

AIREACION DEL SUELO EN UN CAMPO DE CAFE

por

ANA FELISA G. RAY IRALA

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

Julio, 1965

AIREACION DEL SUELO EN UN CAMPO DE CAFE

Tesis

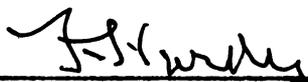
Sometida al Consejo de Estudios Graduados como  
requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

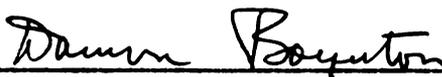
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



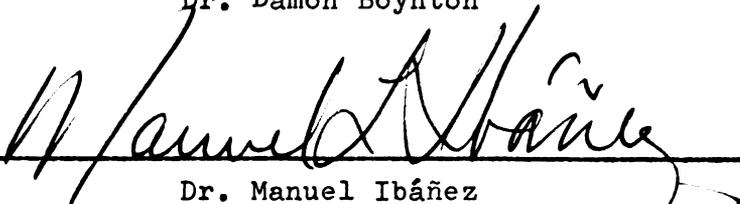
Consejero

Prof. Frederick Hardy



Comité

Dr. Damon Boynton



Comité

Dr. Manuel Ibáñez



Comité

Dr. Eduardo Jiménez

Julio, 1965

- iii -

Al Profesor Frederick Hardy  
A Rufo Bazán S.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa su profundo agradecimiento al Prof. Frederick Hardy por la supervisión, guía y estímulo ofrecidos durante la realización del presente trabajo.

Así mismo, deja constancia de su reconocimiento:

Al Dr. Damon Boynton por su asesoramiento en los aspectos relacionados con aireación del suelo.

Al Ing. Rufo Bazán por su inestimable ayuda en los trabajos de campo y de laboratorio.

Al Dr. Eduardo Jiménez y al Dr. Manuel Ibañez por su asistencia en la redacción de la tesis.

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas y a su Programa de Energía Nuclear por la oportunidad brindada para realizar sus estudios postgraduados.

Y a todas las personas que, en distintas formas, le ofrecieron su gentil colaboración y apoyo.

## BIOGRAFIA

La autora nació en Corrientes, Argentina, el 10 de julio de 1937.

Realizó sus estudios primarios, secundarios y universitarios en la ciudad de La Plata, cuya Universidad le otorgó el título de Ingeniera Agrónoma en el año de 1960.

De 1962 a 1963 trabajó en el Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires.

En setiembre de 1963 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas para seguir estudios en la Disciplina de Fitotecnia y Suelos, mediante una beca otorgada por el Programa de Energía Nuclear de la mencionada institución.

Finalizó sus estudios postgraduados en julio de 1965.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
INTRODUCCION .....	1
REVISION DE LITERATURA .....	2
DESCRIPCION DEL CLIMA DE TURRIALBA .....	14
DESCRIPCION DEL AREA DE TRABAJO .....	17
MATERIALES Y METODOS .....	19
A. Trabajo de campo .....	19
1. Localización de los sitios de trabajo .....	19
2. Toma de muestras .....	20
3. Determinación de velocidad de infiltración ...	22
4. Mediciones de napa freática .....	22
5. Colocación de colectores de muestras de aire del suelo .....	23
6. Análisis de muestras de aire del suelo .....	25
B. Trabajo de laboratorio .....	28
1. Análisis físicos .....	28
2. Determinaciones de humedad .....	29
3. Determinaciones de materia orgánica .....	30
RESULTADOS .....	32
A. Descripción de perfiles .....	32
B. Comparación de perfiles .....	
1. Características físicas y fisicoquímicas de los perfiles I, II, III y IV .....	35
2. Características de porosidad de los perfiles I, II, III y IV .....	38
C. Fluctuación del espacio poroso no-capilar por efec <u>to</u> to de las lluvias .....	42
D. Composición del aire del suelo .....	47
E. Difusión de dióxido de carbono .....	53
F. Condiciones de drenaje .....	55
1. Infiltración .....	56
2. Napa freática .....	58

