo de campo y al Ing. John Palmer por la detallada revisión de la versión original.

No omito manifestar mi gratitud hacia Javier López del Centro de Computo del CATIE y a H.J. Palmer por el diseño de los programas de análisis de datos (DISFIT, SCATPLOT, MULTREG Y ESTIREG).

## 1. INTRODUCCION

Debido a que el concepto de sistemas agroforestales constituye la idea en boga dentro de las alternativas del uso de la tierra, es común encontrarse con opiniones demasiado bien intencionadas sobre las soluciones que dichos sistemas ofrecen para la planificación del uso de la tierra. Ante esto, se ha puesto en evidencia la necesidad de realizar evaluaciones cuantitativas de los costos y/o beneficios asociados a dichos sistemas (3) y de identificar los métodos apropiados para tales cuantificaciones. Las evaluaciones deben comenzar con aquellos aspectos de los sistemas agroforestales que son susceptibles de representaciones cuantitativas, centrándose la atención en los componentes arbóreos y en sus efectos inmediatos (2).

En el caso de las asociaciones de pastos con guayaba (*Psidium guajava* L.), la evaluación se logra cuantificando y haciendo un balance entre los beneficios derivados de la producción de frutas para alimento o forraje, leña, aceites esenciales y taninos, etc. y los costos de manejo de los árboles, control de colonización y reducción de la productividad de los pastos por el sombreado.

En este trabajo se evalúan dos métodos alternativos para el análisis volumétrico de los árboles de guayaba y se avanza en la cuantificación del potencial de producción de leña de las asociaciones pasto - guayaba en la zona de La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

## 2. CARACTERISTICAS DEL SITIO

El sitio de estudio se encuentra en una finca ganadera de la parte alta de la cuenca del río Quebrada Leona, La Suiza, Turrialba, Costa Rica a 1100 m de altitud entre las coordenadas 9° 52' Latitud Norte y 83° 37' Longitud Oeste. La finca se encuentra dentro de la zona de vida de bosque premontano muy húmedo (sensu Holdridge) y se caracteriza por una precipitación media anual de 3500 mm distribuidos a todo lo largo del año, con un período menos lluvioso de dos meses (Dic.-Enero). La temperatura media anual es de 19.78 ° C con pocas oscilaciones estacionales a lo largo del año. La topografía es fuertemente ondulada con pendientes de hasta un 60% y un promedio de 30% (15).

La finca tiene una extensión total de 80 ha dedicadas a la ganadería de carne, con una carga animal de 1.7 cabezas/ha. Los pastos principales son *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum* manejados en forma semi-tecnificada con herbicidas para el control de malezas de hoja ancha, incluyendo brinzales de guayaba, y rotación de pastoreo.

## 3. METODOS

La secuencia general de operaciones llevadas a cabo en éste estudio se inician con el establecimiento de las parcelas y numeración de los árboles, mediciones del diámetro de todos los individuos incluidos en las parcelas, análisis de las distribuciones diamétricas y selección de árboles para muestreo, cosecha de árboles

y determinaciones del volumen y finalmente, procesamiento de datos.

### 3.1 ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS, NUMERACION Y MEDICION DE ARBOLES

Se seleccionó, cuadrículó y mapeó un área de 0.64 ha conteniendo árboles agrupados en densidades variables y se establecieron un total de 17 parcelas adyacentes (15 de 20 x 20 m y 2 de 10 x 20 m) orientadas NO-SE siguiendo la dirección de la pendiente. Las parcelas se numeraron partiendo del extremo inferior izquierdo del plano general de la cuadrícula, progresando en dirección SE sobre la primer hilera de parcelas y continuando la numeración en la hilera adyacente sin regresar al extremo NO del plano general. De este modo se completaron un total de 4 hileras de parcelas (Fig. 1).

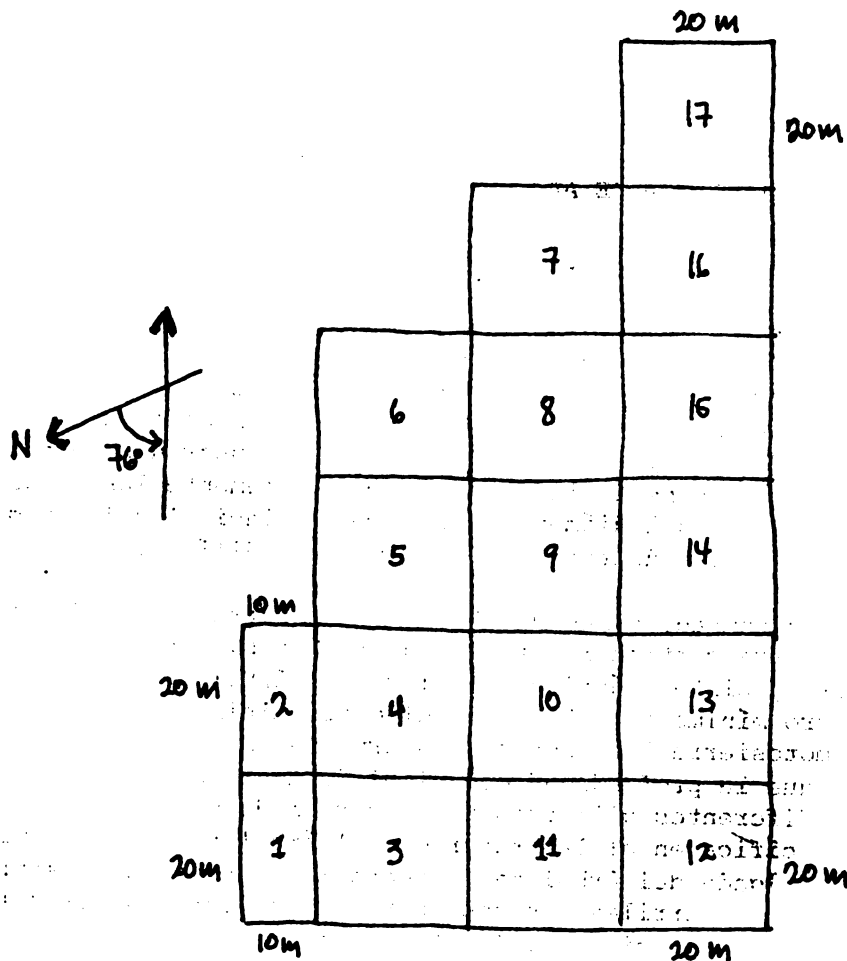
Dentro de cada parcela, los árboles se ubican y numeran consecutivamente por un sistema de coordenadas cartesianas con origen en el extremo inferior izquierdo de cada parcela, progresando sobre el eje OY del cuadrante. Para caracterizar el tamaño de cada árbol mapeado, se mide el diámetro del tronco a 10 cm de altura sobre el suelo y se marca con una placa de aluminio clavada al tronco con clavos de hierro que indican el número de la parcela y el número del árbol dentro de la parcela. Las coordenadas y el diámetro de cada árbol aparecen sólo en la libreta de campo, en la que los individuos medidos se numeran consecutivamente siguiendo el orden de las cuadrículas para facilitar el control y procesamiento de datos.

### 3.2 ANALISIS DIAMETRICO Y PROGRAMA DE MUESTREO

Se listan todos los datos de diámetros y se prueban estadísticamente las distribuciones de frecuencia que resultan de agrupamientos en clases diamétricas con intervalos diferentes y se selecciona la distribución de frecuencias con mejor ajuste a una distribución teórica normal\*. En base a esta distribución se elabora un programa de muestreo que incluye árboles de todos los tamaños, escogidos al azar de todas las clases diamétricas.

Se parte de una distribución con datos no agrupados y posteriormente se construyen clases diamétricas sucesivamente mayores, partiendo de un intervalo de 2.0 cm hasta intervalos de 8.0 cm., aumentando en 1.0 cm por vez. Cada intervalo de clase (i = 2, 3 ..... 8) produce una distribución de frecuencias, para la que se calcula, a través de una prueba de chi cuadrado, el ajuste a una distribución teórica normal. Con la distribución seleccionada se asignan a cada clase los números de árboles cuyos diámetros corresponden al rango de clase y se selecciona al azar un número total de 53 árboles para cosecha considerando una intensidad constante de muestreo en todas las clases diamétricas. De este modo estimamos con mayor exactitud el volumen de los individuos más comunes y representativos del sitio de estudio.

\* Este y todos los programas de computo utilizados en este trabajo se enlistan en los agradecimientos.



Parcela	Nº árboles	AB m <sup>2</sup> /ha
1	8	0,8005
2	5	0,4283
3	12	1,3277
4	10	1,1990
5	12	1,6739
6	16	1,9739
7	10	2,3266
8	6	1,0938
9	4	0,9136
10	11	1,3965
11	15	1,6839
12	6	1,2044
13	3	0,6687
14	10	0,7723
15	17	1,7628
16	8	1,4074
17	16	2,0757
Promedio	10,40	1,4319

Fig. 1. Plano general de las parcelas, número de árboles y área basal (m<sup>2</sup>) por parcela

### 3.3 COSECHA Y VOLUMETRIA DE ARBOLES

Los árboles seleccionados se ubican en el campo identificando el número de la parcela en que se encuentran y sus coordenadas dentro de cada parcela, se cortan a ras del suelo con motosierra y una vez tumbados se mide la longitud total, la longitud del tronco hasta la primera ramificación, el área basal de las ramas en la primera ramificación y el ancho de la copa. Esta última variable se estimó, al inicio de la cosecha, para 5 árboles en pie y debido a que las diferencias entre ambas mediciones no sobrepasaba los 0.5 m, se continuaron solo con árboles apeados. La primera ramificación se define considerando solamente las ramas cuyos diámetros son mayores que el 30% del diámetro del tronco principal a 10 cm del suelo. En la mayoría de los casos la identificación no resulta difícil.

Una vez tumbado y medido el árbol, se extraen las placas de aluminio y se clavan al tocón para continuar estudios de rebrotes, señalando su posición con una estaca de madera y cinta plástica de color. El árbol apeado se desrama con machete hasta un diámetro mínimo de 2.5 cm (el diámetro mínimo para comercialización) y se cortan con motosierra los troncos más gruesos en secciones de 0.70 m de longitud (un poco menos que la profundidad del nivel de agua en el barril), se seleccionan 5 secciones de diferentes diámetros y se extraen discos de madera para los cálculos de densidad específica en el laboratorio. El árbol troceado se pesa completamente en una balanza colgada del árbol más cercano y se traslada al sitio donde está instalado un sistema de barriles con agua para las mediciones del volumen. Una vez completadas las determinaciones volumétricas se apilan las trozas para su posterior comercialización.

La descripción detallada de los dos métodos de medición volumétrica se presenta a continuación.

#### 3.3.1 Xilometría

Se construye en el campo un sistema con dos barriles de 200 lts., (Fig. 2) uno de los cuales está lleno de agua hasta cierto nivel de descarga. Los barriles están conectados por un tubo de PVC de 3.75 cm (1.5 pulgadas) de diámetro y 1.5 m de largo sellado con cemento líquido e instalados en un terreno ligeramente inclinado de modo que el barril con agua se encuentra en la parte superior de la pendiente. Los troncos de madera de 0.70 m de longitud se introducen en el barril con agua y el volumen desplazado drena por el tubo hacia el segundo barril, en el que se mide la altura de la columna de agua. El agua desplazada y medida se vierte al barril de inmersión y se repite el proceso para cada árbol tantas veces como sea necesario. Finalmente se suman los valores de altura de la columna de agua en cada medición y se multiplica por el área basal del barril para obtener el volumen total del árbol.

Los errores sistemáticos en la medición de la columna de agua se evitan seleccionando un barril con fondo plano y nivelando el piso bajo los barriles. Antes de iniciar las mediciones de volumen, se verifica la nivelación poniendo un poco de agua en ambos barriles, midiendo la altura de la columna de agua en diferentes partes del barril y corrigiendo en nivel del piso hasta obtener mediciones iguales.



### 3.3.2 Volumetría por densidad específica y peso del árbol

Este método requiere pesar completamente el árbol hasta el diámetro mínimo deseado y calcular la densidad específica de la madera (ver anexo) para obtener el volumen total del árbol según la relación  $V = f$  (peso, densidad). En nuestro caso, el árbol cortado en secciones se pesa por partes en una balanza de 45 kg de capacidad (precisión de 0.25 kg) y se calcula la densidad promedio de la madera de cada árbol tomando 5 discos de madera de diferentes diámetros (rango total entre 1.16 - 20.6 cm) identificados con el número del árbol y un subíndice (1, 2, ..., 5). Los discos se llevan al laboratorio, se pesan (+ 0.1 g), se mide el diámetro con una cinta diámetro, se mide el volumen de cada disco por desplazamiento de agua en un sistema de vasos comunicantes (1.0 ml de precisión) y se calcula la densidad húmeda de la madera ( $d_h = \text{peso fresco/vol. húmedo}$ ). Una vez medido el volumen se meten al horno por 72 horas a 70° C, previa determinación del tiempo de secado requerido para obtener peso constante, y se pesan nuevamente para el cálculo de la densidad seca ( $d_s = \text{peso/vol. húmedo}$ ).

El sistema de vasos comunicantes empleado en esta determinación (Fig. 3) consta de un recipiente de 8 litros de capacidad conectado en su fondo a ambos lados con dos tubos de vidrio. Uno de estos tubos tiene 0.625 cm de diámetro y está marcado con una cinta plástica que indica el nivel base del sistema. El segundo vaso consiste de una bureta graduada de 250 ml a la que se ha adosado un tubo de succión en su extremo superior. El disco de madera se introduce en el recipiente mayor y desplaza un volumen de agua que se distribuye en los tres vasos del sistema. El tubo de succión permite introducir en la bureta graduada los volúmenes desplazados a los otros dos componentes. La succión se controla verificando el nivel original en el vaso de nivelación.

En el caso de discos grandes (más de 15 cm diámetro), cuyo volumen excede la capacidad de la bureta, se cuenta con un pequeño tubo de desagüe adosado a la base de la bureta que permite extraer agua hacia un recipiente graduado. Después de este drenaje, se procede a la determinación del volumen de la manera descrita anteriormente, adicionando al final de la lectura el volumen de agua extraído.

