

DISTRIBUCION DEL SISTEMA RADICULAR DEL COFFEA ARABICA

var. TYPICA EN CINCO TIPOS DE SUELO

Por

Sócrates Bermúdez Espinoza

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

Turrialba, Costa Rica

Abril 1954

DISTRIBUCION DEL SISTEMA RADICULAR DEL COFFEA ARABICA  
var. TYPICA EN CINCO TIPOS DE SUELO

Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Graduados  
como requisito parcial para

optar al grado de

Magistri Agriculturae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

Aprobado:

Alto E. Royer

Consejero

D. G. de la Cruz

Comité

J. G. de la Cruz

Comité

Abril, 1954

## AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar al Doctor Alto E. Royer sus sinceros agradecimientos por haberlo guiado en la realización de este trabajo.

A los miembros de su Comité Consejero, doctores Rodrigo G. Orellana y Jorge León, por la revisión del manuscrito.

Al Ingeniero Agrónomo Carlos Madrid, Director de la Zona Andina del Programa de Cooperación Técnica del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, por la oportunidad que le brindó de hacer estudios post-graduados en Turrialba.

## BIOGRAFIA DEL AUTOR

Sócrates Bermúdez Espinosa nació en Manabí, Ecuador, en el año 1924.

Realizó sus estudios en Bahía de Caraquez - Manabí - obteniendo en 1947 el título de Bachiller.

De 1947 a 1952 realizó sus estudios de Ingeniería agronómica en la Escuela de Agronomía y Veterinaria de la Universidad central del Ecuador, en Quito.

Trabajó en Quito en la Dirección Técnica de Agricultura del Ministerio de Economía.

Fué becado por la Zona Andina del Programa de Cooperación Técnica del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas para realizar estudios post - graduados en Turrialba, Costa Rica.

Sus estudios y trabajo en este Instituto, los realizó de Noviembre de 1952 a Abril de 1954.

## TABLA DE CONTENIDO

Agradecimiento . . . . .	i
Biografía del autor .. . . .	ii
Tabla de contenido . . . . .	iii
INTRODUCCION . . . . .	1
REVISION DE LITERATURA . . . . .	3
MATERIALES Y METODOS . . . . .	7
Elección de la zona . . . . .	7
Elección de las plantas . . . . .	8
Determinación de las características físicas de los suelos estudiados. . . . .	8
a) Textura . . . . .	10
b) Humedad equivalente.. . . .	10
c) Porosidad total . . . . .	10
d) Capacidad de infiltración . . . . .	11
Método de excavación .. . . .	11
Separación de las raíces .. . . .	15
Clasificación de las raíces . . . . .	17
Cálculo del peso total del sistema radicular .. . . .	18
Cálculo de la concentración de raíces . . . . .	25
RESULTADOS . . . . .	26
Distribución del sistema radicular del cafeto en cinco tipos de suelo .. . . .	26
Aragón . . . . .	26
Oriente . . . . .	33
Las Joyas .. . . .	36
Instituto -Lote 15 . . . . .	38
Atirro . . . . .	41
Relación entre el sistema radicular y las condi- ciones físicas del suelo .. . . .	45

DISCUSION Y CONCLUSIONES . . . . .	47
RESUMEN . . . . .	54
ABSTRACT . . . . .	56
BIBLIOGRAFIA CITADA . . . . .	58

# DISTRIBUCION DEL SISTEMA RADICULAR DEL COFFEA ARABICA

## var. TYPICA EN CINCO TIPOS DE SUELO

### INTRODUCCION

Es bien conocida la importancia que desempeñan las raíces en la planta en múltiples y vitales funciones. Sin embargo, son muy escasas las investigaciones realizadas sobre la morfología y distribución de estos órganos. Esto se debe seguramente a que la raíz está oculta en el suelo y a que su estudio envuelve muchas dificultades. De todas maneras, es un problema que debe encararse, porque ayuda a esclarecer muchos hechos importantes, algunos de amplia aplicación práctica y hasta se podría decir que con un conocimiento claro del sistema radicular y de las reacciones de éste a las condiciones del suelo en que crece, se podría controlar mucho el comportamiento de la planta.

Concretándonos al cafeto, el conocimiento de la distribución de las raíces a varias profundidades del suelo y a distintas distancias del tronco, sería una valiosa guía en la solución de los siguientes problemas: a) una a apropiada elección de árboles de sombra; b) un adecuado distanciamiento entre plantas de cafeto; c) una mayor e eficiencia de las prácticas culturales, y d) las mejores formas y métodos de aplicación de fertilizantes.

De lo anterior se deduce que las dos razones más importantes que hacen indispensable el estudio de la dis-

tribución del sistema radicular del cafeto en diferentes tipos de suelo, son:

1. determinar la influencia de las condiciones físicas del suelo sobre la conformación y el desarrollo del sistema radicular, y

2. las aplicaciones que tendrían estos conocimientos en el mejoramiento de las prácticas de cultivo.



## REVISION DE LITERATURA

De acuerdo con Franco (3), los primeros datos sobre el sistema radicular del cafeto fueron dados por Dafert y Toledo Braga en Brasil, quienes pesaron las diferentes partes de árboles de diversas edades, para fines de cálculo de abono. En este estudio no se tomó en consideración los pelos absorbentes por su peso insignificante en relación a las demás partes del árbol. Dafert (2, p. 65), observa que los mejores resultados en el cultivo del café se deben a las buenas propiedades y constitución física del suelo, el que frecuentemente es de pobre composición química.

Nutman (7, 8, 9), estudió el sistema radicular del café de las variedades Kent y Bourbon, en plantas de 3 años. Su técnica consistió en lavar el suelo mediante un chorro de agua a presión, exponiendo las raíces en capas. Luego, las raíces se ponían en su posición original, utilizando clavos largos de acero. Al finalizar esta operación, se colocaba horizontalmente una malla de alambre de 1 pie de separación entre sus hilos y en un papel cuadrículado se dibujaba a escala el sistema radicular; cuando no se disponía de agua, se excavaba el suelo con cincel y martillos. Utilizó también otro método que consideró más exacto, consistente en excavar una zanja a lo largo de una fila de árboles y a 20 ó 22 cms. de los troncos.

Pegada al corte vertical de la zanja, ponía una malla como la descrita, y lavaba el suelo en bloques de 1 pie cúbico, con un chorro de agua a presión. Las raíces de cada bloque se recogían, lavaban y secaban, midiéndose luego la longitud de los pelos absorbentes. Los resultados los expresaba en unidades de concentración, dando la longitud en metros de los pelos absorbentes por pie cúbico de suelo a distintas profundidades. Nutman encontró poca diferencia en los diferentes suelos estudiados y concluyó que el cafeto de 5 a 6 años ya tiene definida la conformación de su sistema radicular y que la presencia de "hard pan" (capa endurecida) influye muy poco sobre el desarrollo de las raíces.

Trench (20), trabajó en Kenya con cafetos de 3 años. Su método consistió en separar las raíces mediante el lavado y en dibujar su distribución. Sus conclusiones se refieren no tanto a la distribución del sistema radicular como al probable efecto del cultivo y de los abonos sobre su distribución.

Guiscafre-Arcillaga y Gomez (4, 5, 6), estudiaron en Puerto Rico las raíces de cafetos de 7 a 12 años en dos tipos de suelo: "Coloso", originado en deposiciones coluviales y aluviales y con pobre drenaje, y "Catalina", que es una laterita bien drenada. La técnica empleada por estos investigadores consistió en excavar el terreno comprendido entre 6 árboles, en bloques de 1 pie

cúbico hasta la profundidad que alcanzaran las últimas raíces. De cada bloque se retiraban las raíces que luego eran lavadas y secadas al aire para determinar su peso.

Estos investigadores concluyeron: 1) que el 95% de las raíces están en las 12 primeras pulgadas - 30 cms. - de suelo; 2) que la relación de parte aérea a raíz es de 3/1; 3) que el desarrollo vigoroso de la parte aérea depende de un buen sistema de raíces; 4) que el diámetro o grosor del tronco es la mayor indicación del desarrollo de la parte aérea y del sistema radicular del arbusto; y 5) que el cafeto tiene un sistema radicular superficial y generalmente de la forma de un cono invertido. Además, como recomendaciones, anotan que la distancia mínima entre plantas debe ser de 8 x 8 pies (2.44 x 2.44 m).

Thomas (18) en Uganda, estudió la distribución de las raíces de C. canephora (Robusta). Utilizó un método de muestreo con un barreno de 2 pulgadas de diámetro, y sus conclusiones indican que si la planta crece sin interferencia, hay gran concentración de raíces finas muy cerca de la superficie de la tierra.

Franco e Inforzato (3) en Brasil, trabajaron en C. arabica en los principales tipos de suelo de Sao Paulo: 1) "terra roxa mixturada", de buenas propiedades físicas, originadas de rocas ígneas básicas; 2) "Massapé", de origen basáltico, arcillosa y más rica que la anterior; y 3) el "Barú", superior de Pindorama que es arenoso, de

granulación uniforme y fácilmente lavable. El método usado consistió en excavar una zanja profunda a lo largo de 4 plantas, a 15 cms. de los troncos. Luego cortaron bloques de suelo de 30 x 30 cms. en la superficie, cuyo grosor variaba desde 10 cms. en las 3 primeras capas hasta 30 cms. después de los 70 cms. de profundidad. Con los datos obtenidos se construyó un mapa de excavación. La mejor distribución la encontraron en la "terra roxa mixturada", donde las raíces se extendían hasta 2.50 m. de profundidad y estaban bien repartidas en todo el suelo. Concluyeron que no se puede hablar de un sistema radicular típico del café, pero sí de un sistema radicular para un determinado suelo, porque las propiedades físicas y químicas de éste modifican su distribución. La única afirmación hecha es que la raíz primaria no tiene más de 0.5 m. de profundidad y que el espaciamiento óptimo lo determina el tipo de suelo en que se establece el cafetal.

Por último, Suárez de Castro (17) en Colombia, utilizando el método de Franco e Inforzato, estudió la distribución de las raíces de C. arábica en un suelo franco-limoso, expresando los resultados gráficamente. Las conclusiones indican que: 1) las raíces del cafeto en el suelo estudiado son superficiales; 2) que el grosor de la primera capa de suelo determina el desarrollo de las raíces; y 3) que la concentración de raíces disminuye progresivamente del tronco hacia la periferia.

## MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se concretaron al estudio de la distribución del sistema radicular del arbusto de C. arabica var. typica, en diferentes tipos de suelo, en los cuales se estudiaron ciertas características físicas que se supone influyen el desarrollo y conformación de las raíces del café. En las medidas se trató de encontrar las diferencias existentes en el sistema radicular a diferentes profundidades y distancias del tronco.