	Página
G. Temperatura del suelo .....	61
DISCUSION .....	67
RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	76
SUMMARY AND CONCLUSIONS .....	80
LITERATURA CITADA .....	84
APENDICES .....	87

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N <sup>o</sup>		Página
1	Promedio mensuales y anual de: (P) precipitación (mm); (ET) evapotranspiración potencial (mm); (R) exceso de precipitación (mm) y (T) temperatura (°C) .....	15
2	Comparación de datos sobre porcentajes de oxígeno en el aire del suelo, obtenidos con el analizador Beckman y con analizador de gases Haldane.	27
3	Constantes físicas, materia orgánica y pH de los perfiles I, II, III y IV .....	31
4	Características de porosidad: espacio poroso total, espacio poroso capilar y espacio poroso no-capilar .....	39
5	Precipitación (en mm) en los 10 días anteriores a cada serie de determinaciones de humedad .....	43
6	Humedad, espacio poroso total y espacio poroso no-capilar libres de agua, en los sitios I, II, III y IV, en cinco fechas de muestreo .....	44
7	Cantidad de espacio poroso no-capilar en la capa de 0 a 30 cm, en los sitios I, II, III y IV, en diferentes oportunidades .....	46
8	Contenido de oxígeno en la atmósfera del suelo de los sitios I, II, III y IV. Analizador Beckman Modelo D2. (% v/v) .....	48
9	Promedios de contenidos de oxígeno en los sitios I, II, III y IV. Comparación de condición húmeda y seca (en vol. %) .....	49
10	Porcentajes de oxígeno y de dióxido de carbono en la atmósfera del suelo. (Haldane) (% v/v) ..	50
11	Difusión de dióxido de carbono (en l/m <sup>2</sup> /día de CO <sub>2</sub> ) .....	54
12	Infiltración en los sitios I, II, III y IV .....	57
13	Promedios mensuales de profundidad de napa freática (en los tubos 1 al 9, en pulgadas) .....	63
14a	Temperatura de aire y suelo .....	65

Cuadro N <sup>o</sup>		Página
14b	Temperatura de suelo y de aire en dos sitios de área de la colección de café del IICA .....	65
15	Evaluación de las características estudiadas ...	74
16	Constantes físicas de cuatro diferentes sitios de cacao en Trinidad .....	88
17	Materia orgánica y acidez de cuatro sitios de <u>ca</u> cao, en Trinidad .....	89
18	Composición del aire del suelo en cuatro diferen <u>tes</u> sitios de cacao, en Trinidad (según Vine y Thompson) .....	90
19	Difusión superficial de CO <sub>2</sub> en cuatro tipos de suelos de cacao en Trinidad.....	91
20	Mediciones de altura de napa freática durante los meses de setiembre, octubre y noviembre de 1964 y enero de 1965.....	92
21	Precipitación y evaporación diarias desde agosto/1964 a febrero/1965. Exceso o deficiencia de agua en ese período (en mm) .....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura N <sup>o</sup>		Página
1	Clima de Turrialba: Costa Rica .....	16
2	Mapa de ubicación de las áreas de trabajo .....	18
3	Mapa de suelos. Area A .....	21
3a	Mapa de plantación de café y de ubicación de <u>ele</u> mentos de trabajo .....	21
4	Mapa de suelos. Area B .....	24
4a	Mapa de plantación de café y de ubicación de <u>ele</u> mentos de trabajo .....	24
5	Perfiles de porosidad .....	41
6a;6b; 6c; 6d	Promedios móviles de napa freática y de precipi- tación .....	59,60, 61,62

## INTRODUCCION

En la zona de Turrialba, donde durante las dos terceras partes del año la precipitación es dos veces superior a la evapotranspiración, existe un considerable exceso de agua.

Este exceso de agua da origen a los principales problemas edafológicos de la región, provocados unos, por exceso de lavado y otros, por efecto de drenaje deficiente o impedido.