### 3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 3.4.1 Regresiones para volumen

Debido a que los árboles de guayaba tienen una forma irregular que no permite utilizar los cálculos volumétricos convencionales  $V = f(d, h)$ , es necesario identificar y cuantificar las variables que permitan estimar, a través de regresiones, el volumen de madera en pie. Es deseable que estas variables sean susceptibles de mediciones sencillas.

La selección de las variables más informativas sobre el volumen de los árboles se inicia construyendo diagramas de dispersión entre cada variable medida y el volumen observado, con el objeto de identificar el tipo de relación entre ambas variables (lineal, curvilíneo, etc.) y determinar la presencia de datos erráticos que puedan resultar de errores de medición o de condiciones muy particulares de habitat. En caso de presentarse distribuciones ligeramente curvilíneas, se toma el logaritmo natural de todas las variables (inclusive el volumen) para lograr un mejor ajuste a la linealidad.

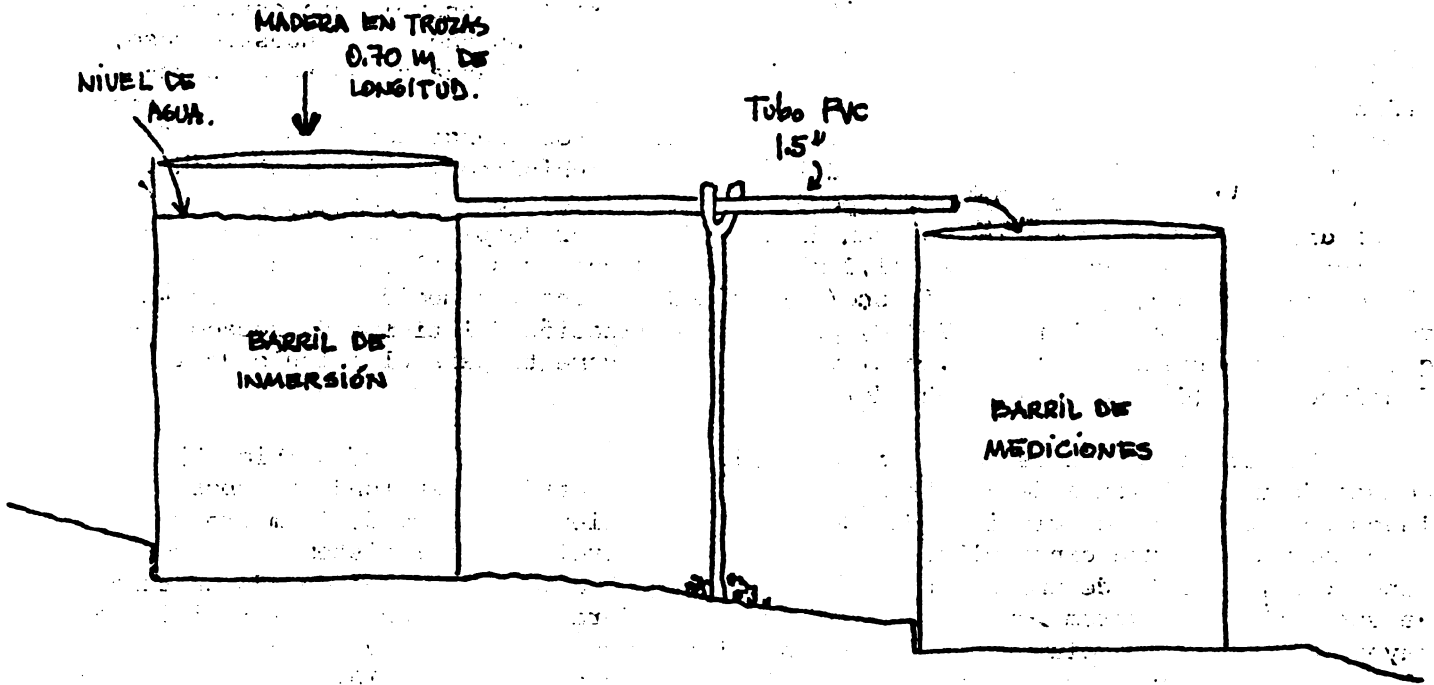


FIG. 2 SISTEMA DE BARRILES PARA DETERMINAR VOLUMENES DE ÁRBOLES EN EL CAMPO.

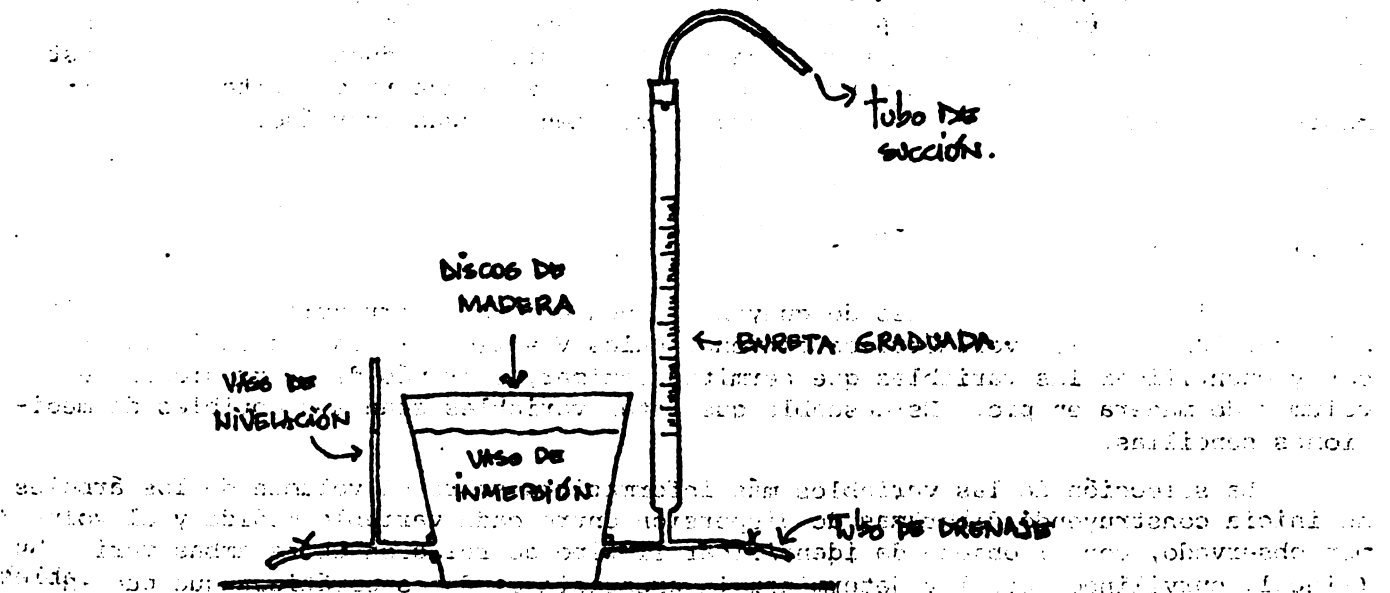


FIG. 3 SISTEMA DE VASOS COMUNICANTES PARA DETERMINAR VOLUMENES DE DISCOS DE MADERA EN LABORATORIO.

Habiendo eliminado los datos erráticos y transformado las variables, se construye una matriz de correlaciones y se seleccionan aquellas con un coeficiente de correlación lineal  $r > 0.70$  contra el volumen del árbol. Con las variables seleccionadas se evalúan diferentes modelos de regresión lineal múltiple ( $y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n$ ), utilizando sucesivamente duplas de variables independientes de las que se eliminan las menos informativas hasta obtener modelos que no sufran eliminación de variables.

Una vez seleccionados los modelos más poderosos se procede a identificar la distribución de los residuos (varianza no explicada por la regresión), comparando los valores observados y estimados por el modelo escogido. De este modo podemos reconocer el rango en que el modelo es más o menos explicativo.

### 3.4.2 Comparación de métodos volumétricos

Se trata de evaluar si la diferencia entre el cálculo del volumen por los 2 métodos descritos es estadísticamente significativa o no, y en todo caso, identificar la magnitud de esta diferencia, indicando los tamaños de árboles (diámetros) en los que el error de estimación es mayor.

La estimación de la diferencia entre los dos métodos se logra tomando las dos poblaciones de datos (volumen estimado y real) y haciendo una comparación de promedios con una prueba de "t" (12). Otra aproximación a este problema se obtiene construyendo una ecuación de regresión entre ambas variables. Si no hay diferencias entre ambos métodos, la ecuación resultante debe ser lineal simple con pendiente igual a uno y constante de regresión igual a cero, la desviación de los valores de pendiente por encima o debajo a este valor serán una cuantificación de la diferencia entre los métodos. En ambas estimaciones se utiliza el volumen real como punto de referencia.

Para identificar los tamaños de árboles en los que el error de estimación es mayor, se toma la diferencia aritmética de los dos cálculos de volumen para cada diámetro de árbol y se construye una ecuación de regresión que describa dicha diferencia en términos del árbol. En caso de no ocurrir cambios en el error de medición, se encontraría un valor constante.

En ambos casos, el proceso de cálculo incluye la construcción de diagramas de dispersión, identificación del tipo de respuesta, eliminación de datos erráticos, transformación de variables y evaluación de modelos de regresión.

## 4. RESULTADOS

Se contaron y midieron un total de 169 árboles de guayaba en 0.64 ha, lo que significa una densidad promedio de 264 árboles/ha. El área basal promedio de las 15 parcelas de 20 x 20 m es de 1.43 m<sup>2</sup>, con un rango de variación del 33% entre 0.67 - 2.33 m<sup>2</sup>. El número promedio de árboles por parcela es de 10.40 con un coeficiente de variación del 41% y un rango entre 3 - 17 árboles (Fig. 1).

**4.1 ANALISIS DIAMETRICO Y PROGRAMA DE MUESTREO**

Utilizando los 169 datos de diámetro del rodal se obtuvo un rango de dispersión de 42,6 cm (8.4 - 51.0), con un promedio de 19.71 cm y un coeficiente de variación del 36%. Probando diferentes intervalos de clase y utilizando una prueba de  $\chi^2$  como criterio de ajuste a la distribución normal teórica, se seleccionó la distribución diamétrica con intervalo igual a 4.0 cm (Cuadro 1).

**CUADRO 1. Distribuciones diamétricas y ajuste a normalidad**

Intervalo de clase	$\chi^2$	Probabilidad de error
2 cm	13.30	20.6%
3 cm	13.04	7.0%
4 cm	12.63	2.7%

Distribuciones con intervalos de clase de 5 cm o más, produjeron ajustes poco confiables. Con un intervalo de 4.0 cm se obtiene una distribución de frecuencias con media de 19.71 y clase modal entre 18.21 cm (frecuencia de 40). Con esta distribución y considerando un máximo de 53 árboles para cosecha se requiere una intensidad de muestreo del 30% en todas las clases. La distribución de frecuencias por clase diamétrica y la frecuencia de muestreo para cada clase se presentan en el Cuadro 2.

**CUADRO 2. Distribución de frecuencias por clase diamétrica y frecuencia de muestreo por clase.**

Clase diamétrica (cm)	Frecuencia absoluta	Frecuencia de muestreo
6 - 9	3	1
10 - 13	25	8
14 - 17	36	11
18 - 21	40	12
22 - 25	27	8
26 - 29	20	6
30 - 33	14	4
34 - 37	1	1
38 - 41	1	1
42 - 45	2	1

CUADRO 3. DATOS ORIGINALES DE TODAS LAS VARIABLES MEDIDAS EN LOS  
53 ARBOLES DE *Paidium guayanae*

Nº	Nº árbol	diámetro cm	Area basal m <sup>2</sup>	Altura total	Altura tronco (m)	Diámetro copa (m)	Area basal ramas (m <sup>2</sup> )	Volumen estimado	Volumen real(m <sup>3</sup> )
1	084	26.90	0.057	05.70	0.40	05.85	0.0181	0.090	0.080
2	089	12.50	0.012	04.20	0.55	04.00	0.0074	0.020	0.019
3	091	19.50	0.029	07.70	2.40	09.00	0.0189	0.146	0.134
4	120	11.00	0.009	04.60	0.42	03.50	0.0088	0.026	0.022
5	126	23.00	0.042	07.40	1.10	08.70	0.0583	0.289	0.265
6	044	20.50	0.033	12.20	0.90	06.20	0.0403	0.191	0.182
7	041	10.10	0.006	09.70	3.70	02.40	0.0055	0.040	0.039
8	046	25.70	0.052	12.00	2.60	10.00	0.0418	0.288	0.268
9	045	26.80	0.056	09.00	1.70	06.20	0.0420	0.331	0.299
10	025	38.50	0.073	09.60	1.10	09.60	0.0684	0.539	0.492
11	025	15.00	0.018	16.00	1.20	07.50	0.0199	0.097	0.086
12	074	14.70	0.017	06.50	0.60	05.50	0.0161	0.069	0.061
13	135	10.90	0.009	05.60	1.35	03.40	0.0070	0.017	0.014
14	134	23.00	0.042	07.30	0.30	07.00	0.0223	0.101	0.088
15	056	16.00	0.020	09.10	1.55	06.00	0.0170	0.088	0.083
16	054	31.60	0.078	11.50	2.75	09.00	0.0390	0.379	0.375
17	115	32.00	0.080	06.50	0.30	08.30	0.0465	0.195	0.184
18	003	10.00	0.006	05.60	1.60	05.00	0.0070	0.028	0.024
19	075	17.90	0.025	07.50	1.25	06.80	0.0287	0.151	0.138
20	011	14.00	0.015	14.30	0.70	06.20	0.0085	0.036	0.032
21	006	12.30	0.012	06.90	0.90	05.30	0.0120	0.061	0.043
22	032	09.40	0.007	06.35	3.80	04.00	0.0070	0.023	0.019
23	009	14.30	0.016	08.30	1.00	07.10	0.0176	0.103	0.094
24	083	26.90	0.057	08.60	2.35	08.50	0.0383	0.288	0.257
25	078	31.40	0.080	08.00	0.60	11.30	0.0527	0.380	0.343
26	030	17.90	0.025	08.40	0.90	06.80	0.0265	0.152	0.138
27	020	17.00	0.023	08.90	0.35	08.60	0.0241	0.163	0.145
28	013	10.00	0.007	07.20	1.90	06.20	0.0125	0.068	0.064
29	022	21.70	0.037	06.10	1.00	05.00	0.0258	0.165	0.152
30	001	20.70	0.034	09.40	1.35	06.70	0.0243	0.184	0.165
31	005	25.90	0.053	09.60	0.20	07.40	0.0423	0.264	0.308
32	007	23.20	0.042	09.50	0.50	07.60	0.0376	0.201	0.185
33*	013	23.40	0.043	09.70	0.45	09.40	0.0543	0.372	0.241
34	015	26.80	0.056	06.20	0.15	07.10	0.0222	0.164	0.192
35	099	12.40	0.012	07.65	2.25	02.40	0.0073	0.022	0.034
36	098	14.10	0.016	07.70	0.35	04.10	0.0144	0.050	0.074
37	104	19.50	0.030	08.10	0.60	07.50	0.0248	0.159	0.145
38	108	16.10	0.020	09.00	2.10	06.30	0.0147	0.109	0.101
39	052	21.30	0.036	07.40	1.40	05.60	0.0214	0.142	0.131
40	072	13.90	0.015	09.50	0.30	05.20	0.0104	0.044	0.044
41	124	16.00	0.020	06.25	0.15	05.00	0.0121	0.043	0.039
42	101	20.50	0.033	05.55	1.10	10.25	0.0295	0.184	0.163
43	109	19.00	0.028	07.50	1.70	07.50	0.0206	0.113	0.108
44*	110	23.70	0.044	06.55	0.30	08.45	0.0250	0.123	0.097
45	113	23.10	0.042	06.60	0.60	08.40	0.0248	0.108	0.170
46	059	26.00	0.053	11.00	3.20	09.00	0.0323	0.321	0.288
47*	111	34.00	0.091	11.00	0.82	11.70	0.0825	0.820	0.702
48	147	13.30	0.014	04.00	1.00	03.80	0.0052	0.018	0.020
49	148	19.00	0.028	06.90	0.80	08.50	0.0196	0.094	0.090
50	151	23.00	0.042	08.90	0.60	08.20	0.0402	0.268	0.250
51	153	25.00	0.049	10.50	1.30	02.40	0.0196	0.149	0.130
52	160	19.20	0.029	10.20	0.80	05.80	0.0238	0.177	0.170
53	166	16.90	0.022	10.90	0.45	02.80	0.0126	0.058	0.050
	Promedio	19.94	0.034	8.11	1.17	6.84	0.0260	0.164	0.151