## Elección de la zona

Como paso previo se procedió a elegir los lugares ubicados dentro de la zona cafetalera en que se realizaría el estudio. En la zona de Turrialba se eligieron cinco lugares distintos por sus condiciones de suelo, pero similares por sus condiciones climáticas. Los datos meteorológicos acusan los siguientes valores: Temperatura media anual: 24°C; días lluviosos durante el año (promedio): 185; precipitación anual (promedio): 115"; la altitud a que se encuentra la zona, oscila entre 600 y 700 m. sobre el mar.

Los cinco lugares escogidos fueron: 1) Aragón, en donde el horizonte "A" está bien desarrollado (Cuadros 2 y 3) y tiene buenas condiciones de drenaje; 2) Oriente, que se encuentra a una pendiente de 45-50° en

el que el horizonte "A" es poco desarrollado y el "B" no existe (Cuadros 2, 3 y 4); 3) Las Joyas, en donde el nivel freático está a 50 cms. de profundidad, pero la textura favorece una buena infiltración entre este nivel y la superficie del suelo (Cuadros 2, 3 y 4); 4) Instituto-Lote 15, en donde existe una capa endurecida desde 50 cms. de profundidad hacia abajo (Cuadros 2, 3 y 4); y 5) Atirro, donde a lo largo de las hileras de plantas existe un lomillo de tierra vegetal porosa, cubierto con 2-3 cms. de materia vegetal en proceso de descomposición; el nivel freático en este lugar es elevado (Cuadros 2, 3 y 4).

#### Elección de las plantas

En cada uno de los suelos anotados se eligió una planta de café, que por su aspecto externo se la consideró como una muestra representativa de la población. Las plantas escogidas tenían una edad aproximada de 30 años y el diámetro de la base del tronco fue diferente para cada una de ellas (Cuadro 1).

#### Determinación de las características físicas de los suelos estudiados

Utilizando un tubo de acero de 0.74" de diámetro, se tomaron muestras de suelo en el área ocupada por cada cafeto, a las profundidades de 0-15, 15-30, y 30-45

CUADRO 1. Características de los cafetos estudiados en cinco suelos.

Suelo	Edad (años)	Arbol de Sombra	Altura (metros)	No. de ramas	Diametro de la base del tronco (cms.)	Aspecto General
Aragon	30	<u>Inga spp.</u>	2.30	7	16.0	Vigoroso y con buen follaje
Oriente	30	<u>Inga spp. y Erythrina spp.</u>	2.70	4	10.5	" "
Las Joyas	30	<u>Inga spp. y Musacea spp.</u>	2.75	4	10.0	" "
Instituto -Lote 15 -	30	<u>Inga spp.</u>	2.85	5	13.0	" "
Atirro	30	<u>Inga spp. y Erythrina spp.</u>	2.75	4	12.0	" "

cms. Estas fueron secadas al aire, trituradas y pasadas por un tamiz de 2 mm. de diámetro, para determinar la textura, y la humedad equivalente.

a) Textura. Esta fué determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos (10), usando como agente desfloculante soluciones saturadas de silicato y oxalato de sodio. Para la clasificación se utilizó la tabla de tamaños límites de separados del suelo, preparado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (19).

b) Humedad Equivalente. Fué determinada por el método clásico de la centrifugación, para lo cual se utilizó una centrífuga International "Centrigue Model M. E.", usando 16 replicaciones para cada determinación (10).

c) Porosidad Total. La determinación del porcentaje de espacios de poros en cada uno de los suelos fué verificada en varias muestras tomadas dentro de la misma área indicada para las anteriores, a una profundidad de 7 cms. sin afectar su estructura natural, valiéndose de un recipiente apropiado para el efecto de 473.2 cc. Estas muestras fueron saturadas, por un lapso de 48 horas, dentro del recipiente, a fin de evitar pérdidas de suelo. Luego fueron pesadas y secadas al horno a 105°C hasta obtener un peso constante. Por diferencia de peso, se encontró el peso del volumen de agua que ocupaban los



poros. El cálculo se efectuó difidiendo esta diferencia entre el volumen (473.2 cc.) de la muestra multiplicado por 100.

d) Capacidad de Infiltración. La capacidad de infiltración fué determinada usando un cilindro de hojalata que tenía un diámetro de 14 cms., el que fué introducido en el suelo hasta la profundidad de 10 cms. sin afectar las condiciones de estructura natural de éste. Dentro del cilindro introducido y sobre el nivel del suelo, se vació una capa de agua de 1" de espesor (16.387 cc.) lo que se repitió las veces necesarias hasta que el tiempo de infiltración fué constante. Los valores se expresan en cc. y en pulgadas de infiltración de agua por hora (Cuadro 11).

Dentro de las características físicas, también se estudiaron los perfiles edáficos de cada suelo (Cuadros 2, 3 y 4).

#### Método de Excavación

En general, el método usado fué el que usó Franco e Inforzato en Brasil, excepto en Atirro, en donde la existencia de un lomillo a lo largo de la hilera de plantas no lo permitió.

Este método consiste en abrir una zanja en dirección paralela a la hilera de plantas, a 15 cms. de los ejes centrales de los troncos y que en el presente caso tenía 50

CARACTERISTICAS EDAFICAS DE LOS PERFILES DE CINCO TIPOS DE SUELO

CARACTERISTICAS	TIPOS DE SUELO		Atirro
	Aragon	Las Joyas	
	<u>CUADRO 2. HORIZONTE "A"</u>		
Profundidad	40 cms.	13 cms.	35 cms.
Color *	Pardo oscuro	Gris parduzco	Negro parduzco
Textura	Franco-arcilloso	Franco-arcillo-arenoso	Arcilloso
Estructura	Bloques angulares finos	Granular	Granular fino
Consistencia *	Semi dura.	Muy suelta	Dura
Materia organica	Abundante	Muy abundante	Muy abundante
Drenaje	Muy bueno	Bueno	Bueno
Observaciones	Abundancia de raices	Abundancia de raices y grava	Mucha grava

CUADRO 3. HORIZONTE "B"

Profundidad	De 40 cms. en adelante	17 cms. (13-30)	15 cms. (350-50)	15 cms. (20-35)
Color *	Pardo amarillento	Gris claro	Pardo negruzco	Gris oscuro
Textura	Franco arcillosa	Franco-arcillo-arenoso	Arcilloso	Franco-arcillo-arenoso
Estructura	Granular poco definido	Granular	Granular indefinido	Granular
Consistencia *	Dura	Suave	Dura o muy dura	Suelta
Materia Organica	Calcinada	Poca	Agundante	Muy agundante (muy fina)
Drenaje	Bueno	Bueno	Bueno	Regular
Observaciones			Mucha grava y piedras	

CUADRO 4. HORIZONTE "C"

Profundidad	De 9 cms. en adelante	30 cms. y mas	50 cms. y mas	De 35 cms. en adelante
Color *	Blancuzco	Gris pardo oscuro	Pardo amarillento	Gris amarillento
Textura	Franco-arcillo-arenoso	Arenoso	Arcilloso	Arenoso
Estructura	Granular	Granular uniforme	Terronosa	Granular fino
Consistencia *	Dura	Suelta	Muy dura	Suelta
Materia organica	Casi nada	Casi nada	Casi nada	Muy escasa
Drenaje	Regular	Malo	Malo	Malo
Observaciones		El nivel freatico esta a 50 cms.	Mas del 85% es grava	El nivel freatico esta medido desde el lomillo

\* El color y la consistencia fueron determinados con muestras secas al aire.

La determinacion del color se hizo usando el "soil color standard" elaborado por Storie y Gardner de la Universidad de California.

1/ No existe el horizonte "B"

2/ El horizonte "C" estuvo mas abajo de 3 metros.

cms. de ancho (lo suficiente para que se muevan uno o dos trabajadores, La longitud de ella fué de 2.70 m. excepto en el caso de Aragón, que fué de 3.30 m., y la profundidad un poco más de la que tienen las raíces más profundas. La pared vertical cercana al tronco se pulió cuidadosamente para que quedara exactamente a 15 cms. de la hilera de plantas. Al otro lado de las plantas se marcó con un cordel otra línea que dista también 15 cms. del eje central de los troncos, de manera que entre el arista superior de la zanja y el cordel, se pudo marcar una zona de tierra de 30 cms. de ancho (Figura 1). Luego esta zona se dividió en cuadros de 30 x 30 cms. partiendo del eje central del tronco hacia ambos extremos de la zona de tierra marcada. Seguidamente se mortaron prismas de tierra, cuyas bases (30 x 30 cms.) son los cuadros mencionados y la altura es 10 cms. Una vez removida una capa de 10 cms. de espesor, se repitió la operación hasta remover 2 (dos) capas más, o sea hasta 30 cms. de profundidad. Desde los 30 cms. de profundidad hacia abajo, la altura de los prismas fué 20 cms. y las bases continuaron siendo las mismas que para los anteriores.

En esta forma se extrajo toda la tierra necesaria para el estudio de la distribución radicular de cada planta, variando de acuerdo al volumen de tierra ocupado por el sistema radicular de ellas. Estos bloques vienen a formar una muestra de su sistema radicular

y la zona más próxima a la planta.

En la Figura 1 se puede apreciar una zanja de 50 cms. de ancho y la forma como se van extrayendo los bloques de tierra para el estudio.

### Extracción de los raíces



Para la extracción de las raíces se usó un color blanco como blanco (Figura 2) se usó este método para evitar el uso de aceites químicos de tierra al laboratorio y para no disponer de agua y presión en el lugar donde se realizó el estudio.

Figura 1. Puede apreciarse la zanja de 50 cms. de ancho y la zona marcada por los cordeles, de 30 cms. de ancho, que será extraída en bloques para el estudio de la distribución del sistema radicular. Como se ve en la planta de café, pero es fácilmente diferenciable por raíces de masalear con más succulencia y brancas y de color más claro que las raíces del café; las raíces de

y pesan más o menos 1 tonelada.

En la Figura 1 se puede apreciar el trazo de la zanja y la forma como se van extrayendo los bloques de tierra para el estudio.

#### Separación de las raíces

Los bloques de tierra se ponen en cedazos con mallas de 1 cm. de diámetro y de él se extraen las raíces grandes y gran parte de las raicillas. Como muchas de éstas no se ven con facilidad en los suelos de consistencia dura, es necesario demoronar los terrones para que aparezcan, pudiéndose entonces retirar con las manos. Las raicillas que aún quedan en el suelo se retiran sacudiendo el cedazo para que caigan en una capa de suelo suelto de más o menos 0.5 cms. de espesor, en donde se distinguen claramente por su color blanquecino típico (Figura 2). Se usó esta técnica para evitar el traslado de tantos quintales de tierra al laboratorio y por no disponer de agua a presión en el lugar donde se realizó el estudio.