Entre los problemas derivados del exceso de lavado se consideran de mayor trascendencia los siguientes: pérdida de elementos minerales, tanto de los producidos por la rápida meteorización hidrolítica como de los añadidos como fertilizantes; pérdida de nutrimentos por lixiviación foliar y desarrollo de excesiva acidez.

El drenaje deficiente o impedido determina situaciones perjudiciales tales como: formación de sustancias tóxicas; desarrollo y proliferación de microorganismos capaces de producir enfermedades y pequeños animales perjudiciales; así como falta de adecuada aireación para la respiración de las raíces de las plantas y para el normal desarrollo de los microorganismos benéficos.

Esta investigación enfoca los aspectos relacionados con drenaje y condiciones de aireación, teniendo como objetivos principales los siguientes:

- 1) Estudiar las condiciones de drenaje en un área seleccionada que comprende parte de la colección de variedades y especies de café del IICA, donde la topografía es variable, presentando por lo tanto diferentes estados de drenaje.
- 2) Estudiar los efectos de la precipitación sobre el estado de aireación (composición, difusión, renovación del aire del suelo) de este suelo.

## REVISION DE LITERATURA

### El problema

En todo intento de evaluar la capacidad de un suelo para producir cosechas el concepto que debe primar es el de que suelo, planta y atmósfera constituyen un sistema único y simple.

Este concepto ecológico implica que cuando se desean establecer los factores limitantes que un sitio dado presenta para un cultivo de terminado, se deban tener en cuenta tanto los factores ambientales como los inherentes al suelo, siguiendo el esquema siguiente, tal como lo sugiere Hardy (19):

- A. Factores atmosféricos: 1) Temperatura; 2) Humedad; 3) Viento; 4) Luz.
- B. Factores edafológicos: 5) Espacio radical; 6) Suministro de agua; 7) Suministro de aire; 8) Suministro de nutrimentos; 9) Factores perjudiciales y 10) Temperatura del suelo.

En este trabajo se ha enfatizado en los aspectos relacionados con suministro de agua y suministro de aire en razón de que:

a) Hardy y Bazán (21), en uno de sus estudios de los suelos del I.I.C.A., encontraron que de 10 perfiles observados, correspondientes a 10 diferentes sitios del área del I.I.C.A., 7 presentaban todas o algunas de las características de los suelos intrazonales hidromórficos. El nivel del agua, durante la estación húmeda, variaba en ellos, de 1 a 36 pulgadas (de 0 a 90 cm) y en la estación seca de 15 a 72 pulgadas (37.5 a 180 cm). Dos de esos perfiles mostraban un nivel de agua a una profundidad de 36 pulgadas durante todo el año y los otros cinco mostraban amplias zonas de saturación intermitente.

De la observación de los perfiles y del análisis de los datos de humedad y de porosidad de los suelos, dedujeron que uno de los rasgos característicos de los mismos era la falta de una adecuada aireación, principalmente de los ubicados en lugares bajos y planos.

b) Mc Farlene (26), al realizar un estudio sobre algunos factores que afectan el cultivo de café en Turrialba, observó que al iniciarse el período de lluvias, el ritmo de crecimiento del café disminuía rápidamente. Así mismo, encontró que existía una correlación negativa constante entre la precipitación total de un año y el rendimiento del siguiente año. Atribuyó este hecho a dos causas fundamentales, en forma de hipótesis: 1) a lixiviación de los nitratos del suelo y 2) a la maduración de los frutos, que determina una mayor exigencia de nutrimentos que en el período vegetativo. Podría también suponerse que el exceso de lluvias traería como consecuencia un exceso de humedad en el suelo, lo que a su vez traería aparejado una aireación deficiente.

Es interesante comparar estos resultados con los obtenidos por Suárez de Castro en El Salvador (33), donde comprobó que no existía correlación alguna entre la precipitación total de un año y la producción de ese año o la del año siguiente, pero sí existía, entre la lluvia de los tres primeros meses del año y la producción de ese mismo año.