\* Datos erráticos eliminados del análisis.

#### 4.2 REGRESIONES PARA VOLUMEN

Los datos correspondientes a los 53 árboles cosechados (de los cuales se eliminaron 3 registros erráticos)\* se presentan en el Cuadro 3, de la pag. 7.

Una matriz de correlaciones (Cuadro 4) elaborada a partir de estos datos indica que las variables más relevantes para expresar el volumen del árbol ( $r > 0.70$ ) son: el diámetro del árbol a 10 cm sobre el suelo ( $R = 0.89$ ), el área basal del tronco a 10 cm de altura ( $R = 0.89$ ), el diámetro de copa ( $R = 0.79$ ) y el área basal de las ramas en la primer ramificación ( $R = 0.96$ ).

CUADRO 4. Matriz de correlaciones.

	D	AB	hT	ht	DC	ABr	Ve	Vr
Diámetro (D)	1.00							
Area basal (AB)	0.99	1.00						
Altura total (hT)	0.51	0.51	1.00					
Altura tronco (ht)	-0.14	-0.13	0.19	1.00				
Diámetro copa (DC)	0.75	0.75	0.33	-0.04	1.00			
Area basal ramas (ABr)	0.89	0.89	0.58	-0.11	0.80	1.00		
Vol. estimado (Ve)	0.88	0.88	0.68	0.05	0.81	0.96	1.00	
Vol. Real (Vr)	0.89	0.89	0.68	0.02	0.79	0.96	0.99	1.00

Los diagramas de dispersión entre las variables seleccionadas (excepto el diámetro basal, que fue eliminado en el proceso de selección de los modelos de regresión) y el volumen de los árboles se presentan en las figuras 4, 5 y 6.

Los modelos de regresión calculados para cada variable se presentan en el Cuadro 5. El mejor modelo permite explicar el 92.30% de la variación del volumen del árbol según la ecuación  $Y = 0.28 AB + 1.06 ABr + 2.85$ . Este poder explicativo es relativamente constante a todo el rango de valores observados en este estudio, aunque pueden ocurrir ligeras subestimaciones del volumen real de los árboles con más de

\* Estos registros aparecen con un asterisco en el listado de datos del Cuadro 3.

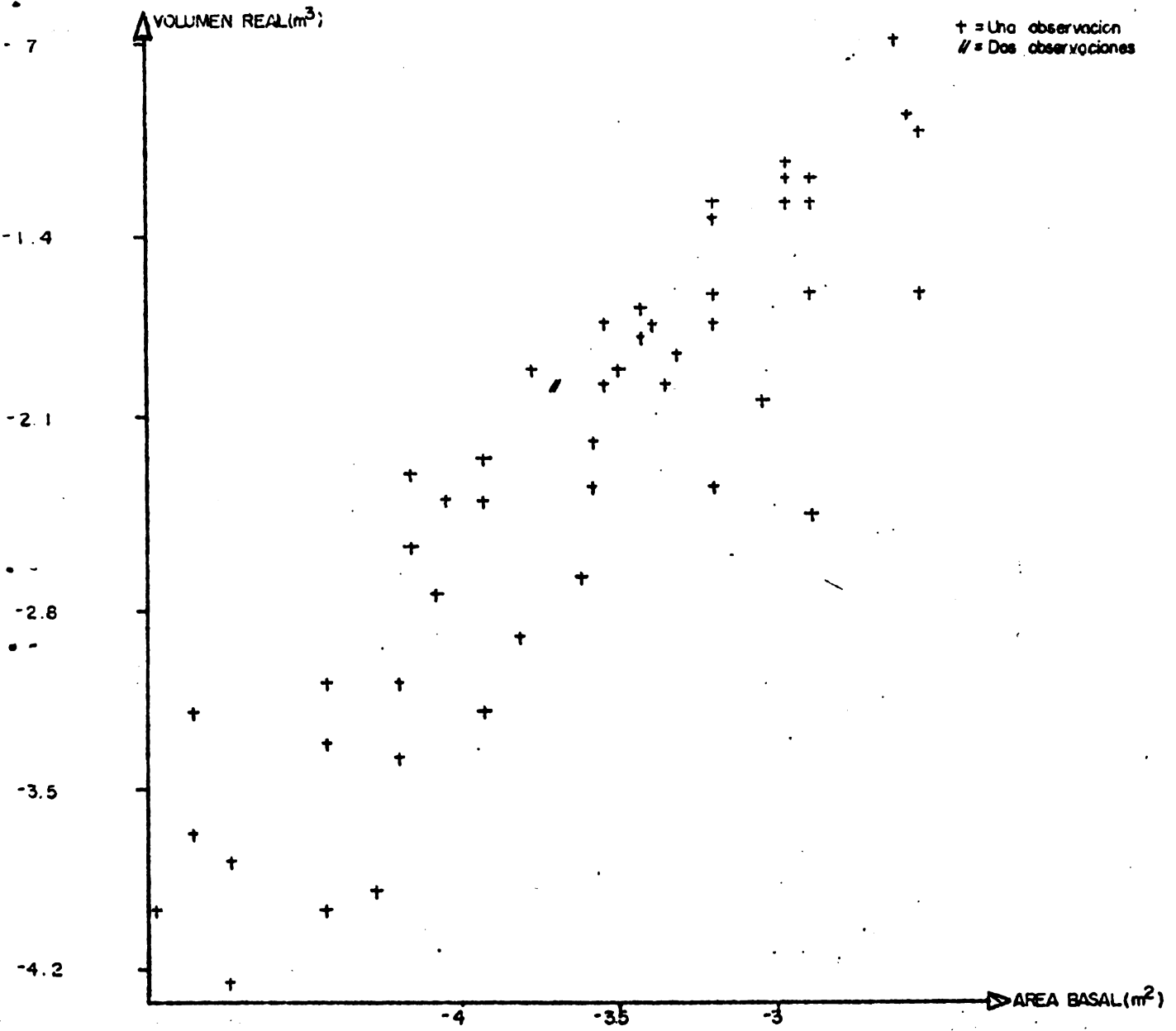


Fig 4 Diagrama de dispersion entre volumen real- area basal del tronco (datos transformados a su logaritmo natural)

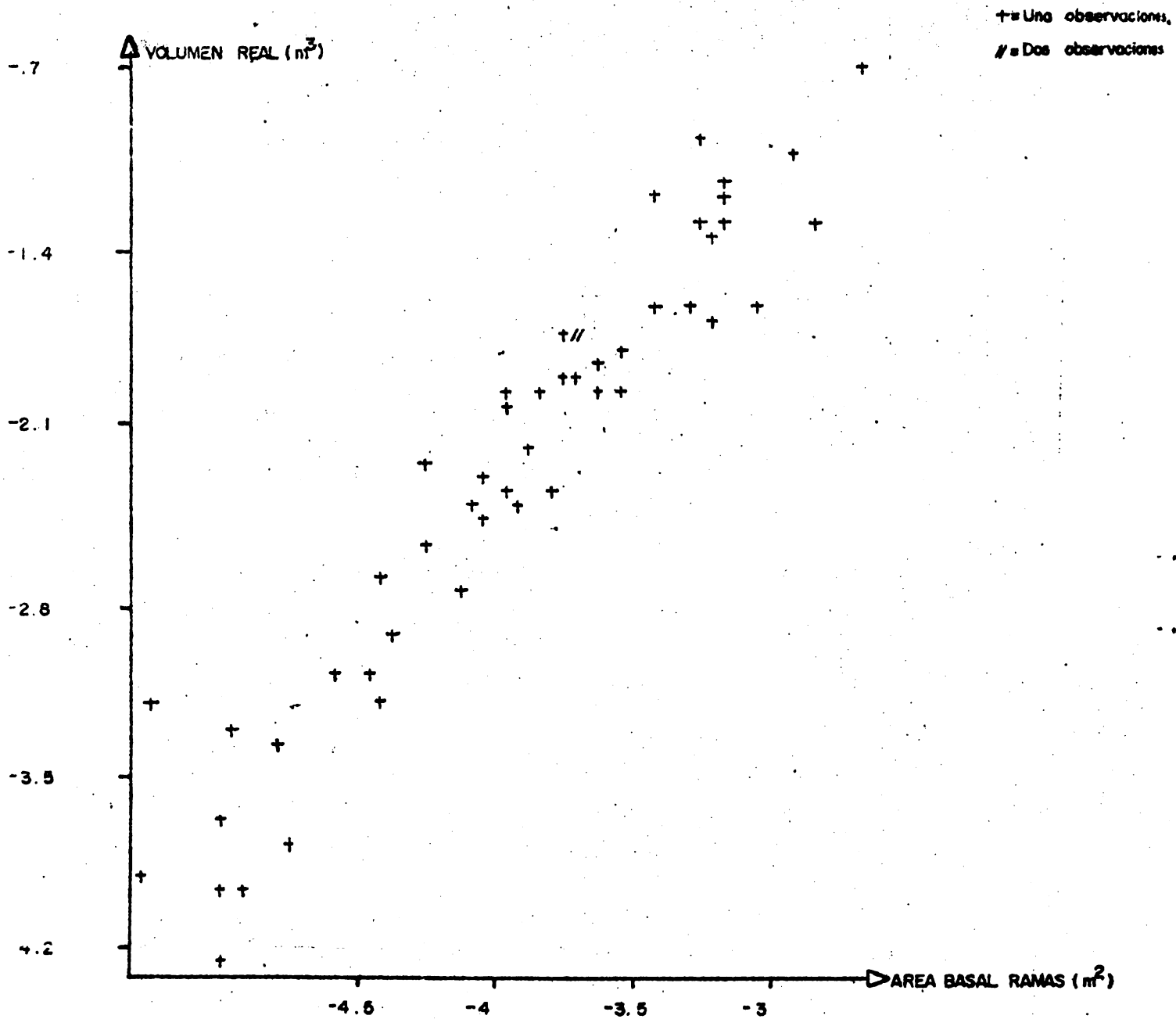


Fig 5 Diagrama de dispersion entre volumen real- area basal de ramas (datos transformados a su logaritmo natural).