Fué muy frecuente encontrar raíces de otras plantas mezcladas con las del cafeto, especialmente de Inga y Musáceas, utilizadas como sombra en la plantación de café, pero son fácilmente diferenciables: las raíces de Musáceas son más suculentas y blandas y de color más claro que las raíces del cafeto; las raíces de

Elas se diferencian por su color rojizo, su corteza más gruesa y por ser más frágiles, pero sobre todo por su color típico muy diferente al de café.

### Clasificación de las raíces

Tomando como base el diámetro, las raíces de café fueron clasificadas en 6 grupos ( Cuadro 5).

Cuadro

según el  
cm. 2.00.

Gr

por cada  
masa

5	10-20 mm.	0.58
6	30 y más	0.14

Figura 2. Cedazo usado en la separación de las raíces, en momentos de la operación.

Como se ve en el cuadro precedente, al cribar se  
no lo forman las raíces con un diámetro menor de 2 mm. y co  
rresponden en el presente estudio a las raicillas más finas.  
El segundo grupo lo forman las de 1 a 2 mm. El tercero las  
de 2 a 4 mm. En el grupo 6 se incluye la raíz principal. Se  
tos valores fueron obtenidos con el procedi. de medición

Inga se diferencian por su color rosado, su corteza más gruesa y por ser más frágiles, pero sobre todo por su olor típico muy diferente al de café.

#### Clasificación de las raíces

Tomando como base el diámetro, las raíces de café fueron clasificadas en 6 grupos ( Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación de las raíces del cafeto según su diámetro y su relación de peso seco a longitud.

Grupos	Diámetro	Metros por cada 1000 gramos
1	0- 1 mm.	18,745.76
2	1- 2 mm.	1,365.35
3	2- 4 mm.	250.00
4	4-10 mm.	130.00
5	10-30 mm.	0.58
6	30 mm. y más	0.14

Como se ve en el cuadro precedente, el primer grupo lo forman las raíces con un diámetro menor de 1 mm. y corresponden en el presente estudio a las raicillas más finas. El segundo grupo lo forman las de 1 a 2 mm. El tercero las de 2 a 4 mm. En el grupo 6 se incluye la raíz principal. Estos valores fueron obtenidos como un promedio de 4 medicio-

nes por planta estudiada.

Si se eludiera esta clasificación de las raíces, se les daría el mismo valor a 1,000.00 grs. de raicillas (= 18,745.76 de longitud) y a 1,000.00 de la raíz principal (= 0.14 m. de longitud) cuando en realidad las raíces delgadas son nutricionalmente más importantes.

Las raíces de cada bloque después de ser clasificadas, fueron secadas al horno, hasta obtener peso seco constante, proceso que duró 24 horas. Con estos datos se procedió al cálculo de todo el sistema radicular.

#### Cálculo del Peso Total del Sistema Radicular

De acuerdo al método descrito por Franco e Inforzato (3), se consideró que el suelo ocupado por el sistema radicular del cafeto, es un prisma recto de tierra. Este prisma tiene por base un cuadrado cuyo lado es igual a la distancia entre arbusto de café, y cuya altura es la profundidad máxima a que llegan las raíces.

Como se puede ver en el Gráfico 1, A-B-C-D representa el área ocupada por el cafeto que se encuentra en el centro del cuadrado S O. La zona o muestra de suelo que se extrae para retirar las raíces, está comprendida entre E-F-G-H, y tiene 30 cms. de ancho. La longitud de esta zona fué 2.70 m., excepto en el caso de Aragón, que tuvo 3.30 m. La profundidad está determinada por las raíces más profundas.



## DIAGRAMA DEL METODO USADO.

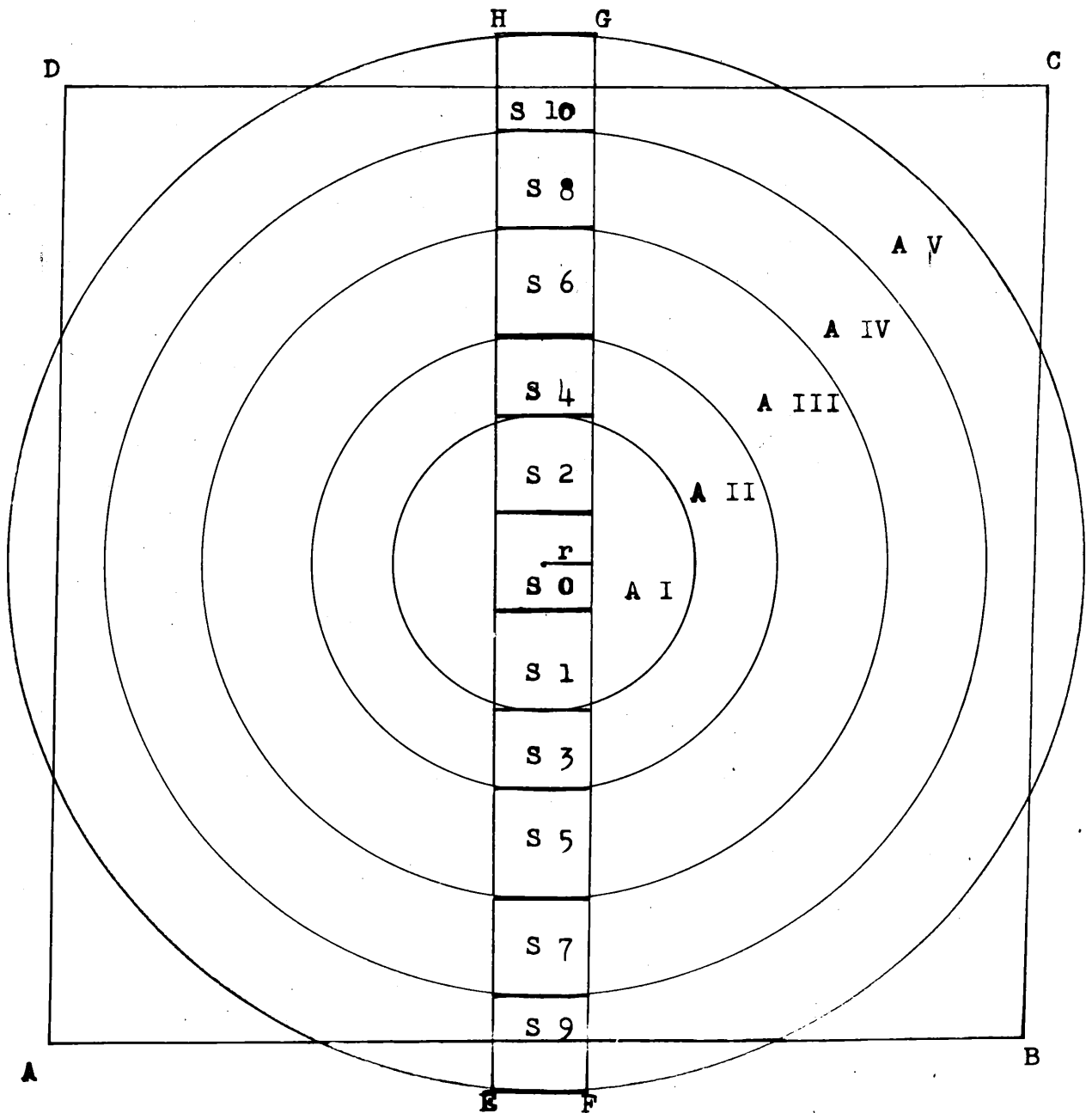


Grafico 1. ABCD == Area de crecimiento de raices  
 EFGH == B  
 EF == 0.30 m.  
 r == 0.15 m.

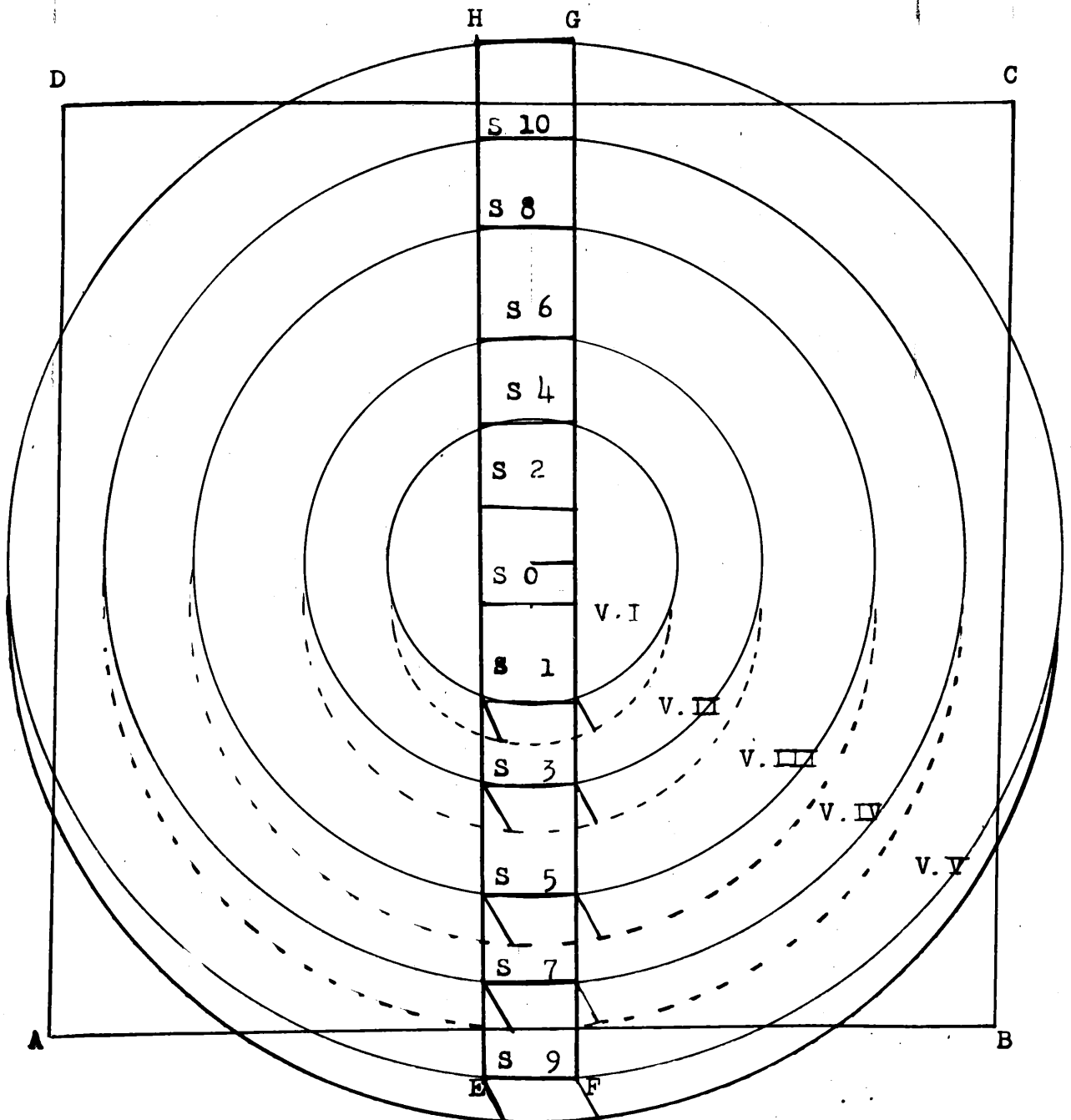


Grafico 2. " Cilindros coronales" a diversas distancias del tronco, de los cuales se excavo el volumen de suelo para el estudio de las raices.