Estas dos comprobaciones, aparentemente discordantes, se explican bien si se analiza el clima de ambos lugares de estudio. En Turrialba llueve alrededor de 2.500 mm anuales y como ya se destacó, en la mayoría de los meses la precipitación sobrepasa a la evaporación en la proporción de 2 a 1, y el principal problema agrícola consiste

en liberarse de ese exceso de agua. Esto en parte explica el resultado encontrado por Mc Farlene. En cambio, en Sonsonate, El Salvador, la precipitación promedio anual alcanza a 2.100 mm distribuída en dos estaciones bien marcadas. Durante la estación seca, que comprende los meses de noviembre-abril, la lluvia caída es de sólo 123 mm en promedio, y si a ello se agrega que el suelo se caracteriza por una excelente permeabilidad, se comprende que la situación es de escasez de agua para las plantas en esa época. Se explica así, que cualquier cantidad de lluvia que caiga en estos meses ejerza gran influencia sobre el rendimiento del café y que la correlación entre ambos sea positiva.

c) Un trabajo de Saiz del Río y colaboradores (31) sobre distribución de raíces activas, ejecutado según el método de trazadores, en el suelo La Margot, indica que el 80% de aquellas se encuentran concentradas en los 5 cm superficiales del perfil. Si bien varios estudios sobre distribución radical del café señalan que ésta se caracteriza por ser superficial, los datos obtenidos por Bermúdez (1) y Gehrke (18) para plantas adultas, en varios suelos de la zona de Turrialba, muestran que la penetración de las raicillas es generalmente mayor que el encontrado por Saiz del Río. Así lo indican los siguientes valores de concentración de raicillas: suelo "Instituto", 88% en la capa 0:30 cm; suelo "Las Joyas", 42.5% en 0-10 cm; suelo "Atirro", 85% en 0-20 cm; suelo de "La Hulera", 68% en 0-40 y 60% en 0-20 cm; suelo "Aragón", 98% en 0-30 cm y suelo "Oriente", 77% en 0-10 cm. Bermúdez encontró que la penetración total de las raíces de café en los casos estudiados, presentaba como factores limitantes la altura de la napa freática y la presencia de capas endurecidas o rocosas en

el perfil; y que las mayores concentraciones ocurrían en el horizonte A de carácter húmico, por ofrecer las mejores condiciones físicas para su desarrollo.

Del análisis de estos hechos se deduce que un factor que merece consideración especial en esta área es el constituido por la relación agua-aire del suelo.

#### Condiciones físicas del suelo en relación con el desarrollo radical

Se reconoce que las características físicas del suelo que ejercen influencia sobre los organismos vivos en general, son las que afectan las relaciones de agua, aire, temperatura y nutrimentos del suelo.

Stephenson y Schuster (32) analizaron los datos de características físicas de unos 30 suelos correspondientes en su mayoría a huertos de nuez y avellano en EE.UU., relacionándolos con las observaciones de varios años sobre intensidad de crecimiento, rendimientos y registros de humedad del suelo. Llegaron a la conclusión de que las tres propiedades físicas de textura, estructura y profundidad del suelo son las que fundamentalmente determinan el desarrollo y funcionamiento del sistema radical, pues son las que a su vez regulan la capacidad de retención de agua, el contenido de agua aprovechable, el tipo de drenaje, el grado de aireación y la permeabilidad y penetrabilidad del suelo. Establecieron también los citados investigadores, que el tamaño de los poros es más importante en la regulación de las relaciones planta-humedad del suelo, que el volumen total de espacio poroso.

Rogers (30) afirma que los estudios sobre sistemas radicales

realizados por él y por varios otros investigadores en East Malling, England, en árboles de manzanas, peras, ciruelas, frambuesas y uvas, constituyen suficiente evidencia de que aparte de la edad y variedad de la planta, los factores del suelo, tales como textura, nutrimentos, aireación, humedad y temperatura influyen sobre el comportamiento de las raíces.