+ = Una observacion  
 // = Dos observaciones

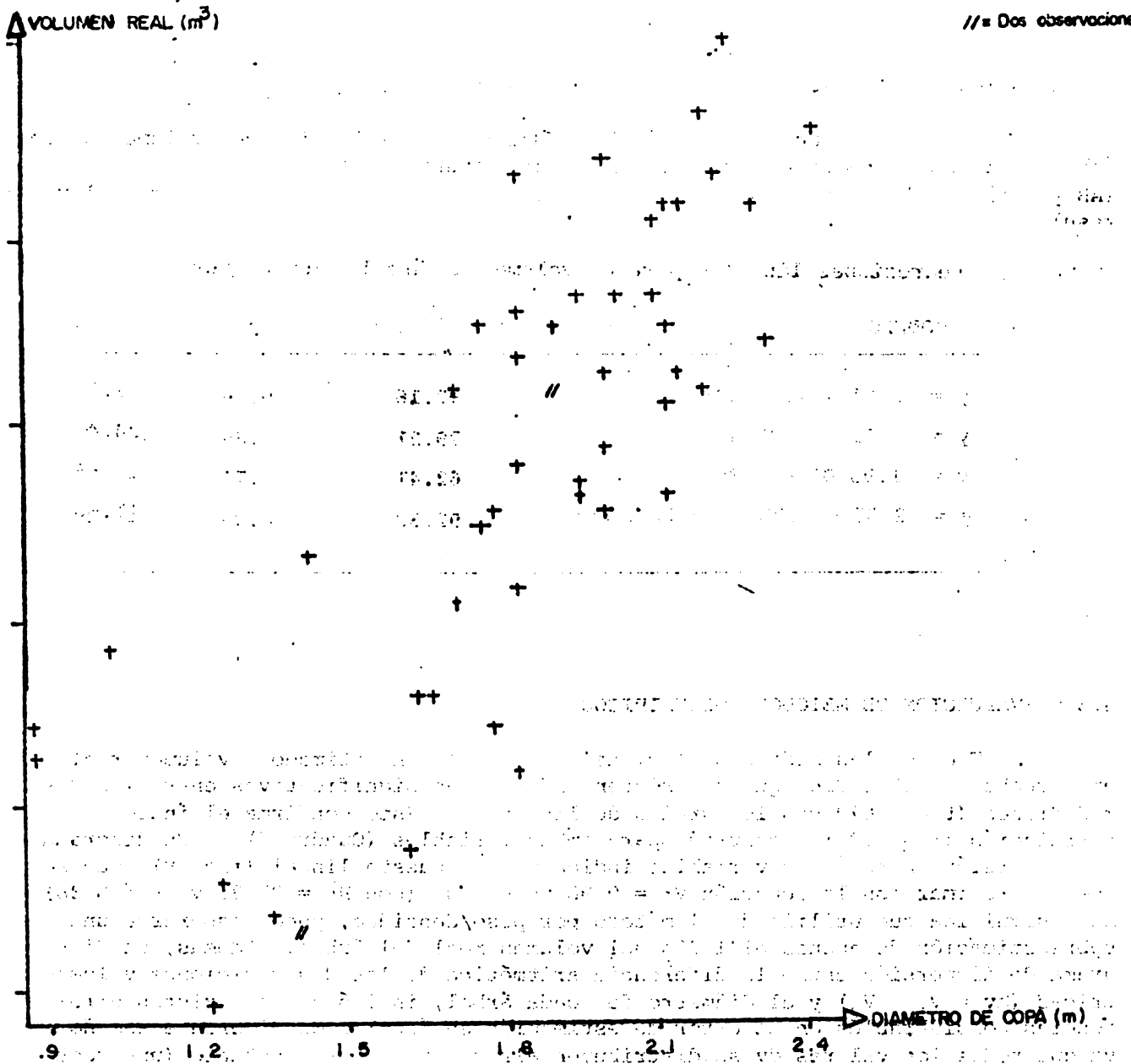


Fig 6 Diagrama de dispersion entre volumen real- diametro de copa (datos transformados, a su logaritmo natural)

0.06 m<sup>3</sup> de volumen total\*. La distribución de los valores observados con respecto a los estimados por este modelo puede verse en la Fig. 7.

Debido a la transformación logarítmica, la estimación del volumen de un árbol cualquiera, requiere tomar el logaritmo natural de los datos de campo (AB y ABr), aplicar los coeficientes del modelo y tomar el antilogaritmo del valor resultante.

CUADRO 5. Regresiones lineales para el volumen de árboles de guayaba

MÓDELO	R <sup>2</sup> (%)	R	CV (%)
y = 2.81 + 1.31 ABr	92.16	0.96	17.73
y = 2.11 + 1.22 AB	79.21	0.89	24.46
y = 1.93 DC - 5.85	62.41	0.79	11.55
y = 2.85 + 0.28 AB + 1.06 ABr	92.30	0.96	11.08

#### 4.3 EVALUACION DE METODOS VOLUMETRICOS

Tomando las medias poblacionales del volumen estimado y volumen real, una prueba de "t" indica que no existen diferencias significativas entre las dos mediciones (t = 0.679 con 104 grados de libertad). Esto confirma el índice de correlación (r = 0.99) encontrado para ambas variables (Cuadro 4). Un diagrama de dispersión entre ambas variables indica una respuesta lineal (fig. 8) que se puede aproximar con la ecuación Vr = 0.98 Ve - 0.08 (con R<sup>2</sup> = 97.39 y CV = 6.38). Esto significa que utilizando el método por peso/densidad, puede esperarse una sobreestimación de apenas el 1.08% del volumen real del árbol. Además, un diagrama de dispersión entre la diferencia aritmética de las dos mediciones volumétricas (dv = V<sub>1</sub> - V<sub>2</sub>) y el diámetro de cada árbol, indicó que no existen diferencias considerables en el error de estimación en árboles de diferente tamaño ya que todos los valores dv se distribuyen alrededor de una constante (una recta paralela al eje OX) y que el mejor valor esperado es el promedio de dv ó la ecuación Vr = 0.98 Ve - 0.08 presentada anteriormente.

\* La subestimación es debida a la utilización de valores transformados (ln) para el cálculo de los coeficientes de correlación (4,9).

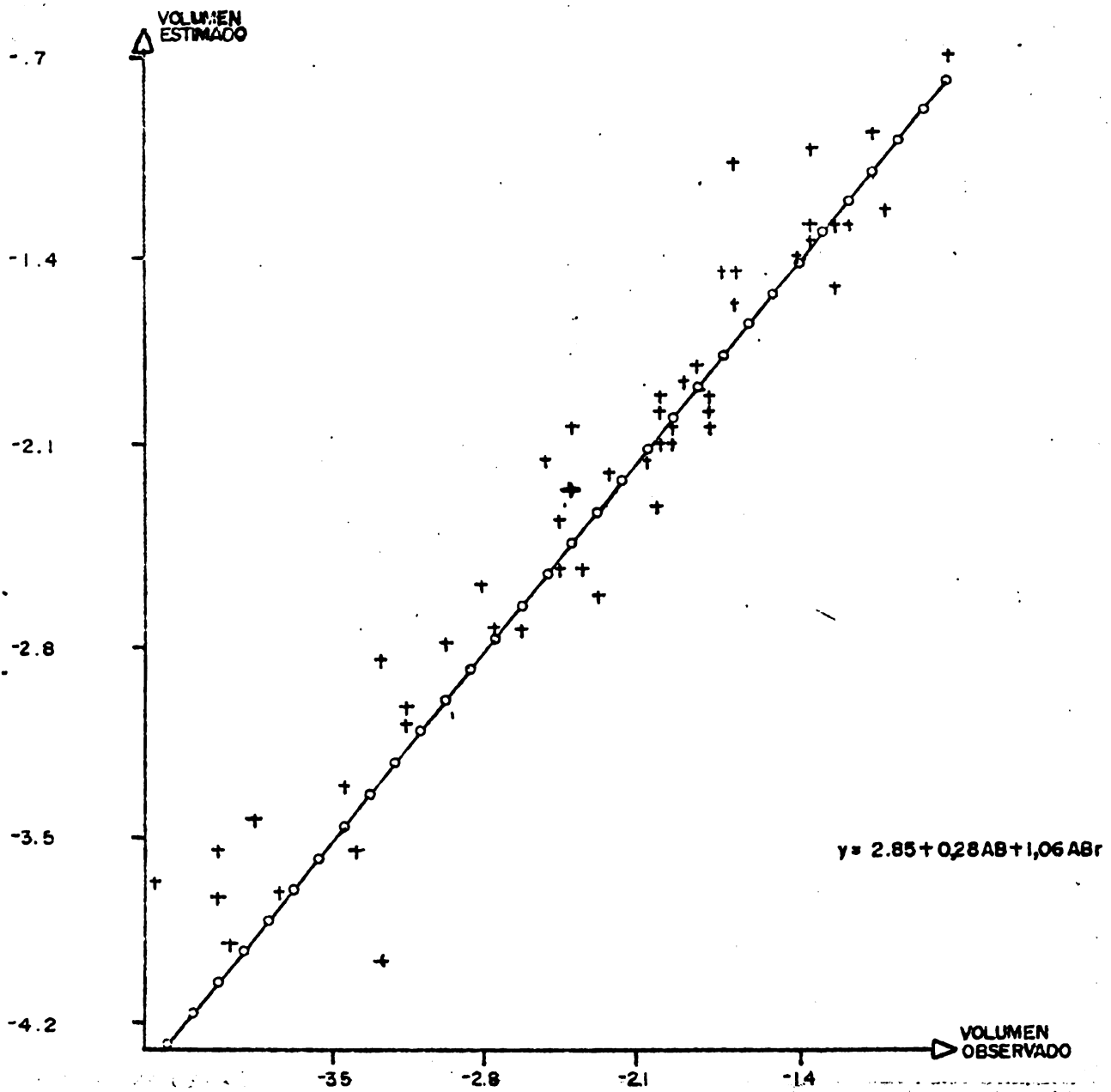


Fig 7 Distribucion de los datos de volumen observado y volumen estimado por regresion.

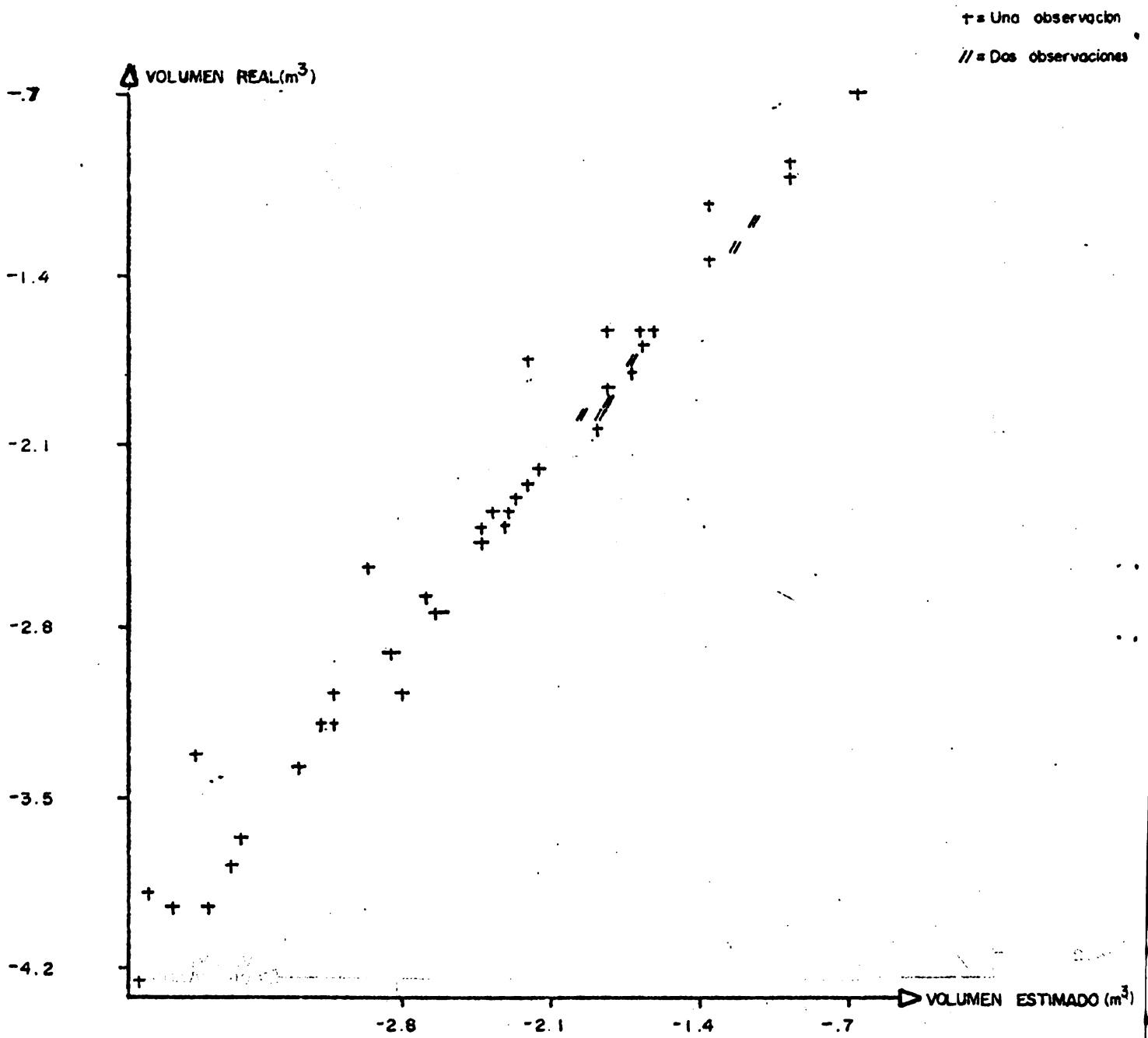


Fig 8 Diagrama de dispersion entre volumen real-volumen estimado (datos transformados a su logaritmo natural)

#### 4.4. RESULTADOS COMPLEMENTARIOS

##### 4.4.1 Análisis dimensional

Para cuantificar la cantidad de madera o follaje que no está siendo utilizada en este estudio, se realizó el análisis dimensional de un solo árbol de guayaba de 16.5 cm de diámetro. El peso seco total del árbol alcanzó un valor de 93.68 kg de los cuales el 61.27% corresponde a los troncos mayores de 2.5 cm de diámetro, 32.26% a tallos menores de 25 cm y 6.45% a la biomasa foliar. Estos resultados se presentan en el Cuadro 6.

CUADRO 6. Análisis dimensional de un árbol de guayaba de 16.5 cm de diámetro basal

Secciones	Peso seco Kg	%	Volumen (m <sup>3</sup> )	%
Hojas	6.05	6.45	-	-
Tallos 2.5 m	57.40	61.27	0.08	72.08
Ramas 2.5	30.23	32.26	0.03	27.92
Total	93.68	100	0.11	100

Esto significa que la explotación de los árboles para leña removería un 61,27% de la biomasa total del árbol.

##### 4.4.2 Indice de volumen apilado/volumen real

La madera obtenida de los 53 árboles cosechados se apiló en dos secciones de 0.70 x 1.0 x 10 m y una de 0.70 x 1.0 x 3 m y se encontró un índice promedio de 0.44 (+ 0.04) entre volumen real/volumen apilado de maderas. Esto significa que cada metro cúbico de leña apilada contiene solamente 0.44 m<sup>3</sup> de madera, con un peso de 490 kg si la madera está húmeda y de 256 kg si está completamente seca.

## 5. DISCUSION

El análisis dimensional (alometría, según otros autores) de árboles con formas de difícil aproximación geométrica ha sido utilizado principalmente para investigaciones ecológicas en bosques tropicales (8, 14), para árboles individuales en condiciones tropicales (10) y para árboles, arbustos y comunidades en climas templados (20). La idea general consiste en la construcción de ecuaciones de regresión que permitan expresar cuantitativamente las relaciones entre componentes o dimensiones de árboles y/o comunidades. Con excepción de los trabajos de Dawkins (10) y Whittaker y Woodwell (20), los estudios dimensionales generalmente utilizan el peso seco (biomasa) como variable dependiente en las funciones de regresión, de modo que no es posible hacer comparaciones de pendientes e interceptos entre los resultados de este estudio y los modelos de regresión publicados por otros autores, a pesar de haber sido recomendados por su validez general para árboles tropicales o templados de madera densa (8).