Asumiendo que la distribución del sistema radicular es más o menos uniforme, y después de conocidos los pesos de las raíces que existen en cada uno de los bloques de suelo de la zona extraída (E-F-G-H), se puede calcular el peso de las raíces existentes en los volúmenes de los "cilindros coronales"<sup>1/</sup>. Para ésto se hace una simple proporción entre el volumen conocido de los prismas existentes (por ejemplo S 3 y S 4) en el cilindro coronal (V II) y el peso de raíces encontrado por una parte, y el volumen del cilindro coronal ( V II) por otra (Gráfico 2).

Los errores resultantes de no estar los prismas perfectamente incluidos en los cilindros sucesivos, se compensan.

El volumen V I (Gráfico 2), no tiene como base una corona circular, porque está compuesto por el volumen del cilindro V I menos S 0. Por lo tanto, los volúmenes VI y S0 en el presente estudio, serán para las 3 primeras capas, en las que el grosor fué 0.10 m. igual a:

$$S 0 = 0.30 \times 0.30 \times 0.10 \text{ m.}$$

$$V I = 3.1416 \times r^2 \times 0.10 - S 0$$

Para las capas siguientes en las que el grosor es 20 cms., sólo basta reemplazar este valor.

Para el resto de los volúmenes se calcula la su

---

<sup>1/</sup> "Cilindro coronal" es una capa circular de suelo de profundidad variable usada para determinar el volumen de tierra ocupado por las raíces a diversas distancias del tronco.

perficie de sus bases (que son coronas circulares) y se multiplica por el grosor que tenga la capa.

En el siguiente cuadro se incluyen los valores obtenidos para este fin.

Cuadro 6. Volúmenes de "cilindros coronales" a diferentes distancias del eje central y de distintas profundidades (o alturas).

Profundidad en cms.	Distancias al tronco en cms.					
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165
10	0.009	0.055	0.113	0.169	0.226	0.283
20	0.018	0.109	0.226	0.339	0.452	0.565
30	0.027	0.163	0.339	0.509	0.678	0.848
50	0.045	0.273	0.565	0.484	1.131	1.414
70	0.063	0.382	0.791	1.187	1.583	1.979
90	0.081	0.491	1.018	1.527	2.035	2.545

■ La distancia 0-15 cms. da el volumen de prismas con una base de 30 x 30 cms.

Para calcular los volúmenes de tierra de las dos primeras capas en Atirro, no se pudo utilizar el método de Franco e Inforzato porque éste solo se adapta para estudios en suelos planos. La conformación del terreno en este lugar es un lomillo formado por las labores culturales de "aporca" a lo largo de la hilera de plantas

que se debe transverberar presente la forma de la lombrina, como se puede observar en la figura 3.

Para el cálculo de la sobrevivencia en 2 capas - las más pequeñas (corresponden una a cada capa), se tomaron medidas para el más superficial comprendida entre 0 a 10 cms. de profundidad; 1 a 10 cms.; 5 a 10 cms.; y 10 a 16 cms. para la segunda capa comprendida entre 10 a 16 cms. de profundidad, los datos fueron los siguientes:



	0-10	1-10	5-10	10-16	
0-10 cms.	0.009	0.032	0.027	0.027	0.027
10-16 "	0.009	0.027	0.027	0.027	0.027

Figura 3. Corte transversal del lomillo en profundidades de Atirro. Obsérvese una capa de hojarasca sobre él.

cuyo corte transversal presenta la forma de un trapecio, como se puede apreciar en la Figura 3.

Para el cálculo de lo subdividió en 2 trape - cios más pequeños (corresponde uno a cada capa), siendo sus medidas para el más superficial comprendida entre 0-10 cms. de profundidad:  $B = 60$  cms;  $b = 30$  cms.; y  $h = 10$  cms. Para la segunda capa comprendida entre 10-20 cms. de profundidad, los datos fueron los siguientes:  $B = 100$  cms.;  $b = 60$  cms.; y  $h = 10$  cms. Los volúmenes obtenidos en estas dos capas a distintas distancias del tronco figuran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Volúmen ( $m^3$ ) de tierra comprendido entre va - rias distancias del tronco y a 10 y 20 cms. de profundidad, en un lomillo cuyo corte trans - versal tiene la forma de un trapecio.

Capas	Volúmenes				
	S 0	VI	VII	VIII	IX
1a: 0-10 cms.	0.009	0.0315	0.027	0.027	0.027
2a: 10-20 "	0.009	0.063	0.048	0.048	0.048

Para calcular los volúmenes de tierra de las profundidades posteriores al lomillo, se usó el método de Franco e Inforzato, con ciertas modificaciones.

Cálculo de la concentración expresada  
en gramos por metro cúbico.

Con los valores obtenidos en el cálculo del peso total del sistema radicular, y conocidos los volúmenes de tierra a diversas profundidades y distancias del tronco, se calculó la concentración de las raíces totales y de las raicillas. Esta concentración está expresada en gramos por metro cúbico de tierra para las diversas zonas comprendidas a distintas distancias del tronco y distintas profundidades.

Con estos valores se puede esclarecer posiblemente el distanciamiento entre arbustos, mediante el estudio de la concentración de las distintas zonas situadas a diversas distancias del tronco y la influencia de la porosidad del suelo en diversas profundidades.

También se calculó el porcentaje en base al peso de las raíces totales y de las raicillas.



## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el estudio de la distribución del sistema radicular del cafeto a diversas profundidades y distancias del tronco, y de las características físicas de los suelos, permiten establecer algunas correlaciones entre la distribución de las raíces del cafeto y las características físicas de los suelos estudiados.

### Distribución del sistema radicular del cafeto en cinco tipos de suelo.

Aragón. Los suelos de Aragón se encuentran en una planicie de 4° de pendiente aproximadamente. Su horizonte "A" es bien desarrollado (Cuadro 2) y tiene textura franco-arcillosa (Cuadro 8). El drenaje es bueno, y la capacidad de infiltración fué de 16.39 cc. por hora (Cuadro 11). Se pudo constatar que la siembra del cafetal se la realizó en hoyos de 70 cms. de profundidad, rellenándolos hasta los 20 cms. con materia vegetal, y el resto con tierra superficial, mejorándose así las condiciones físicas de esa parte.

El volúmen de tierra ocupado por las raíces fué 3,103 metros cúbicos. El peso de las raíces totales fué 6,116.15 grs. y su concentración promedio 11,310.96 grs. por metro cúbico. Las raicillas pesaron 873.73 grs.,



equivalente a 16,472.00 m. de longitud, y su concentración promedio fué 309.90 grs. por metro cúbico.

La distribución lateral de las raíces totales alcanzó un radio de 165 cms. Los porcentajes del peso de estas raíces disminuyen del tronco hacia la periferie (Cuadro 13), pero debido a un leve geotropismo negativo el porcentaje de la zona comprendida entre 45 y 75 cms. del eje central del tronco, es mayor que el de la zona comprendida entre 15 y 45 cms.

En la distribución vertical de las raíces totales se observó que la raíz principal midió 50 cms. de longitud, pero se encontraron raíces hasta los 70 cms. de profundidad. Los porcentajes del peso de las raíces aumentan en relación a la profundidad hasta los 30 cms. desde donde decrecen bruscamente hacia abajo (Cuadro 16). La concentración expresada en grs. por metro cúbico, sigue igual distribución a esos porcentajes (Cuadro 17).

Las raicillas tuvieron un crecimiento radial de 165 cms. Los porcentajes del peso aumentan del tronco hasta la zona comprendida entre 75 y 105 cms. y de esta zona decrecen hacia la periferie (Cuadro 19). La concentración en general disminuye desde el tronco hacia la periferie, pero debido al geotropismo negativo mencionado para las raíces totales, en la zona comprendida entre 45 y 75 cms. del tronco es ligeramente mayor que la de la zona comprendida entre 15 y 45 cms. (Cuadro 20).

CUADRO 8. Analisis mecanico de cinco suelos de la zona de Turrialba, Costa Rica

Suelo	Profundidad en cms.	Limo %	Arena %	Arcilla total %	Arcilla coloidal %	Clasificacion
Aragon	0-15	20.5	41.0	38.5	24.40	Franco-arcilloso
	15-30	22.8	37.5	39.7	26.00	Franco-arcilloso
	30-45	24.3	34.2	41.5	23.30	Arcilloso
Oriente	0-15	21.8	41.9	36.4	28.48	Franco-arcilloso
	15-30	24.2	44.6	31.0	22.80	Franco-arcilloso
	30-45	36.0	24.4	39.6	26.80	Franco-arcilloso
Las Joyas	0-15	27.56	48.22	24.22	15.00	Franco-arcillo-arenoso
	15-30	25.0	45.0	30.0	19.20	Franco-arcillo-arenoso
	30-45	22.0	53.0	25.0	17.76	Franco-arcillo-arenoso
Instituto -Lote 15-	0-15	23.6	32.4	44.0	26.00	Arcilloso
	15-30	24.4	31.6	44.0	29.00	Arcilloso
	30-45	30.4	27.6	42.0	32.00	Arcilloso
Atirro	0-15	27.0	45.4	27.6	19.00	Franco-arcillo-arenoso
	15-30	26.6	47.0	26.4	17.00	Franco-arcillo-arenoso
	30-45	27.8	46.0	26.2	16.00	Franco-arcillo-arenoso

CUADRO 9. Humedad equivalente en cinco tipos de suelo a tres profundidades.

Tipo de suelo	Profundidad en cms.		
	0-15 %	15-30 %	30-45 %
Aragon	40.03	41.25	40.91
Oriente	47.38	41.91	34.49
Las Joyas	46.05	33.84	25.70
Instituto - Lote 15	39.47	45.69	44.16
Atirro	45.08	42.17	40.18

CUADRO 10. Porosidad total en cinco tipos de suelo.