Veihmeyer y Hendrickson (35) estudiaron la relación existente entre la densidad del suelo y la penetración de las raíces. Para ello usaron numerosos suelos de distintos tipos y los compactaron hasta diferentes densidades, observando luego el desarrollo radical del girasol en cada caso. Los datos obtenidos les permitieron concluir de que a medida que la densidad aparente del suelo aumenta, sobre ciertos valores que varían con el tipo de suelo, la penetrabilidad de las raíces disminuye hasta alcanzar un valor crítico a partir del cual las raíces no pueden profundizar más.

#### Trabajos realizados sobre problemas de aireación en suelos

Se han realizado muchos trabajos relacionados con aireación del suelo, en distintos lugares del mundo. En ellos se han tenido en cuenta uno o varios de sus aspectos y sus resultados han sido relacionados con las condiciones físicas del suelo, con varios factores atmosféricos ó con los rendimientos de diferentes cultivos. Entre ellos se cuentan los realizados por Hardy, Vine y Thompson en el ICTA, Trinidad; Boynton en Ithaca, New York; y Novikov y Makarov en Rusia. Sólo éstos serán analizados brevemente aquí, porque tienen de común el enfoque ecológico que se quiere destacar.

Trabajos realizados en Nueva York, Estados Unidos

Formando parte de un plan de trabajos que tenían por finalidad evaluar y delimitar suelos económicamente marginales para el cultivo de árboles frutales en el estado de New York, Boynton y Savage (11) estudiaron la variación de la humedad del suelo durante dos períodos de crecimiento, en 12 huertos de manzanos. Concluyeron que, bajo el clima de New York, la falta de humedad raramente constituía un factor limitante en los suelos relativamente permeables y bien drenados, los cuales permitían el desarrollo radical hasta una profundidad de 1,20 m. También encontraron que una baja permeabilidad, unida a mal drenaje y presencia de roca madre a escasa profundidad, determinaba deficiencia de humedad para las plantas con la consiguiente disminución de la productividad.

Como la distribución radical y la baja productividad de los manzanos mostraban claramente que en algunos casos los suelos eran inadecuados y que los índices de humedad y de drenaje no eran suficientes, en esos casos, de dar evidencias de la falla, se planeó una investigación sobre aireación de esos suelos pues existían indicaciones de que se podían presentar condiciones de aireación restringida en los subsuelos a pesar de que no habían señales de anegamiento o drenaje impedido.

El estudio fue llevado a cabo por Boynton (6) y consistió fundamentalmente en medir la concentración de  $CO_2$  y de  $O_2$  en la atmósfera de varios y diferentes perfiles de suelos, a las profundidades de 1, 2, 3, 4, 5, y 6 pies. Las mediciones se hicieron en forma periódica durante tres períodos de crecimiento. Los resultados obtenidos

son clásicos en la literatura sobre aireación de suelos y pueden resumirse como sigue:

a) Se confirmaron las conclusiones de varios investigadores anteriores (Russell y Appleyard (1915); Romell (1922) y otros) en el sentido de que el contenido de  $O_2$  decrece y el de  $CO_2$  aumenta en el suelo conforme:

- 1) aumenta la profundidad
- 2) aumenta la temperatura
- 3) disminuye el espacio poroso

y de que la concentración de  $CO_2$  raramente sobrepasa el valor de 12% aún cuando el del  $O_2$  sea muy bajo.

b) Se puntualizó la importancia de los poros grandes o no-capilares en la aireación del suelo ya que parece confirmar la hipótesis sustentada por varios autores de que los suelos que tienen menos del 10% de espacio poroso no ocupado por agua en el punto de capacidad de campo, presentan aireación restringida.