Los modelos de regresión que utilizan el volumen total del árbol como variable dependiente (10, 20) difieren de los modelos encontrados en este estudio en el tipo de variables empleadas para predicción. En el caso de los árboles de guayaba, con forma irregular y profusa ramificación a baja altura, las variables con mayor poder predictivo sobre el volumen total son todas derivadas del diámetro del árbol en diferentes secciones del tronco y no incluyen combinaciones con la altura total del árbol. La semejanza más notoria entre los modelos de regresión publicados y los encontrados para los árboles de guayaba es el carácter lineal de las relaciones (8, 9, 10, 14, 20). Esta tendencia es válida independiente de la utilización del peso o el volumen total del árbol como variable dependiente.

Para la investigación de las asociaciones de pastos con árboles de guayaba, los modelos volumétricos con 1 ó 2 variables independientes constituyen un instrumento ideal para estudios de reconocimiento o evaluaciones de campo en áreas relativamente grandes. Por ejemplo, el modelo  $y = 1.93 DC - 5.85$ , a pesar de no ser el más explicativo ( $R^2 = 61.65\%$ ), es valioso para hacer estimaciones preliminares del volumen total de leña de guayaba utilizando fotos aéreas de una escala suficientemente grande (1: 5000 a 1: 25000) que permita reconocer árboles individuales dentro de los pastizales.

La elaboración de funciones de regresión que incluyan las variables más poderosas para explicar la variación de la variable independiente, indica además cuales son las mediciones que deben tomarse para continuar estudios de crecimiento o productividad. En nuestro caso, se deben tomar mediciones del área basal del tronco a una altura suficientemente baja (10 cm sobre el suelo) que evite ramificaciones a la altura de medición y además, mediciones del área basal de las ramas en la primera ramificación. Para estudios de productividad leñosa, estas mediciones deben tomarse en individuos de todas las categorías diamétricas, de modo que podamos identificar la función de crecimiento de la especie, y los tamaños de árboles en los que se deben realizar los cortes de extracción o actividades de manejo.

Considerando que el volumen promedio de los árboles de guayaba en las condiciones del sitio de estudio es de  $0.15 \text{ m}^3/\text{árbol}$  (Cuadro 3), si entendemos este

valor a la densidad del rodal estudiado (264 árboles/ha), el volumen comercial de leña sería de 39.60 m<sup>3</sup>/ha. Aunque no existen estudios sobre la densidad modal de árboles de guayaba por hectárea en los pastizales de la zona de estudio, las observaciones de campo parecen indicar un valor muy aproximado de 60 árboles/ha, lo cual reduciría el volumen de leña a unos 9.0 m<sup>3</sup>/ha. Estas estimaciones significan un total de 89.90 y 20.00 m<sup>3</sup>/ha de madera apilada y un potencial económico de ¢6293.00 y ¢1430.00 colones/ha respectivamente, calculados a razón de ¢70.00 colones/m<sup>3</sup> de madera apilada\*. Todos estos valores de producción de leña y de ingresos económicos pueden sufrir modificaciones considerables dependiendo del manejo que se de a los árboles, de la aceptación de la leña de guayaba en el mercado local (17) y de su valor interno dentro de la finca (6).

## 6. CONCLUSIONES

6.1 Las funciones de regresión encontradas en este estudio permiten explicar un máximo del 92.30% de la variación del volumen de los árboles de guayaba asociados con pastos.

6.2 Estos modelos de regresión utilizan únicamente combinaciones lineales de variables asociadas al diámetro de diferentes secciones del tronco (área basal a 10 cm sobre el suelo y en la primera ramificación).

6.3 La medición del volumen de los árboles a través del peso y densidad de la madera, constituye una buena aproximación del volumen real del árbol ( $R^2 = 97.39$ ) pues solo produce una sobreestimación de apenas 1.08% con la ecuación  $V_r = 0.98 V_e - 0.08$  (con  $V_r$  = vol. real y  $V_e$  = vol. estimado).

6.4 La cosecha de los árboles de guayaba para la venta de leña significa la exportación del 62% de la biomasa leñosa aérea.

6.5 El índice de volumen real/volumen apilado de madera de guayaba para leña es de 0.44.

6.6 Los árboles de guayaba dentro de los pastizales pueden representar un potencial considerable para la comercialización de leña. Rodales densos (264 árboles/ha) pueden producir un promedio de 39.60 m<sup>3</sup>/ha de leña, lo que significa un ingreso económico de 6300 colones/ha.

---

\* Ing. Luis Ugalde, comunicación personal, CATIE, Proyecto leña. 1982.  
(US \$1.00 equivale a ¢40.00 colones).

ANEXO

DENSIDAD DE LA MADERA DE *Psidium guajava* L.

1. INTRODUCCION

Las variaciones en la densidad de la madera en árboles de una misma especie, en una o varias zonas ecológicas, en árboles de varias edades, o aún, en diferentes secciones de un mismo árbol, son uno de los inconvenientes para el cálculo del volumen de los árboles a través del peso y densidad específica (1, 5, 11, 16, 18). En este estudio se analiza la distribución de los valores de densidad de la madera de guayaba en función del diámetro de la muestra y el efecto de varios factores de ponderación que permiten clarificar la relación entre ambas variables.

2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Se parte de la construcción de diagramas de dispersión entre los valores de la densidad húmeda ( $d_h$ ) y de la densidad seca ( $d_s$ ) contra el diámetro de la muestra ( $D$ ), con objeto de identificar el tipo de respuesta entre las dos primeras variables con respecto al diámetro y evaluar algunos modelos de regresión que expliquen tal comportamiento. Posteriormente se evalúan las funciones de respuesta entre las mismas variables utilizando diferentes factores de ponderación y se prueban los modelos de regresión correspondientes. Se seleccionan los mejores modelos, basándose en el valor del coeficiente de regresión ( $R^2$ ) y en la interpretación de los residuos de regresión.



**RESULTADOS**

Utilizando un total de 213 datos de densidades se encontró que la densidad seca promedio ( $\bar{d}_s$ ) de la madera de guayaba es de  $0.58 \text{ g/cm}^3$ , con un coeficiente de variación de 9.86%. En cambio, la densidad húmeda promedio ( $\bar{d}_h$ ) alcanzó un valor de  $1.11 \text{ g/cm}^3$  con un coeficiente de variación del 4.86%. Estas diferencias en el coeficiente de variación (que contrariamente a lo esperado son mayores en el caso de la densidad húmeda con respecto a la densidad seca) pueden deberse a errores de medición del volumen de muestras pequeñas. En el computo de ambas densidades se encontró, a partir de 95 muestras un promedio de humedad del 44%.

Si se utiliza el cuadrado del diámetro como factor de ponderación, los valores promedios de densidad cambian ligeramente a 1.12 y 0.59 para  $D^2 \bar{d}_h$  y  $D^2 \bar{d}_s$  respectivamente. Cuando el factor de ponderación es el valor lineal del diámetro, estos valores cambian a 1.12 y 0.58 para densidad húmeda y seca respectivamente (Cuadro 7).

**CUADRO 7.** Promedios de densidad húmeda y densidad seca de la madera de guayaba, con y sin ponderaciones.

Densidad	Factor ponderación	Promedio	Variación(%)*
dh	1	1.11	0.00
ds	1	0.58	0.00
dh	$D^2$	1.12	0.90
ds	$D^2$	0.59	1.72
dh	D	1.12	0.90
ds	D	0.58	0.00

\* Con respecto a los valores no ponderados

A pesar de estos pequeños márgenes de variación, se encontró que los valores de  $\bar{d}_h$  y  $\bar{d}_s$  tienden a concentrarse en sus valores promedios ( $\bar{d}_h$ ,  $\bar{d}_s$ ) con una dispersión mayor, en las clases diamétricas menores y a concentrarse más en los diámetros mayores (fig. 9-10). Esto confirma que las varianzas de  $\bar{d}_h$  y/o  $\bar{d}_s$  no son independientes del diámetro y que deben utilizarse ponderaciones para el computo de los coeficientes de regresión con el método de cuadrados mínimos (9, 10)

Tomando el cuadrado del diámetro de cada muestra ( $D^2$ ) como factor de ponderación se crearon dos nuevas variables ( $D^2 \bar{d}_h$  y  $D^2 \bar{d}_s$ ) y se construyeron diagramas de dispersión contra el diámetro de cada muestra (fig. 11-12). En este caso,

la respuesta es más o menos lineal (aunque tiende a ser parabólica en los valores extremos del diámetro) y puede dar un buen ajuste en el rango de valores observados. Las ecuaciones de regresión correspondientes a cada variable son  $Y_1 = 2.93 x - 1.04$  ( $R^2 = 93.01$ ) donde  $y_1 = D^2 dh$  e  $y_2 = 1.25 x - 5.32$  ( $R^2 = 92.73$ ) donde  $Y_2 = D^2 ds$ . Las líneas de regresión correspondientes se incluyen en las fig. 11-12. A pesar del buen ajuste lineal, la distribución de los residuos de regresión para ambas ecuaciones indica claramente que las funciones de respuesta tienden a apartarse de la linealidad y que existe demasiado riesgo de error en las predicciones de los modelos (fig. 13-14).

Para ajustar los modelos a la linealidad es mejor utilizar el valor del diámetro (D) como factor de ponderación y crear dos nuevas variables ( $Ddh$  y  $Dds$ ), cuyos diagramas de dispersión indican una respuesta claramente lineal. Por otro lado, los modelos de regresión proporcionan un mejor ajuste a la distribución de los datos (fig. 15-16). El coeficiente de regresión ascendió desde 93.01 a 99.04 para la densidad húmeda y desde 92.73 a 95.85 para la densidad seca. Al mismo tiempo los coeficientes de variación descendieron desde 21.76 a 4.82 para "dh" y desde 23.71 a 10.21 para "ds". Además del aumento en el poder predictivo de los modelos la distribución de los residuos de regresión se vuelve más homogénea (fig. 17-18) y permite realizar predicciones con mayor rango de confiabilidad.

Para investigar la posibilidad de que el factor de ponderación utilizado no sea el mejor y que se pueden encontrar otros valores que proporcionen mejor ajuste, se utilizó  $D/2$  como peso de ponderación y se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente. Se encontró que los valores de  $R^2$ , del coeficiente de variación y la distribución de los residuos, permanecieron constantes con referencia a los modelos  $Y_3$  y  $Y_4$  obtenidos previamente. Esto demuestra el buen ajuste que proporciona el valor simple del diámetro (D) como factor de ponderación para la densidad de la madera de guayaba.

#### 4. DISCUSION

— El consenso general sobre las variaciones en la densidad de la madera en árboles diferentes de una misma especie o en diferentes secciones de un mismo árbol es también cierto para el caso de los árboles de guayaba. La diferencia principal con otras especies (1, 11, 16, 18) radica en que la magnitud de estas variaciones es relativamente pequeña en el caso de la madera de guayaba ( $CV = 4.86 - 9.86$ , para densidad húmeda y seca respectivamente), y que podrían ser obviadas para aplicaciones prácticas. Por ejemplo utilizando los valores de densidad encontrados el error de estimación del volumen de un árbol de guayaba de 1000 kg de peso (el cual sería muy grande para la especie) es de apenas  $0.075 m^3$ , lo que representa una diferencia de 28 kg de peso para transporte.

\* Considerando una densidad seca promedio de  $0.58 g/cm^3$ .

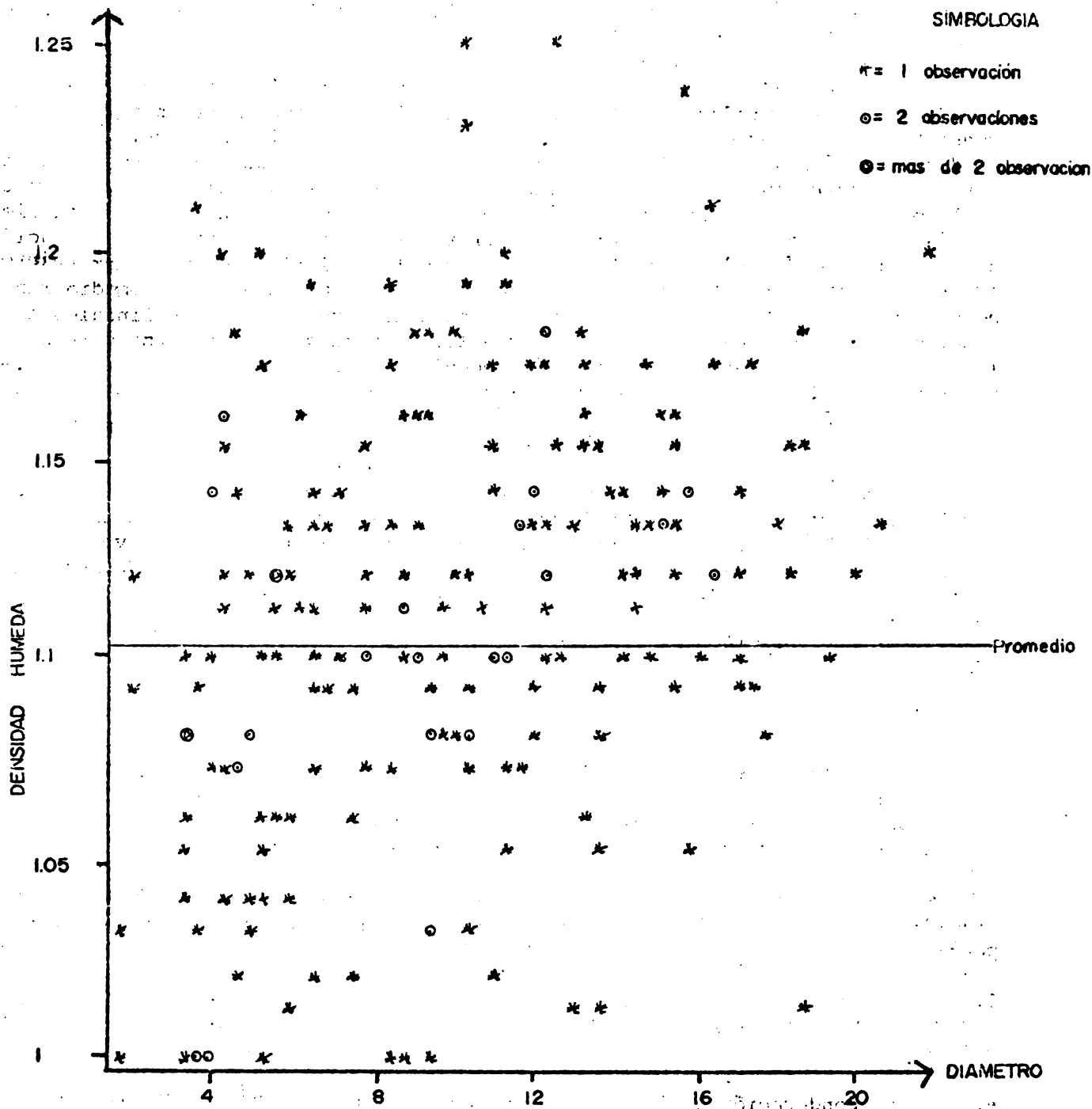


Fig. 9. Diagrama de dispersión entre densidad húmeda y diámetro de muestra.