Tipo de suelo	Profundidad cms.	Porosidad Total %
Atirro (lomillo)	7	66.40
Aragon	7	64.50
Aragon (hoyo)	75	71.94*
Instituto - Lote 15	7	62.30
Instituto - Lote 15 (hoyo)	75	74.50*
Las Joyas	7	61.24
Oriente	7	60.44

\* La muestra para determinar la porosidad del hoyo, fue una tierra de origen vegetal con que se lo relleno antes de sembrar la planta.

CUADRO 11. Capacidad de infiltracion en cinco tipos de suelo.

Tipo de suelo	Infiltracion Pulgadas/hora	c.c./hora
Aragon	1.00	16.387
Oriente	0.750	12.290
Las Joyas	0.925	15.160
Instituto - Lote 15	0.950	15.567
Atirro	0.875	14.340

DISTRIBUCION LATERAL DE LAS RAICES TOTALES DE CAFE ARABICA EN CINCO TIPOS  
DE SUELO DE LA ZONA DE TURRIABA, COSTA RICA

CUADRO No. 12 Peso en gramos a diversas distancias del eje central del tronco.

TIPOS DE SUELO:	DISTANCIAS AL TRONCO EN cms.						Total
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	
Atirro: Franco-arcillo-arenoso	2,501.33	270.46	946.86	130.67	38.03		3,887.35
Aragon: Franco-arcilloso	4,017.05	757.57	829.56	370.39	119.75	21.83	6,116.15
Instituto 15:Arcilloso	4,199.23	588.44	538.62	253.52	275.94		5,825.80
Las Joyas: Franco-arcillo-arenoso	1,857.47	226.12	159.41	185.00	233.61		2,661.61
Oriente: Franco-arcilloso	2,461.72	291.71	74.78	54.62	27.01		2,906.94

CUADRO No. 13 Porcentajes del peso a diversas distancias del eje central del tronco.

TIPOS DE SUELO:	DISTANCIAS AL TRONCO EN cms.						Total
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	
Atirro: Franco-arcillo-arenoso	64.34	6.96	25.13	3.01	0.56		100.00
Aragon: Franco-arcilloso	65.68	12.39	13.56	6.06	1.95	0.36	100.00
Instituto 15:Arcilloso	72.10	9.59	9.25	4.35	4.70		100.00
Las Joyas: Franco-arcillo-arenoso	69.79	8.49	5.99	6.95	8.78		100.00
Oriente: Franco-arcilloso	85.39	10.03	2.56	1.59	0.43		100.00

CUADRO No. 14 Concentraciones (en gramos por metro cubico) a diversas distancias del eje central del tronco.

TIPOS DE SUELO:	DISTANCIAS AL TRONCO EN cms.						Concentracion Promedia:
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	
Atirro: Franco-arcillo-arenoso	30,880.61	804.94	2,359.61	568.36	307.25		6,984.15
Aragon: Franco-arcilloso	63,762.70	1,983.17	1,468.25	436.78	176.22	38.63	11,310.96
Instituto 15:Arcilloso	51,842.34	1,462.00	953.31	299.96	404.04		10,992.33
Las Joyas: Franco-arcillo-arenoso	41,277.11	828.28	282.14	363.45	344.56		8,619.11
Oriente: Franco-arcilloso	39,392.24	763.24	220.03	173.92	140.01		8,137.69

DISTRIBUCION VERTICAL DE LAS RAICES TOTALES DE CAFE ARABICA EN CINCO TIPOS DE SUELO DE LA ZONA DE TURRIABA, COSTA RICA

CUADRO No. 15 Peso en gramos a diversas profundidades.

PROFUNDIDAD:	TIPOS DE SUELO:				
	Atirro Franco-arcilloso arenoso	Aragon Franco-arcilloso arenoso	Instituto 15 Arcilloso	Las Joyas Franco-arcilloso arenoso	Oriente Franco-arcilloso
0-10 cms.	724,16	1.584,63	1.005,54	580,01	937,67
10-20 cms.	1.036,31	1.793,97	2.039,41	872,02	849,54
20-30 "	1.606,08	1.911,06	1.101,20	1.126,75	723,36
30-50 "	503,47	818,89	1.403,59	62,83	370,56
50-70 "	16,73	7,60	272,47		25,51
70-90 "	0,60		1,54		

CUADRO No. 16 Porcentajes del peso a diversas profundidades.

PROFUNDIDAD:	TIPOS DE SUELO:				
	Atirro Franco-arcilloso arenoso	Aragon Franco-arcilloso arenoso	Instituto 15 Arcilloso	Las Joyas Franco-arcilloso arenoso	Oriente Franco-arcilloso
0-10 cms.	18,63	25,91	17,26	21,96	32,26
10-20 "	26,66	29,33	35,01	33,01	29,23
20-30 "	41,32	31,25	18,92	42,65	24,88
30-50 "	12,95	13,39	24,10	2,38	12,75
50-70 "	0,43	0,12	4,68		0,88
70-90 "	0,01		0,03		

CUADRO No. 17 Concentracion (en gramos por metro cubico) a diversas profundidades.

PROFUNDIDAD:	TIPOS DE SUELO:				
	Atirro Franco-arcilloso arenoso	Aragon Franco-arcilloso arenoso	Instituto 15 Arcilloso	Las Joyas Franco-arcilloso arenoso	Oriente Franco-arcilloso
0-10 cms.	596,01	1.852,72	1.756,50	1.013,11	2.706,90
10-20 "	4.797,74	2.097,50	3.562,44	1.523,17	2.452,50
20-30 "	4.636,50	3.338,12	1.923,50	1.968,12	4.093,72
30-50 "	1.424,65	1.182,00	202,59	177,75	2.913,21
50-70 "	131,52	59,75	2.142,95		2.055,00
70-80 "	33,33		85,55		

\* Aumento debido a la porosidad del suelo vegetal que rellenaba el hoyo donde crecio la planta.

CUADRO No.18 Peso en gramos a diversas profundidades.

PROFUNDIDAD:	TIPOS DE SUELO:				
	Atirro Franco-arcilloso-arenoso	Aragon Franco-arcilloso	Instituto 15 Arcilloso	Las Joyas Franco-arcilloso-arenoso	Oriente Franco-arcilloso
0-10 cms.	101.26	539.36	327.75	211.41	204.84
10-20 "	19.26	239.04	1110.46	108.63	26.77
20-30 "	13.34	89.75	59.58	56.35	15.86
30-50 "	5.50	7.50	50.59	6.63	11.74
50-70 "	2.78	3.08	13.82		6.82
70-90 "	0.40				

CUADRO No. 19 Porcentaje del peso a diversas profundidades.

PROFUNDIDAD:	TIPOS DE SUELO				
	Atirro Franco-arcilloso-arenoso	Aragon Franco-arcilloso	Instituto 15 Arcilloso	Las Joyas Franco-arcilloso-arenoso	Oriente Franco-arcilloso
0-10 cms.	71.15	61.38	58.30	55.20	77.00
10-20 "	13.51	27.21	19.65	28.36	10.06
20-30 "	9.36	10.21	10.60	14.71	5.96
30-50 "	3.86	0.85	9.00	1.73	4.41
50-70 "	1.95	0.35	2.45		2.56
70-90 "	0.28				

CUADRO No.20 Concentracion (en gramos por metro cubico) a diversas profundidades.

PROFUNDIDAD:	TIPOS DE SUELO				
	Atirro Franco-arcilloso-arenoso	Aragon Franco-arcilloso	Instituto 15 Arcilloso	Las Joyas Franco-arcilloso-arenoso	Oriente Franco-arcilloso
0-10 cms.	833.41	630.61	572.49	369.27	357.80
10-20 "	89.17	279.48	192.94	189.75	77.28
20-30 "	38.51	156.77	104.07	88.43	87.76
30-50 "	15.56	10.82	73.02	52.12	33.22
50-70 "	21.85	24.21*	108.56*		53.62
70-90 "	22.20				

\* Aumento debido a la consistencia suelta del material de relleno

Los datos muestran que más del 98% de estas raicillas se encuentran en los 30 cms. más próximos a la superficie, y el resto en los 40 cms. subsiguientes (Cuadro 22.). En general, los porcentajes fueron descen- dentes en relación a la profundidad. La concentración también des ciende en relación a la profundidad, observán dose que entre 30 y 50 cms. ésta disminuye bruscamente, debido a que se encuentran en tierra de consistencia dura; entre 50 y 70 cms. de profundidad, la concentración aumenta en relación a la inmediata anterior (Cuadro 23), debido posiblemente a la porosidad del material de relleno del hoyo (materia vegetal).

Oriente. Los suelos de Oriente se encuentran en una pendiente de 45 a 50°. Su origen es volcánico, predominando las rocas andesíticas, con poca meteorización, por lo que el horizonte "A" no es muy desarrollado y no existe un horizonte "B" (Cuadros 2, 3 y 4). Esto se debe seguramente a que el suelo es relativamente joven y a que la pendiente favorece el escurrimiento de agua de lluvia, disminuyendo así el grado de descomposición de la roca madre. En un suelo como el descrito no puede esperarse un buen desarrollo radicular, lo que puede verse por los datos siguientes: el volumen de tie rra donde se encontraron raíces, fué de 1,576 metros cúbicos. Las raíces totales pesaron 2,906.94 grs. y su con

DISTRIBUCION LATERAL DE LAS RAÍZES Y CULILLAS DE CAFE ARABICA EN CINCO  
TIPOS DE SUELO DE LA ZONA DE TURRIALBA, COSTA RICA

CUADRO No. 21 Peso en gramos a diversas distancias del eje central del tronco.

TIPOS DE SUELO:	DISTANCIAS AL TRONCO EN cms.						Total
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	
Atirro: Franco-arcillo-arenoso	24,71	43,70	40,13	25,14	8,86		142,54
Aragon: Franco-arcilloso	27,77	121,76	233,48	249,75	146,52	99,43	878,73
Instituto 15: Arcilloso	20,09	112,17	139,92	143,26	146,76		562,20
Las Joyas: Franco-arcillo-arenoso	14,39	35,11	76,16	96,13	161,23		383,02
Oriente: Franco-arcilloso	27,94	71,85	102,46	58,62	5,16		266,03

CUADRO No. 22 Porcentaje del peso a diversas distancias del eje central del tronco.