c) Se demostró que la napa freática correlacionaba bastante bien en sus fluctuaciones con las variaciones del  $CO_2$  y  $O_2$ . Así, cuando la napa freática bajaba de los 3 pies, la concentración de  $O_2$  a esa profundidad aumentaba considerablemente, aunque entre uno y otro hecho transcurría alrededor de un mes de diferencia. Esta diferencia indicó que en ciertas épocas, una buena condición de drenaje no implicaba en sí mismo una buena condición de aireación.

d) Se mostró claramente la tendencia general de las fluctuaciones del contenido de  $CO_2$  y de  $O_2$ . El contenido de  $O_2$  era mínimo al empezar la primavera y a partir de ésta comenzaba a aumentar. La concentración de  $CO_2$  fluctuaba dentro de límites estrechos alcanzando

su valor máximo en el verano cuando la temperatura del suelo y las condiciones de humedad eran más favorables para la actividad biológica. Se observó entonces que el máximo contenido de  $\text{CO}_2$  no coincidía cronológicamente con el mínimo del  $\text{O}_2$ .

e) Se demostró la influencia de la textura del suelo sobre la intensidad de los cambios en la composición del aire del suelo y sobre su variación en profundidad. Así, si bien en todos los suelos el  $\text{O}_2$  disminuía con la profundidad, el efecto era mucho menos marcado en un suelo arenoso que en uno arcilloso. De la misma manera, los límites dentro de los cuales fluctuaba la concentración del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{O}_2$  eran mucho más amplios en los suelos arcillosos que en los arenosos.

También, Boynton y Reuther (9) diseñaron un método (el cual se utilizó en el presente trabajo) para extracción de muestras de gases del suelo, que aunque útil para suelos de baja densidad, es particularmente apropiado para obtención de muestras en subsuelos densos o que permanecen casi saturados de agua. Estos investigadores llamaron la atención sobre el hecho de que dada la circunstancia de que los colectores de muestras permanecen en el mismo lugar, elimina las probabilidades de variaciones en los análisis por efecto de la heterogeneidad del terreno, permitiendo así una apreciación más exacta de las pequeñas diferencias encontradas. Este tipo de muestreo de gases resulta útil en los estudios de las tendencias estacionales de la composición del aire del suelo.

Los trabajos realizados bajo condiciones controladas de laboratorio por Boynton (5), Boynton y Compton (7) y Boynton y Reuther (10) en relación con la influencia de distintas concentraciones de oxígeno en el medio de crecimiento radical sobre el desarrollo del sistema

radical de plantitas de manzano, suministraron suficiente evidencia de la existencia de niveles críticos de oxígeno para distintas fases de la actividad de las raíces de esa planta. Así, ellos encontraron que a 1 - 3% de  $O_2$  las raíces del manzano, mayores de 1 mm permanecían en una fase de subsistencia; que para el crecimiento de las raíces ya existentes se requería entre 5 y 10% de  $O_2$  y para la iniciación de más del 12% de  $O_2$ , en tanto que para el proceso de absorción y acumulación, el nivel mínimo era de 10%.

#### Trabajos realizados en Trinidad

En el transcurso de una serie de estudios ecológicos del cacao llevados a cabo en Trinidad, con la finalidad de determinar y definir suelos "buenos" y "malos" para cacao, Hardy y colaboradores estudiaron varios factores de crecimiento para lo cual hicieron mediciones periódicas durante varios ciclos de crecimiento. Se llegó así a la importante conclusión de que en la mayoría de los casos en que el rendimiento de cacao era bajo o estaba declinando, la falla parecía radicarse principalmente en las condiciones de crecimiento de las raíces. Esta conclusión condujo a la iniciación de estudios detallados sobre aireación y suministro de agua, lo mismo que a una investigación general de los hábitos de enraizamiento del cacao en varios suelos (19).

En uno de los estudios (36) se investigó durante tres ciclos de crecimiento, el contenido de agua y de aire en los espacios porosos de varios tipos de suelos arenosos y arcillosos comunes en Trinidad. Se encontró que en el suelo típicamente arenoso, el suministro de aire y agua era adecuado durante casi todo el año, excepto durante la época muy lluviosa; en cambio el suelo arcilloso presentaba cantidades

adecuadas sólo al final de la estación seca y al principio de la lluviosa.