Una fuente adicional de variación que no ha sido tomada en cuenta, son las condiciones ambientales (climáticas principalmente) del área donde se toman las muestras y queda por evaluar la posibilidad de utilizar los modelos de regresión encontrados en este trabajo en zonas ecológicamente diferentes.

Siempre puede preguntarse hasta que punto un modelo lineal para la densidad de la madera (producto de la ponderación) tiene un fundamento biológico consistente. Es lógico pensar que bajo determinadas condiciones ambientales la densidad húmeda o seca de la madera de una especie cualquiera no puede aumentar o disminuir constante e indefinidamente en términos del cambio en el diámetro de la muestra (como implica un modelo lineal), sino que debe haber un valor límite más allá del cual no es posible encontrar valores de densidad. Una situación de este tipo conduciría probablemente a un modelo logístico con un valor asintótico superior. Esto parece insinuarse en las fig. 9-10 en las que el promedio funciona como valor límite. La razón principal para desarrollar modelos lineales es la simplicidad de computo pero se exige establecer un rango de confianza para su utilización. Ante esto, la recomendación inmediata consiste en aplicar los modelos de regresión dentro de un rango de valores similar a los empleados para el computo de los coeficientes.

La aplicación práctica de cualquiera de estos modelos debe tomar en cuenta que para todo valor de diámetro medido en el campo, la variable dependiente Y es una función compuesta por  $X^a d_i$  (donde X es el diámetro de la muestra elevada a una potencia "a" y  $d_i$  es el valor de densidad buscado) que debe resolverse para  $d_i$ . Es decir, tendremos  $d_i = (b_1 X + b_0)/X^a$  para calcular el valor de densidad de la madera.

## 5. CONCLUSIONES

1. La densidad seca ( $d_s$ ) y densidad húmeda ( $d_h$ ) promedio para un total de 213 muestras de madera de guayaba es de 0.58 y 1.11 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. La variación de los valores de  $d_s$  y  $d_h$  con respecto a sus medias es bastante pequeña (coeficientes de variación de 9.86% y 4.86% respectivamente).
2. La dependencia de los valores de  $d_s$  y  $d_h$  con respecto al diámetro de muestra (D) se puede corregir mejor utilizando el valor de D y no D<sup>2</sup> como factor de ponderación de la densidad.
3. Los modelos de regresión ponderados para  $d_s$  y  $d_h$  fueron  $y = 0.60 X - 0.15$  e  $Y = 1.15 X - 0.30$  respectivamente, donde X representa el diámetro de la sección del árbol e Y es una variable compuesta de  $X d_i$  ( $d_i = d_s$  o  $d_h$ ).
4. La ponderación de los valores de densidad (con D, D<sup>2</sup>, ó D/2) no cambian significativamente el valor de los promedios con respecto a los valores no ponderados.

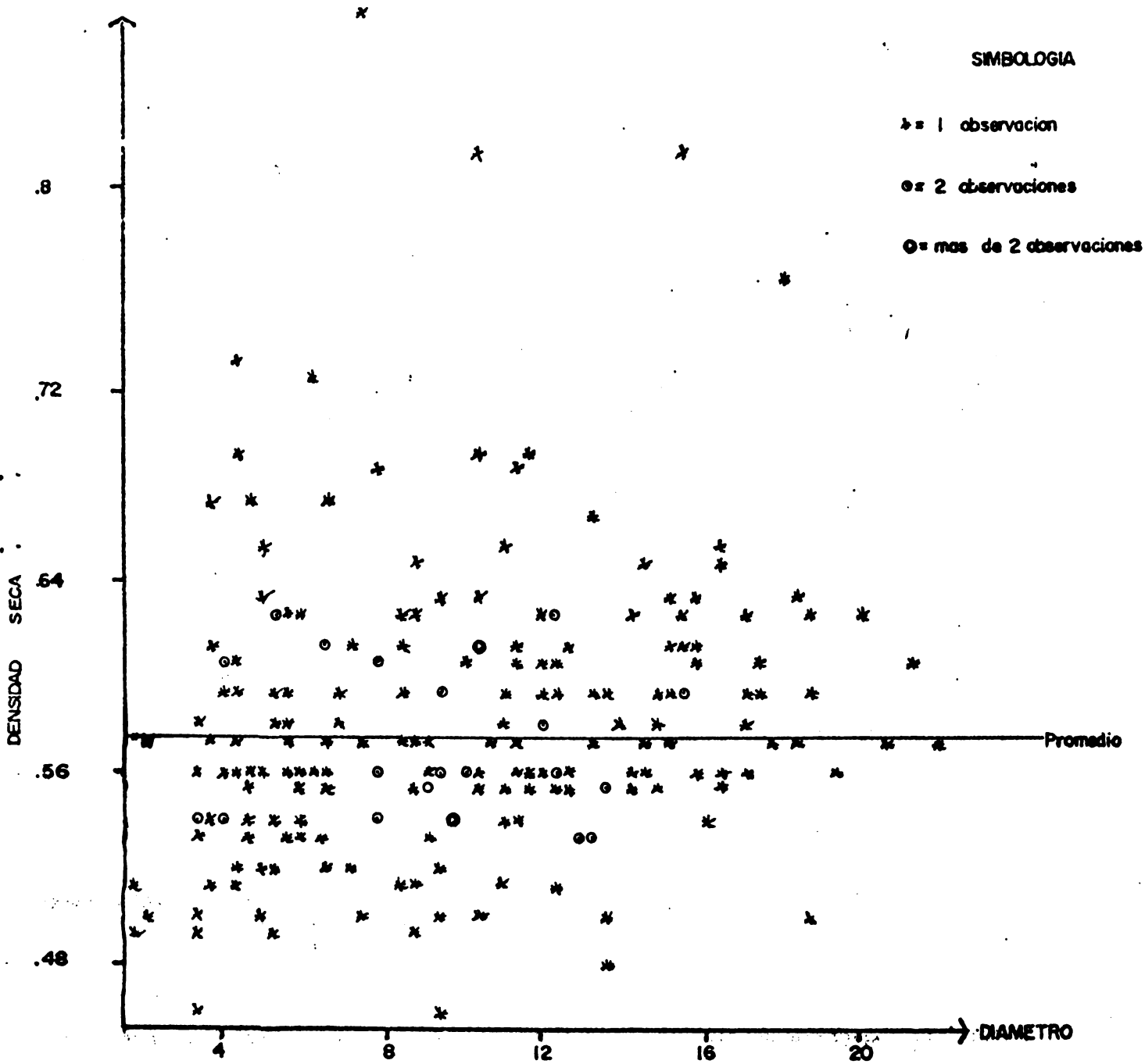


Fig. 10. Diagrama de dispersión entre densidad seca y diámetro de muestra.

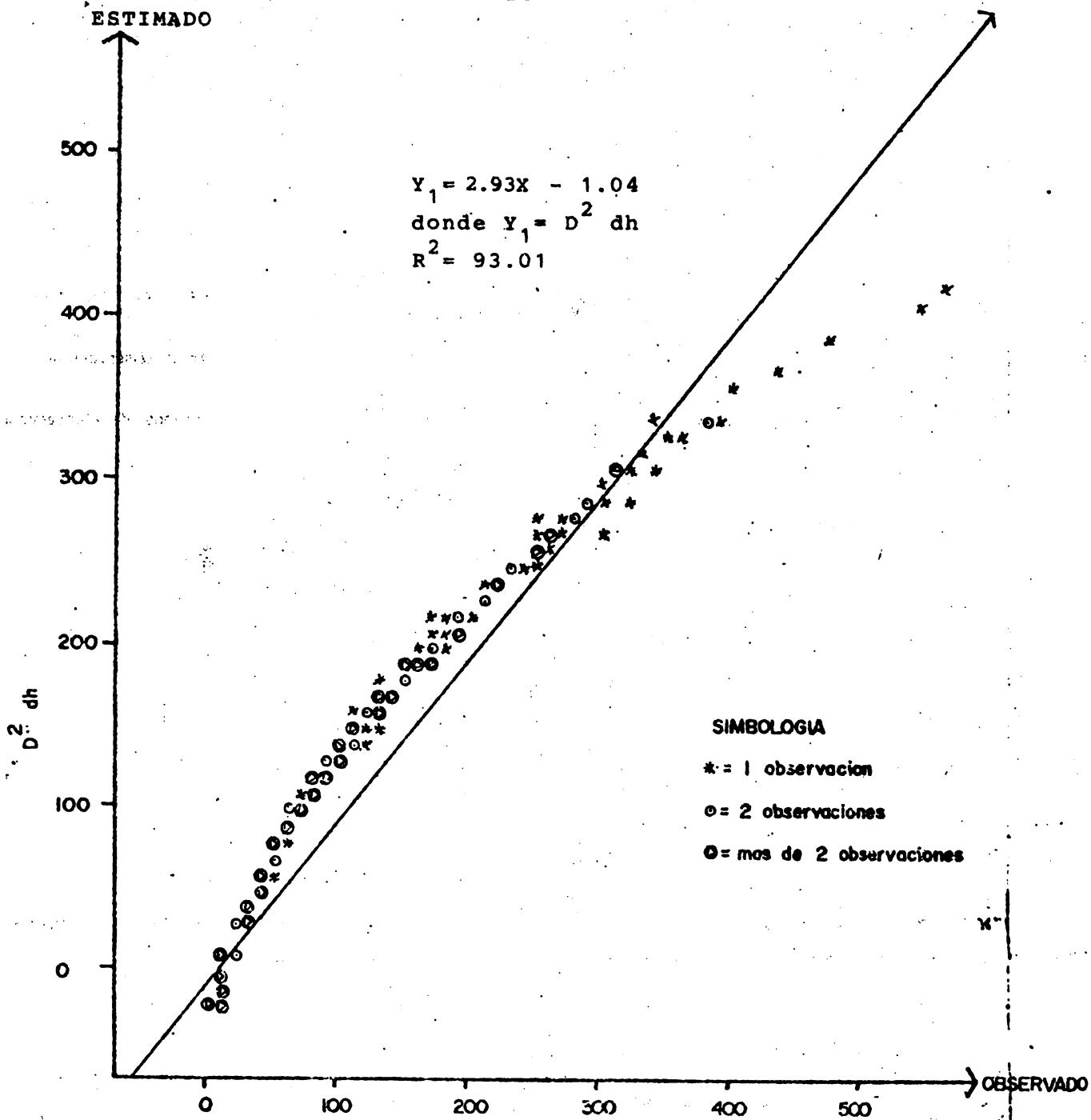


Fig. 11. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre valores observados y estimados utilizando el cuadrado del diámetro de muestra ( $D^2$ ) como factor de ponderación de la densidad húmeda ( $dh$ ).

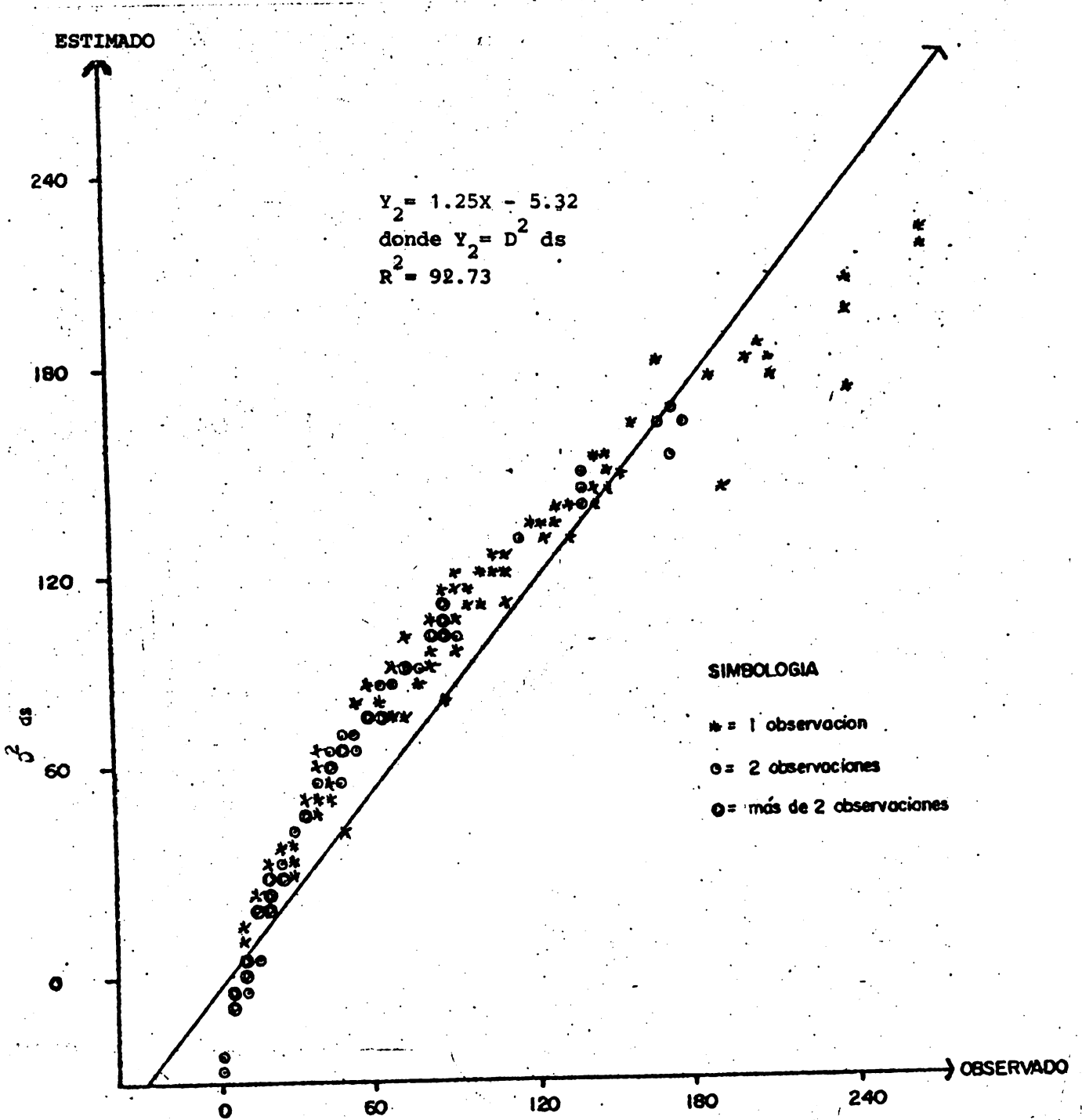


Fig. 12. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre valores observados y estimados utilizando el cuadrado del diámetro de muestra ( $D^2$ ) como factor de ponderación de la densidad seca ( $ds$ ).