TIPOS DE SUELO:	DISTANCIAS AL TRONCO EN cms.						Total
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	
Atirro: Franco-arcillo-arenoso	17,34	30,66	28,15	17,64	6,21		100,00
Aragon: Franco-arcilloso	3,16	13,85	26,57	28,43	16,68	11,31	100,00
Instituto 15: Arcilloso	3,57	19,95	24,89	25,48	26,11		100,00
Las Joyas: Franco-arcillo-arenoso	3,76	9,16	19,88	25,10	42,10		100,00
Oriente: Franco-arcilloso	10,50	27,00	38,52	22,04	1,94		100,00

CUADRO No. 23 Concentración (gramos por metro cúbico) a diversas distancias del eje central del tronco.

TIPOS DE SUELO:	DISTANCIAS AL TRONCO EN cms.						Concentración Promedia:
	0-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	
Atirro: Franco-arcillo-arenoso	305,06	45,05	46,32	55,76	69,47		104,33
Aragon: Franco-arcilloso	440,80	318,77	413,24	294,52	216,12	175,98	309,90
Instituto 15: Arcilloso	318,89	293,64	247,61	168,94	216,46		249,10
Las Joyas: Franco-arcillo-arenoso	319,78	42,38	44,01	20,03	18,92		89,02
Oriente: Franco-arcilloso	443,50	188,09	181,34	172,92	22,83		201,74



contracción promedio fué 8,137.69 grs. por metro cúbico. Las raicillas pesaron 266.03 grs. equivalente a 4,986.93 m. de longitud y el promedio de concentración fué 201.74 grs. por metro cúbico.

El crecimiento radial de las raíces totales no alcanzó 135 cms. y los porcentajes del peso en sentido lateral disminuyen desde el tronco hacia la periferie (Cuadro 13). Las concentraciones siguen la misma distribución que dichos porcentajes (Cuadro 14).

En cuanto a la distribución vertical de las raíces totales, la raíz principal midió 40 cms. de longitud, y emitió la mayoría de las raíces secundarias en una zona muy superficial, debido seguramente al poco desarrollo del horizonte "A" y a la ausencia de "B". Los porcentajes del peso disminuyen en relación a la profundidad desde la superficie del suelo, lo que difiere de los demás casos, en los cuales estos porcentajes aumentan desde la superficie hasta los 30 cms. o más de profundidad (Cuadro 16). La concentración, sin embargo, presenta el mayor valor entre los 20 y 30 cms. de profundidad, y se debe al reducido espacio en que las raíces pueden desarrollarse, por la mala aereación y consistencia dura de la masa andesítica (Cuadro 17).

Las raicillas alcanzaron un crecimiento radial de un poco menos de 135 cms. y los porcentajes del peso

aumentan desde el tronco hasta la zona comprendida entre 45 y 75 cms. (Cuadro 19). Desde esta zona decrecen bruscamente hacia la periferie, habiendo entre 105 y 135 cms. solamente 1.94% del peso. La concentración en gramos por metro cúbico, disminuye progresivamente desde el tronco hacia la periferie (Cuadro 20).

Más del 93% de las raicillas están distribuidas en los primeros 30 cms. de profundidad, y el resto en los 40 cms. subsiguientes. Cabe anotar que el 77% de ellas se encontró entre 0 y 10 cms. de profundidad, lo que está relacionado con el grosor del horizonte "A" que es 9 cms. y con la ausencia del horizonte "B". Estos aspectos indujeron la superficialidad anotada, ya que el horizonte "A" fué el único apropiado para el desarrollo radicular (Cuadro 22).

La concentración de raicillas en el sentido de la profundidad, dió para 0 - 10 cms. (Horizonte "A") un valor muy grande en relación a las demás concentraciones calculadas para otras profundidades. En el horizonte "C" no se observó una disminución progresiva debido posiblemente a la presencia de muchas cavidades en las que se encontró gran concentración de raíces (Cuadro 23).

Las Joyas. El suelo de Las Joyas es joven, de origen aluvial y se desarrolla en una planicie cu-

ya superficie tiene bastante materia orgánica. Su textura y su buen arreglo estructural (Cuadro 8), permiten una distribución de raíces muy uniforme en los horizontes "A" y "B". El nivel freático se encuentra a 50 cms. de profundidad (Cuadro 4).

El volumen de tierra ocupado por las raíces fué 2,071 metros cúbicos. Las raíces totales pesaron 2,661.61 grs. y su concentración promedio fué 8,619.11 grs. por metro cúbico. Las raicillas pesaron 383.02 grs. equivalente a 7,180.00 m. de longitud y su concentración promedio fué de 89.02 grs. por metro cúbico.

El crecimiento radial de las raíces totales fué un poco más de 135 cms. y los porcentajes del peso disminuyen del tronco hasta la zona comprendida entre 45 y 75 cms. Desde allí hay un ligero aumento hacia la periferie (Cuadro 13).

La concentración en sentido lateral, tiene una distribución igual a la de estos porcentajes (Cuadro 14).

Dentro de la distribución vertical de las raíces totales, se observó que la raíz principal midió 40 cms. de longitud, pero en general las raíces penetraron hasta 50 cms. de profundidad, a cuya altura se encontró el nivel freático. Los porcentajes de peso aumentan desde la superficie hasta los 30 cms. de profundidad. (Cua-

dro 16), desde donde decrecen bruscamente hacia abajo. La concentración siguió una curva similar a la de estos porcentajes (Cuadro 17).

Las raicillas se distribuyeron lateralmente hasta alcanzar un radio mayor de 135 cms. Los porcentajes del peso aumentan en relación a las distancias del tronco (Cuadro 19), debido a la mayor ramificación según se alejen de éste, y sobretodo, debido al elevado nivel freático que corta a 50 cms. de profundidad la penetración de las raíces de la planta, quitándole la forma de "cono invertido" al sistema radicular.

Hasta los 30 cms. de profundidad, se encontró el 91.22% de su peso y el 8.78% restante, se encontró en los 20 cms. subsiguientes. En este suelo se encontró el 42.53% del peso de las raicillas entre 0 y 10 cms. de profundidad, lo que no indica un exceso de superficialidad de éstas, no obstante de existir bastante materia vegetal sobre la superficie del suelo. Esto se debe posiblemente a la influencia de la textura (Cuadro 8), y de la estructura (Cuadros 2 y 3) que inducen una buena distribución en los horizontes "A" y "B".

Instituto - Lote 15. El suelo de este lugar se encuentra en una planicie, y su horizonte "A" es bien desarrollado (Cuadros 2 y 3). Su textura es arcillosa y contiene mucha grava (Cuadro 8). La principal carac-

terística de este suelo es la presencia de una capa endurecida que se inicia a los 50 cms. de profundidad, que limita la penetración de las raíces. La siembra de los cafetos, según se pudo constatar, se la hizo en hoyos de 75 cms. de profundidad, rellenos hasta los 25 cms. con materia vegetal, y el resto con tierra superficial, como en el caso de Aragón.

El volumen de tierra ocupada por el sistema radicular fué 2,556 metros cúbicos. Las raíces totales pesaron 5,825.80 grs. y las raicillas 562.20 grs. equivalente a 10,538.84 m. de longitud. El promedio de concentración en grs. por metro cúbico fué 10,992, 33 para las raíces totales y 249.10 para las raicillas.

En la distribución lateral, los porcentajes del peso de las raíces totales decrecen del tronco hacia la periferie (Cuadro 13), y la concentración disminuye en el mismo sentido hasta la zona comprendida entre 75 y 105 cms. del eje central del tronco, pero en la periferie (105-135 cms.) esta concentración aumenta, debido posiblemente a la presencia de raíces de las plantas vecinas (Cuadro 14). Por ésto se puede decir que el crecimiento radial de las raíces en este suelo es más de 135 cms.

En el sentido vertical, se encontraron raíces hasta 90 cms. de profundidad. Los porcentajes del peso aumentan en relación a la profundidad desde la superfi-

cie hasta 50 cms. desde donde decrecen bruscamente hacia abajo (Cuadro 16). La concentración en grs. por metro cúbico dió el mayor valor para la zona comprendida entre 10 y 20 cms. de la superficie. Entre 50 y 70 cms. de profundidad (hoyo donde se sembró la planta) hay un marcado aumento de la concentración, lo que está relacionado con el aumento de la porosidad total (74.50%), pero entre 70 y 90 cms. es menor que la anteriormente mencionada, debido a que las raíces se encuentran en una zona endurecida (Cuadro 17).

El crecimiento lateral de las raicillas no se pudo determinar exactamente, porque estaban mezcladas con las de las plantas vecinas, pero fué mayor de 135 cms. Los porcentajes del peso aumentan en relación a las distancias al tronco (Cuadro 19), explicándose en igual forma que en el tipo de suelo Las Joyas, aunque en el presente caso es debido a la presencia de una zona endurecida que inhibe la penetración normal de las raíces, modificando su distribución lateral. La concentración disminuye desde el tronco hasta la zona comprendida entre 75 y 105 cms., y aumenta en la zona periférica (105-135) cms.), debido posiblemente a la interferencia con el sistema radicular de las plantas vecinas (Cuadro 20).

Los porcentajes del peso de las raicillas disminuyen en relación a la profundidad, encontrándo-

se hasta los 30 cms. más del 88% (Cuadro 22). La concentración también disminuye en relación a la profundidad hasta los 50 cms. Entre 50 y 70 cms. esta concentración aumenta debido posiblemente al elevado porcentaje de porosidad total determinado para esa profundidad (Cuadro 23).

Atirro. Los suelos de Atirro son jóvenes, originados por aluviones de cuevas vecinas, con deposiciones en dos capas u horizontes. La textura es franco-arcillo-arenoso (Cuadro 8) y el nivel freático se encuentra entre 50 y 55 cms. de profundidad. Posiblemente la principal característica de este lugar es un lomillo de tierra vegetal porosa, situada a lo largo de la hilera de plantas, el mismo que en corte transversal presenta la forma de un trapecio cuya altura es 20 cms. (Figura 3). Debido posiblemente a este lomillo, de elevada porosidad (66.40%), varía grandemente la distribución lateral de las raíces. Además, hizo variar el método de cálculo, ya que el usado por Franco e Inforzato no fué aplicable para este suelo, (Materiales y Métodos, p.24 ). Por efecto del lomillo (20 cms. de altura), las raíces más superficiales se encuentran a 70 ó 75 cms. del nivel freático.

El volumen de tierra en que se encontraron

raíces fué 1,183 metros cúbicos, que es el menor de todos. Las raíces totales pesaron 3,887.35 grs. y las raicillas 142.54 grs. equivalentes a 2,672.02 m. de longitud. La concentración promedia fué 6,948.15 y 104.35 grs. por metro cúbico, para raíces totales y raicillas, respectivamente.