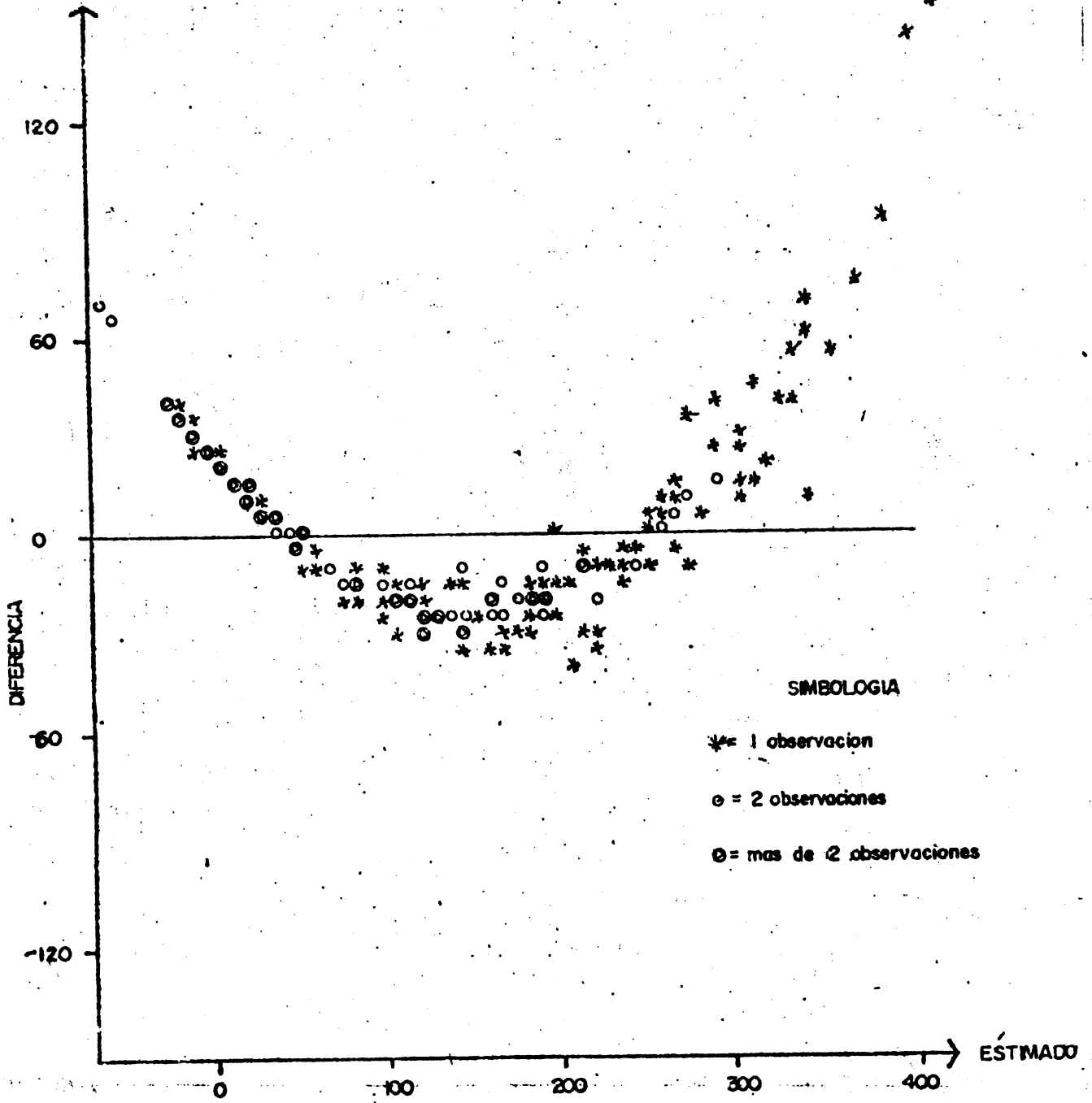


Fig. 13. Distribución de los residuos de regresión del modelos  $Y_1 = 2.93X - 1.04$ , donde  $Y_1 = D^2 dh$ .



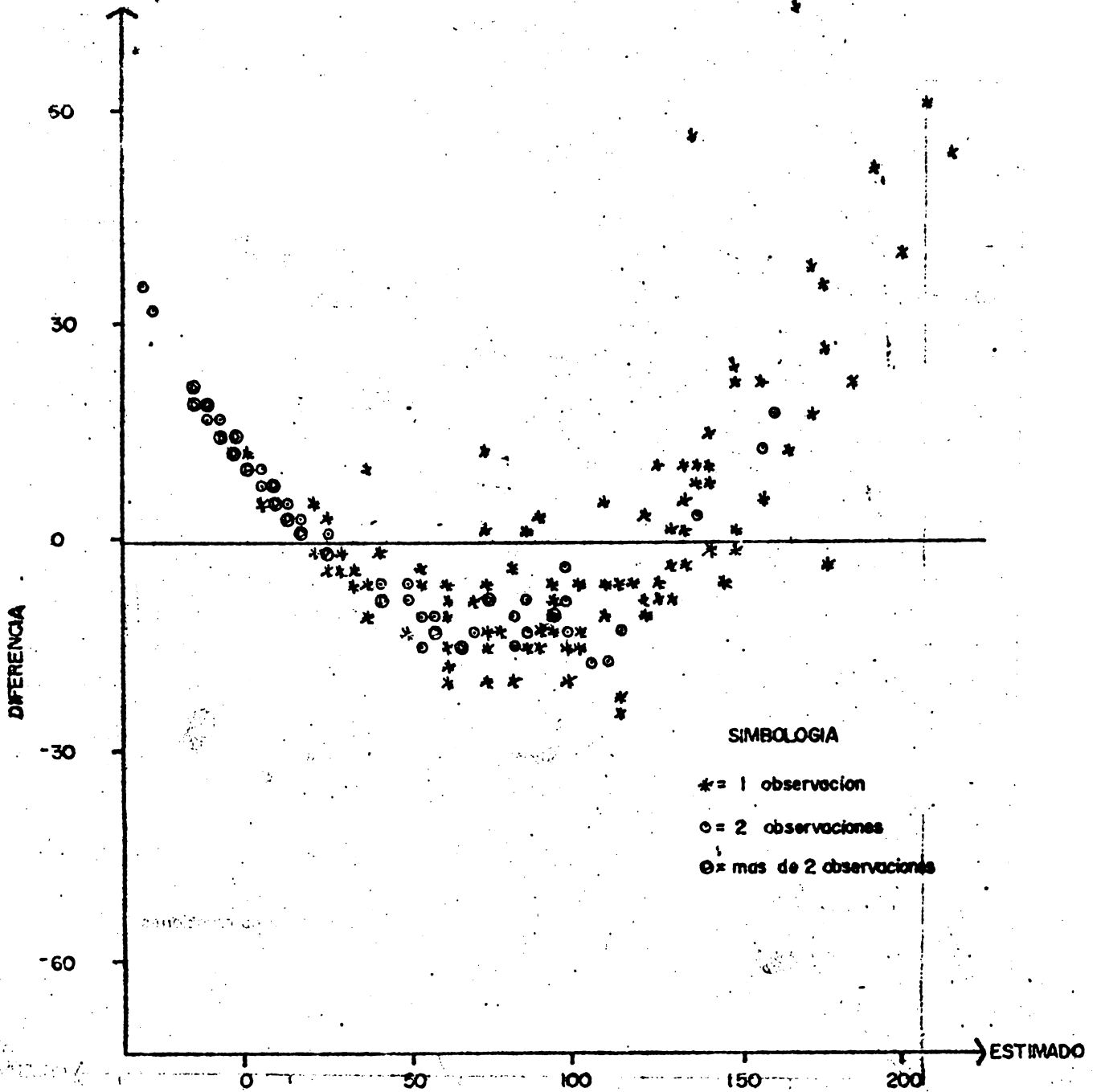


Fig. 14. Distribución de los residuos de regresión del modelo  $Y_2 = 1.25X - 5.32$ , donde  $Y_2 = D_2$  de  $d_1$ .

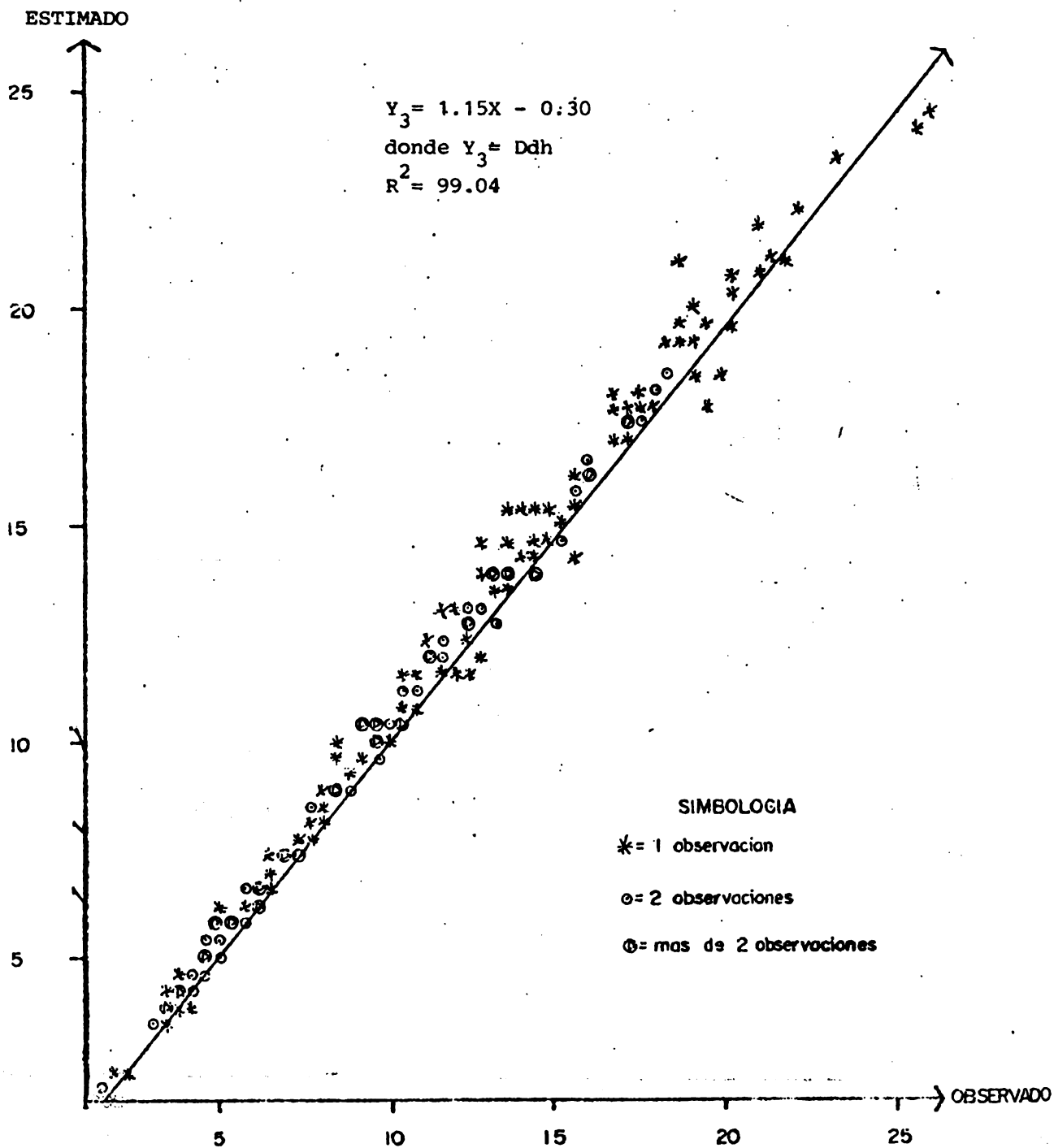


Fig. 15. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre valores observados y estimados, utilizando el valor lineal del diámetro de muestra ( $D$ ) como factor de ponderación de la densidad húmeda ( $dh$ ).

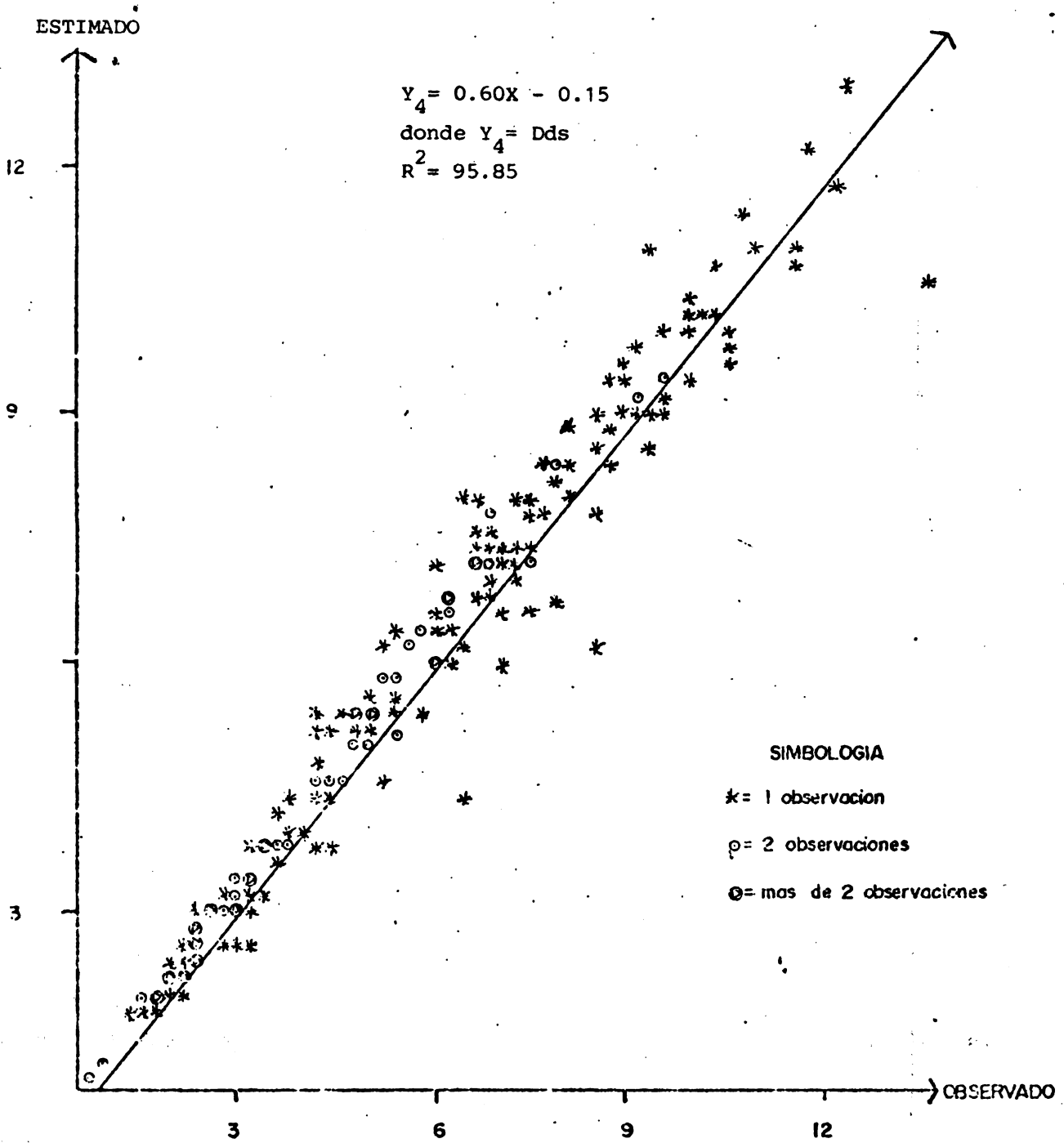


Fig. 16. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre valores observados y estimados, utilizando el valor lineal del diámetro de muestra (D) como factor de ponderación de la densidad seca (ds).

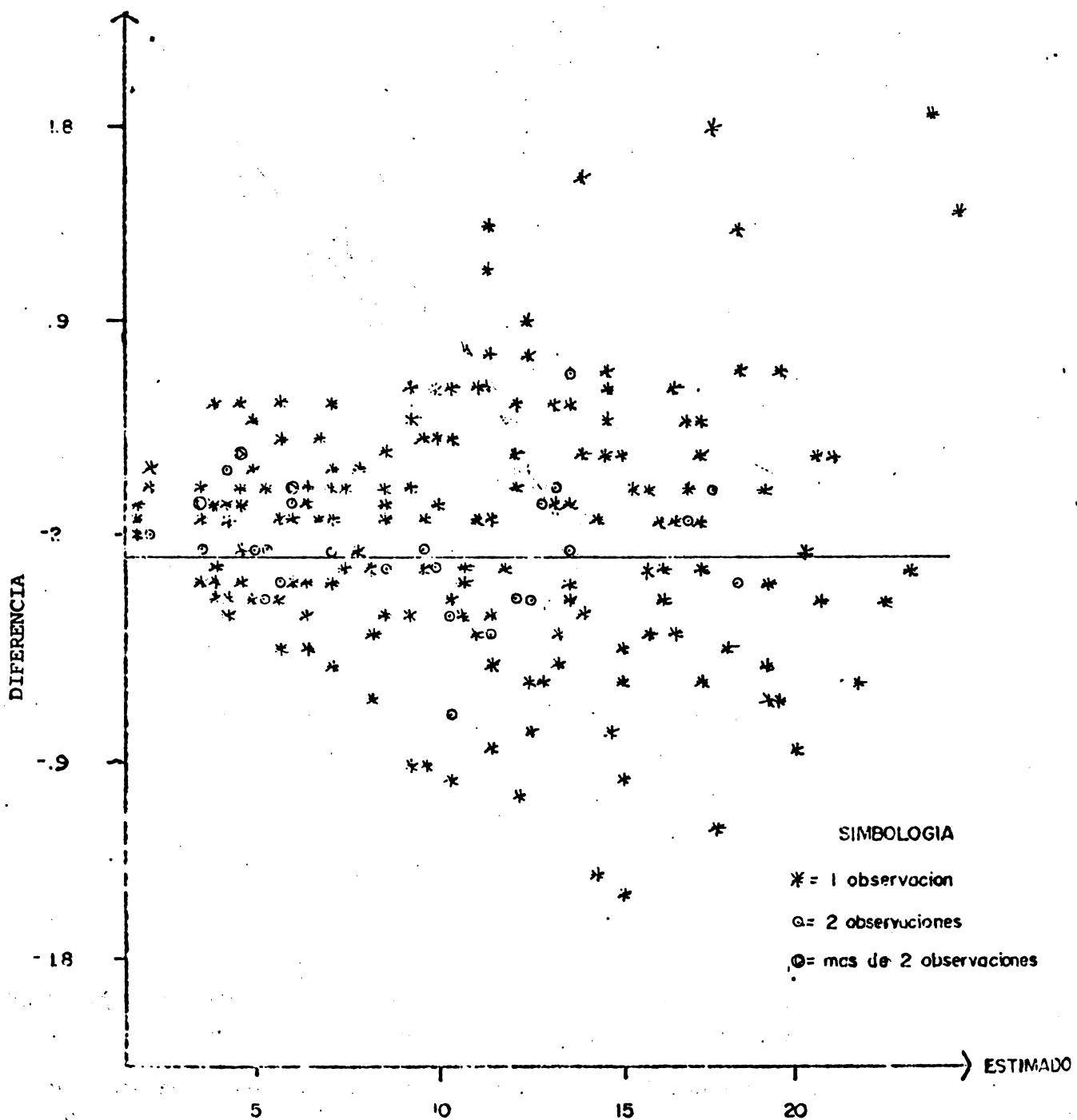


Fig. 17. Distribución de los residuos de regresión del modelo  $Y_3 = 1.15X - 0.30$  donde  $Y_3 = Ddh$ .

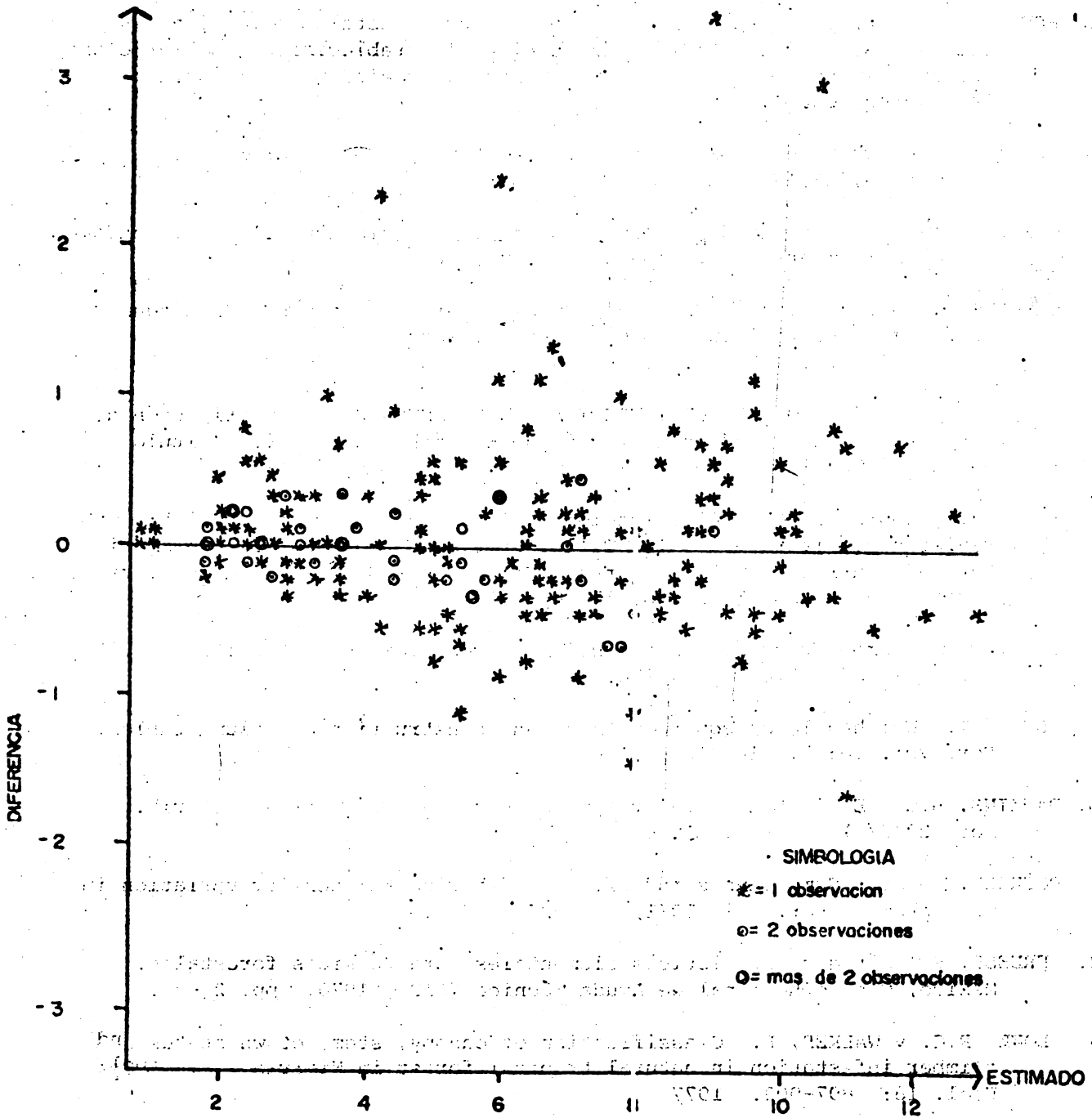


Fig. 18. Distribución de los residuos de regresión del modelo:  $Y_4 = 0.60X - 0.15$ , donde  $Y_4 = Dds$ .

BIBLIOGRAFIA

1. BAKER, G. Estimating specific gravity of plantation-grown Red Pine. For. Prod. J. 17(8): 21-24. 1967.
2. BEER, J.W. Estudio y promoción de sistemas agroforestales tradicionales en Centro y Sudamerica. II. Introducción al establecimiento de parcelas permanentes en asociaciones agroforestales tradicionales. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 13 p.
3. BUDOWSKI, G. The applicability of agroforestry systems. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 22 p.
4. CAILLIEZ, F. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, Roma, FAO: montes 22/1, 1980. 92 p.
5. CARPENTER, B.E. Jr. y HOPKINS, W.C. Specific gravity values of sweetgum (*Liquidambar styraciflua*) topwood and bolewood. For. Prod. J. 16(7): 30. 1966.
6. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Investigación de los sistemas de finca en la región de Hojanca, Costa Rica (título aprox.). Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. En edición.
7. COMBE, J. y BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas agroforestales: una revisión de literatura. In Taller sistemas agroforestales en América Latina. Turrialba, 1979. Actas. Editado por G. De las Salas, Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. pp. 17-48.
8. CROW, T.R. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. For. Sci. 24: 110-114. 1978.
9. CUNIA, T. Weighed least square method and construction of volume tables. For. Sci. 10(2): 180-191. 1964.
10. DAWKINS, H.C. Estimating total volume of some caribbean trees. Carib. For. 22(3/4): 62-63. 1961.
11. DOERNER, K. Jr. Some causes and effects of horizontal density variation in tree stems. For. Sci. 10(1): 24-27. 1964.
12. FREESE, F. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. México, Centro Regional de Ayuda Técnica (AID), 1970. pp. 24-33.
13. LOWE, R.G. y WALKER, P. Classification of canopy, stem, crown status and climber infestation in natural tropical forest in Nigeria. J. Appl. Ecol. 18: 897-903. 1977.
14. OGAWA, H. et. al. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. Nature and life in Southeast Asia 4: 49-80. 1965.

15. SOMARRIBA, E. Asociación de guayaba (Psidium guajava) con pasto. Dispersión de semillas y abastecimiento de forraje. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 9 p.
16. TAYLOR, F.W. Specific gravity differences within and among Yellow Poplar trees. For. Prod. J. 18(3): 75-81. 1968.
17. TORRES, A.S., SEVILLA, E.L. y RODRIGUEZ, H.H. Especies usadas y preferidas para leña en Costa Rica, CATIE, sf. 27 p.
18. VOORHIES, G. Specific gravity studies of young-growth Southwestern Ponderosa Pine. For. Prod. J. 19(6): 45-46. 1969.
19. WAHLGREN, H.E. Development of a model for estimating tree specific gravity of loblolly Pine. Dissert. Abstr. 29 B (8): 2700. 1969.
20. WHITTAKER, H. y WOODWELL, G.M. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. J. Ecol. 56(1): 1-25. 1968.