En la distribución lateral, el mayor porcentaje del peso de las raíces totales se encuentra entre 0 y 15 cms. del eje central del tronco debido al geotropismo negativo de las raíces en esta zona. Los demás porcentajes no guardan regularidad en su distribución (Cuadro 13). La concentración sigue una distribución similar a la de los porcentajes.

En la distribución vertical el mayor porcentaje de raíces totales se encontró entre 20 y 30 cms. de profundidad desde donde decrece bruscamente hacia abajo. Entre 70 y 90 cms. se encontró 0.60 grs. de raíces totales, equivalente a 0,01% del peso total (Cuadro 16). La concentración tiene una distribución similar a la de los porcentajes (Cuadro 17).

Los porcentajes del peso de las raicillas decrecen del tronco relativamente hacia la periferie (Cuadro 19), y se explica por el geotropismo negativo de las raíces ya mencionado. Este marcado geotropismo negativo, es inducido posiblemente por la elevada porosi-



dad del lomillo. La concentración dió el mayor valor para la zona comprendida entre 0 y 15 cms. del eje central del tronco, debido a que en esa zona el geotropismo negativo mencionado fué muy marcado. En la zona comprendida entre 15 y 45 cms. del eje central del tronco, se encontró mejor concentración (Cuadro 20), y desde allí aumenta progresivamente hacia la periferie.

Los porcentajes del peso de las raicillas decrecen en relación a la profundidad. Cabe anotar que solamente en lomillo (20 cms. de grosor), se encontró aproximadamente el 85% de este peso, los que preferentemente se ubicaban en un manto de materia vegetal de 2 a 3 cms. de espesor (Figura 3). Entre 70 y 90 cms. de profundidad (medidos desde la cima del lomillo) se encontró 0.28% equivalente a 0.40 grs. La concentración también decrece en relación a la profundidad (Cuadro 23). En este suelo, se observó que el exceso de superficialidad estaba relacionado con el contenido de materia orgánica del lomillo, lo que indudablemente mejoró las condiciones de aereación y estructura del suelo (11).

Se pudo observar en todos los suelos donde se realizó este estudio, que el sistema radicular del cafeto tenía la forma de un "cono invertido"(5), cuya altura y diámetro varían en cada tipo de suelo (Figura 4). Además se encontró una relación entre el diáme

relación entre el desarrollo radicular y las condiciones físicas del suelo y la humedad del mismo. En los demás casos no se determinó esta relación.

Relación entre el desarrollo radicular y las condiciones físicas del suelo y la humedad del mismo.

Se observó una estrecha relación entre la humedad del suelo y el desarrollo radicular.

profundidades

0-10

10-20

20-30

30-40

40-50

50-70

Tipos

Alirón

Arregón

Castellano-Blanco

Orléans



Alirón	60.40	833.00
Arregón	61.50	650.62
Castellano-Blanco	62.50	572.39
Orléans	60.44	551.00

Figura 4. Distribución de las raicillas a diversas profundidades, y a varias distancias del tronco.-

tro de la base del tronco y el peso de las raíces. La relación del peso de la parte aérea y de la parte subterránea fué determinada para Aragón en 1/1.35. Para los demás arbustos no se determinó esta relación.

Relación entre el desarrollo radicular  
y las condiciones físicas del suelo

Se observó una estrecha relación entre la porosidad total determinada con muestras tomadas a 7 cms. de profundidad y la concentración de las raicillas existentes entre 0 y 10 cms. de profundidad (Cuadro 24).

Cuadro 24. Relación entre la porosidad total y la concentración de raicillas existentes entre 0 y 10 cms. de profundidad, en cinco tipos de suelo.-

Tipo de suelo	Porosidad total (porcentaje)	Concentración de raicillas (gramos por metro cúbico)
Atirro	66.40	833.41
Aragón	64.50	630.61
Instituto-Lote 15	62.30	572.49
Las Joyas	61.24	369.27
Oriente	60.44	357.80

La influencia de la porosidad sobre la absorción de nitrógeno se observó también en el grupo y tratamiento de las plantas-lote 11, donde las plantas fueron sembradas en hoyos rellenos de tierra vegetal, en el cual se encontró una gran concentración de raíces superficiales, relacionada con el desarrollo de porosidad e infiltración vegetal, usado como referencia en el estudio.

También se observó relación entre la profundidad



Arroz	40	5,117.14
Las plantas-lote 11	35	5,873.45
Alfalfa	20	3,607.35

Figura 5. Superficialidad de las raicillas. Estas se encuentran ocultas en las hojarazcas provenientes de los árboles de sombra y de la planta de café.-

La influencia de la porosidad sobre la concentración de raíces se observó también en Aragón y sobretodo en Instituto-Lote 15, donde las plantas fueron sembradas en hoyos rellenos de tierra vegetal, en el cual se encontró una gran concentración de raíces totales, relacionada con el aumento de porosidad del suelo vegetal usado como relleno de los hoyos.

También se encontró relación entre la profundidad del horizonte "A" y el peso del sistema radicular, debido seguramente a que este horizonte es el que ofrece buenas características físicas para el desarrollo radicular (Cuadro 25).

Cuadro 25. Relación de la profundidad del horizonte "A" y el peso de las raíces del cafeto, en cinco tipos de suelo.

Tipo de suelo	Profundidad del horizonte "A" en cms.	Peso de las raíces en grs.
Aragón	40	6,116.15
Instituto-Lote 15	35	5,823.75
Atirro	20	3,887.35
Las Joyas	13	2,641.61
Oriente	9	2,906.64

En Oriente, el peso del sistema radicular fué menor que el de Las Joyas, posiblemente debido a que el nivel freático elevado de éste (Las Joyas) influyó negativamente en este aspecto.

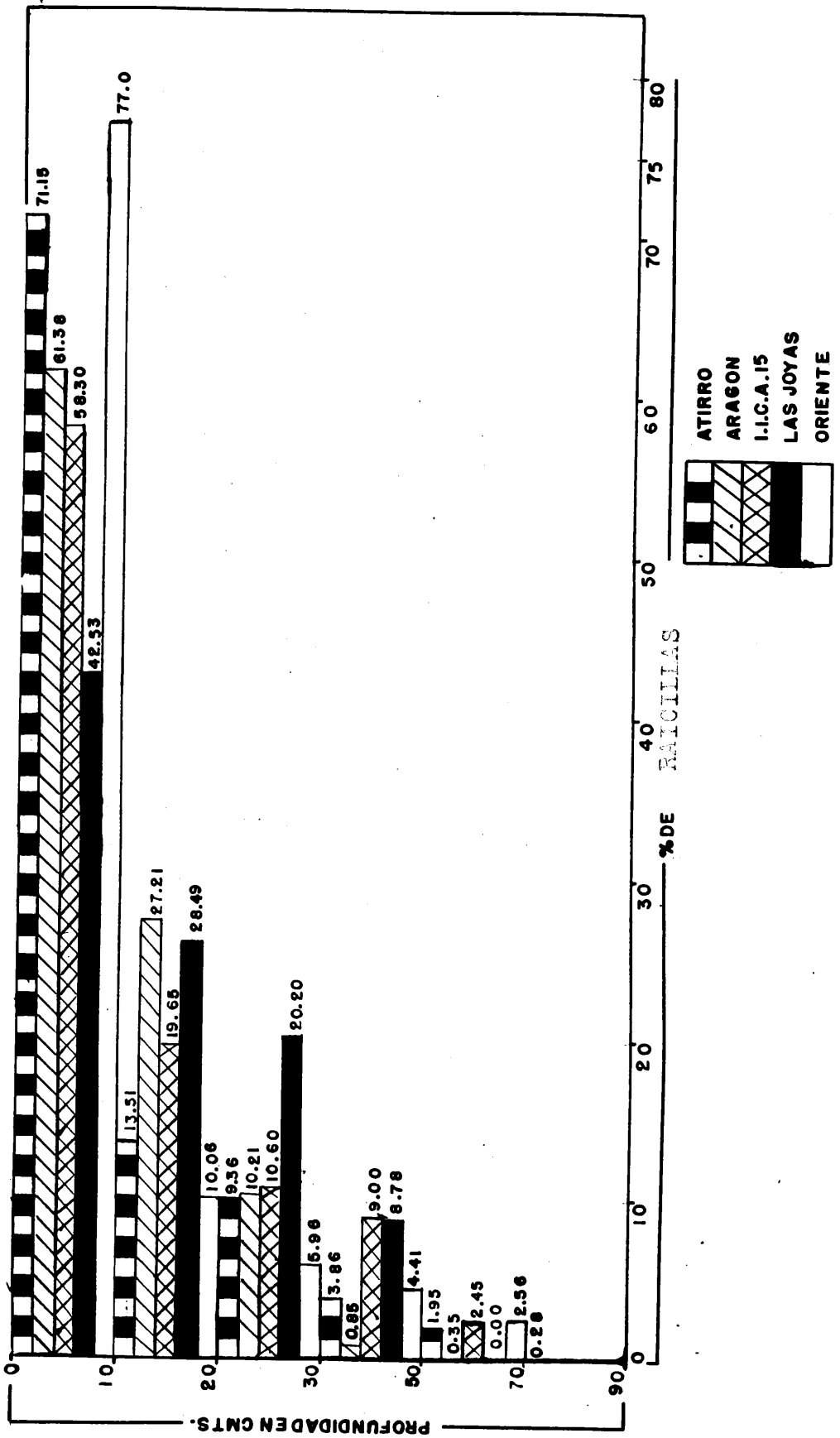
## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La distribución de las raíces del Coffea arabica var. typica, forman dentro del suelo un "cono invertido" (Figura 5), con altura y diámetro variable en cada tipo de suelo estudiado.

La raíz primaria que en ningún caso midió más de 50 cms. de longitud, emite la mayoría de las raíces secundarias entre 10 y 30 cms. de profundidad, pero la mayor cantidad de raicillas se encuentran en la parte más superficial (0-20 cms. de profundidad), debido a un leve geotropismo negativo (Gráfico 4).

Esta distribución está modificada por las características físicas de los suelos donde crecen los arbustos, por lo cual no se puede hablar de un sistema radicular típico de café, sino de un sistema radicular modificado para cada tipo de suelo. Las condiciones físicas de los suelos que más afectan la conformación y desarrollo radicular del cafeto, están más o menos interrelacionadas, por lo que no se puede puntualizar hasta dónde llega el efecto de cada uno de estos factores (15). No obstante la penetración de las raíces, se encuentra determinada, en los casos estudiados, por el nivel freático y por la presencia de capas endurecidas o rocosas situadas cerca de la superficie del suelo. Esta limitación de la penetración influye indirectamen-

Graf. 3 DISTRIBUCION DE LAS RAICILLAS A DIVERSAS PROFUNDIDADES .





te en la distribución lateral de las raíces, encontrándose los mayores porcentajes de los pelos absorbentes en la periferie del cono radicular. La porosidad total del suelo influye también en la distribución y en la concentración de las raíces, lo que puede verse claramente al comparar la porosidad total con las concentraciones de las raicillas encontradas hasta los 10 cms. de profundidad en los cinco tipos de suelo estudiados.

En los suelos de Aragón e Instituto-Lote 15, donde la plantación se la hizo en hoyos de 70 cms. de profundidad, rellenos hasta los 20 cms. con materia vegetal, se encontró en la zona del relleno una gran concentración de raíces debido al elevado porcentaje de porosidad total que existía en ese suelo. En Atirro, donde a lo largo de las hileras de plantas hay un lomillo de tierra vegetal porosa, cubierto con una capa de materia orgánica de 2-3 cms. de grosor, se encontró un geotropismo negativo de las raíces debido seguramente a la buena aereación (14). En la capa de materia orgánica que cubre al lomillo se encontró la mayor cantidad de raicillas, y parece que el grado de superficialidad y concentración de raíces por volumen de tierra están relacionados con el contenido de materia orgánica de las capas más superfi-

ciales y con la estructura granular del suelo, en todos los casos. Con la superficialidad de las raíces también está relacionado el grosor del horizonte "A" como se presentó en el suelo de Oriente. El grosor de este horizonte también influye en el peso y en la distribución radicular, por ser el único horizonte que tiene características físicas adecuadas para el normal desarrollo de raíces. Se encontró que a suelos con horizonte "A" profundo, corresponde un buen sistema radicular en peso y distribución.

Estas investigaciones concuerdan con las de Rogers (13), realizadas con árboles frutales en Inglaterra, y muestran que algunos factores físicos del suelo, como textura, aireación y humedad, influyen en la conformación radicular del cafeto.

En Turrialba, además, se encontró que el nivel freático y el desarrollo del horizonte "A" tienen mucha influencia sobre las raíces. Según Richards y Wadleigh (12), en las zonas húmedas el mal drenaje y exceso de humedad tienen un efecto negativo en las raíces de las plantas. Por lo tanto, la infiltración es un factor digno de consideración por la importancia que tiene para la caficultura en zonas húmedas.

De esta discusión se deduce que es deseable que los árboles de sombra para cafetales sean de raíz

profunda, para evitar competencia con las raíces que son superficiales. El uso de cualquier planta que enriquezca el suelo con materia orgánica, sería muy provechoso para el desarrollo de raíces, ya que aumenta la aereación y mejora la estructura (11).

Debido a que no existe ninguna relación constante entre cantidad de raicillas y su distancia al tronco, la fertilización deberá hacerse tomando en cuenta la textura, porosidad y nivel freático que modifican la distribución lateral de las raíces.

La desyerba a pala, usada generalmente en Costa Rica, destruye gran cantidad de raicillas superficiales y los expone a la acción perjudicial de la radiación solar.

El conocimiento del nivel freático de los suelos excesivamente húmedos, indica la cantidad y clase de drenaje necesario para conseguir que la planta pueda extenderse en un mayor volumen de tierra.

En los suelos que tienen capas rocosas o endurecidas muy cerca de la superficie, es conveniente transplantar el cafeto en hoyos de profundidad adecuada, previamente rellenos con materia vegetal.

Como el crecimiento radial de las raíces varía de acuerdo con la influencia de varios factores, se puede decir que la distancia mínima entre arbusto debería ser 2.60 x 2.60 m. y la máxima, 3.50 x 3.50 m.

## RESUMEN

1. Se explica la importancia y el alcance que tiene el estudio del sistema radicular del cafeto, y se revisa la literatura existente al respecto.
2. Se determinaron las características físicas de cinco suelos de la zona de Turrialba, Costa Rica, donde se realizó este estudio. Estos son: "Aragón" (franco-arcilloso); "Oriente" (arcilloso); "Las Joyas" (franco-arcillo-arenoso); "Instituto-Lote 15" (arcilloso); y "Atirro" (franco-arcillo-arenoso). Se hicieron micro-perfiles de cada suelo.
3. Se explica el método de estudio usado.
4. Los resultados indican que el buen desarrollo del sistema radicular del cafeto está relacionado con el grosor del hirozonte "A" y con el buen drenaje. En todos los suelos la mayor cantidad del sistema radicular se encontró en la parte más superficial. La superficialidad de las raicillas está relacionada con el contenido de materia orgánica del suelo.
5. El nivel freático inhibe la penetración radicular y modifica indirectamente la distribución lateral.
6. En las capas endurecidas existentes cerca de la superficie del suelo, la concentración de raíces por metro cúbico de tierra disminuye notablemente.

7. No se encontró una zona determinada donde haya mayor cantidad de raicillas en los cinco suelos estudiados. Por lo tanto, la fertilización del cafeto debe hacerse considerando este factor.

8. No se puede establecer una distancia de siembra uniforme para los cinco suelos. Cada uno requiere una distancia de acuerdo con la dispersión lateral del sistema de raíces.

## ABSTRACT

A study of the distribution and development of the root system of Coffea arabica var. typica was conducted in five locations in the zone of Turrialba, Costa Rica. The soil conditions at each location were considerably different.

The soils studied were:

"Aragon", with good drainage and a well developed "A" horizon.

"Oriente", where the soil has a slope of approximately 45° horizon "A" scarcely developed and without horizon "B".

"Las Joyas", with a high water table, but a good drainage in the upper part, due to its texture and structure.

"Institute-Lote 15", with a hard pan 50 centimeters below the soil surface.

"Atirro", with a layer of porous humus on top of it along the rows of plants.

The plants selected were about 30 years old, and in a healthy vigorous condition. The physical characteristics of these soils were determined in the laboratory, and microprofile samples were taken from the soil at each location. It was found that a good root system develops when the drainage is adequate and the "A" horizon is deep, of medium texture, and granular in structure. Most of the roots were found in the upper 30 centimeters of the soil. The highest concentration of the roots in most soils, and particularly that of the rootlets, was directly related to the content organic matter, and to the total porosity in all of the soils studied. It was found

also that a high water table limited the penetration of the roots and modified their lateral distribution. The existence of hardpan near the surface has a marked influence in root development.

Because of the variation in root extension and lateral distribution, a standard spacing of coffee trees cannot be recommended for the Turrialba zone. Tree spacing and fertilization practices must be adapted to the soil condition prevailing at particular planting sites.

## LITERATURA CITADA

1. CHOKKANNA, N. G. Soil conditions and plant growth in relation to coffee. Indian Coffee Board Monthly Bulletin 15(9):180-182, 188; (10): 197-199. Sept., Oct. 1951.
2. DI FULVIO, ANTONIO. El café en el mundo. Roma, Instituto Internacional de Agricultura, Oficina de la FAO en Roma, 1947. pp. 65-67. (Serie de monografías sobre los principales productos agrícolas del mercado mundial, no.9).
3. FRANCO, C.M. & INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos do solo do Estado de Sao Paulo. Bragantia 6(9):443-478. Set. 1946.
4. GUISCAFRE-ARCILLAGA, J. & GOMEZ, L. A. Studies of the root system of Coffea arabica L. I. Environmental conditions affecting the distribution of coffee roots in Coloso clay. Puerto Rico. University. Journal of Agriculture 22(2): 227-262. April 1938.
5. \_\_\_\_\_ & GOMEZ, L. A. Studies of the root system of Coffea arabica L. II. Growth and distribution in Catalina clay soil. Puerto Rico. University. Journal of Agriculture 24(3):109-117. July 1940.
6. \_\_\_\_\_ & GOMEZ, L. A. Studies of the root system of Coffea arabica L. III. Growth and distribution of roots of 21-year-old trees in Catalina clay soil. Puerto Rico, University. Journal of Agriculture 26(2):34-39. April 1942.
7. NUTMAN, F. J. The root-system of Coffea arabica. I. Root-systems in typical soils of British East Africa. Empire Journal of Experimental Agriculture 1(3):271-284. Sept. 1933.
8. \_\_\_\_\_ The root-system of Coffea arabica. II. The effect of some soil conditions in modifying the "normal" root-system. Empire Journal of Experimental Agriculture 1(4):285-296. Dec. 1933.
9. \_\_\_\_\_ The root-system of Coffea arabica. III. The spatial distribution of the absorbing area of the root. Empire Journal of Experimental Agriculture 2(8):293-302. Oct. 1934.



10. PIPER, C. S. Soil and plant analysis; a laboratory manual of methods for the examination of soils and the determination of the inorganic constituents of plants. New York, Interscience Publishers, 1944. pp. 47-79, 80-111.
11. QUASTEL, J. H. Influence of organic matter on aeration and structure of soil. Soil Science 73(6):419-426. June 1952.
12. RICHARDS, L. A. & WADLEIGH, C. H. Soil water and plant growth. In Joint Committee on Soil Filth. Soil physical conditions and plant growth. New York, Academic Press, 1952. pp. 73-251. (Agronomy, a series of monographs, vol. 2).
13. ROGERS, W. S. Fruit plant roots and their environment. In International Horticultural Congress (13th), London, 8-15. September, 1953. vol. 1, pp. 288-292.
14. RUSSELL, M. B. Soil aeration and plant growth. In Joint Committee on Soil Filth. Soil physical conditions and plant growth. New York, Academic Press, 1952. pp. 253-301. (Agronomy, a series of monographs, vol. 2).
15. SETZER, JOSE. Sobre a ecologia do café. Superintendencia do Servicos do Café, Sao Paulo, Brasil. Boletim 27(302):313-322. April 1952.
16. SIMMONS, CHARLES S. Estudio de la situación cafetalera mundial. B. Los suelos y el café. Washington, D. C., Junta Interamericana del Café, s.f. 10 p. (mimeografiado).
17. SUAREZ DE CASTRO, FERNANDO. Distribución de las raíces del Coffea arabica L. en un suelo franco-limoso. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. Boletín Técnico 1(12):1-28. 1953.
18. THOMAS, A. S. Observations on the root-systems of Robusta coffee and other tropical crops in Uganda. Empire Journal of Experimental Agriculture 12(48):191-206. Oct. 1944.
19. THOMPSON, LOUIS M. Soils and soil fertility. New York, McGraw-Hill Book Co., 1952. p.10.

20. TRENCH, A. D. Preliminary observations on coffee roots in Kenya. Kenya Colony and Protectorate Department of Agriculture Bulletin no. 2. 1934. 10 p.
21. U. S. BUREAU OF PLANT INDUSTRY, SOILS, AND AGRICULTURAL ENGINEERING. Soil survey manual. U. S. Department of Agriculture Handbook no. 18:333-336. 1951.