Al estudiar el aspecto cuantitativo de la aireación se tomaron los siguientes índices para su evaluación, basándose en los propios trabajos y en la de autores anteriores:

Porcentaje de espacio poroso ocupado por aire	Condición de aireación
Más del 10% .....	Buena
Entre 5 y 10% .....	Media
Menos del 5% .....	Mala

El aspecto de la composición del aire del suelo fue abordado por Vine y por Thompson (36), quienes analizaron muestras de aire provenientes de distintos tipos de suelos, de diferentes profundidades y en épocas secas y lluviosas. Emplearon el método de Boynton y Reuther para la extracción de muestras de gases y el aparato Haldane para su análisis. Para la evaluación de los datos obtenidos tuvieron en cuenta los valores sugeridos por Boynton con respecto a contenidos de  $O_2$  y su relación con la actividad radical del manzano.

Con respecto a la concentración de  $CO_2$  se atuvieron al valor crítico de 5-6% sugerido, según ellos, por algunos investigadores como límite máximo de tolerancia para las raíces.

Otro aspecto del problema de la aireación del suelo encarado en esta serie de trabajos fue el de la "respiración del suelo". Se determinó el  $CO_2$  difundido a partir de la superficie, como medida de la "respiración del suelo". Se encontró que el promedio de  $CO_2$  difundido durante la época seca era de 20,4  $l/m^2/día$  y de 3.8  $l/m^2/día$  en la época húmeda. Como valor de referencia tuvieron en cuenta el de

7 l/m<sup>2</sup>/día de CO<sub>2</sub> calculado por Romell(1922) como indicativo de una aireación normal, a la temperatura de 15°C.

### Trabajos realizados en Rusia

Con la idea de que el principal problema en el mejoramiento de la aptitud agrícola de los suelos turbosos consistía en crear un régimen de aireación favorable, Makarov (27) realizó un estudio sobre este aspecto.

Consideró que los factores principales a tenerse en cuenta para describir apropiadamente el régimen de aireación de un suelo eran:

- a) Contenido de aire
- b) "Respiración del suelo" (liberación de CO<sub>2</sub>)
- c) Composición del aire

Encontró que:

1) existía una estrecha interrelación entre el nivel de la napa freática, el contenido de humedad, y el grado de aireación de los suelos estudiados;

2) la cantidad de aire en el suelo no reflejaba en forma completa su estado de aireación, pues dos suelos con el mismo contenido de aire podían diferir grandemente en cuanto a su composición. Así, por ejemplo, la concentración de CO<sub>2</sub> en los suelos húmicos-turbosos alcanzaba a 8% durante la época de crecimiento mientras que en los chernozems y en los suelos oscuros no excedía de 1-1.3%. En consecuencia, no obstante la igualdad del contenido de aire, las plantas sufrían por falta de O<sub>2</sub>;

3) la intensidad de difusión del CO<sub>2</sub>, calculada en la forma establecida por Lundergardh, era un buen índice para evaluar el estado

de aireación de un suelo.

Por su parte Novikov (28) estudió la composición del aire en tres tipos de suelos orgánicos-turbosos de Bielorrusia durante los años 1957-1959. Puso especial atención en el efecto de la cantidad de aire y del nivel de la napa freática sobre la composición del aire del suelo, e hizo observaciones y mediciones de humedad y temperatura del suelo, precipitación, napa freática, temperatura y presión del aire. Este autor encontró que:

1) El coeficiente de correlación entre la concentración de  $\text{CO}_2$  y la cantidad de aire del suelo era de 0.84, siendo la relación existente de tipo inverso, pues, según lo demostró Buckingham (1904), la intensidad de difusión del  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera es proporcional al cuadrado del volumen total de aire y es independiente del tamaño de los poros.

2) En los suelos orgánicos-turbosos, de drenaje poco profundo, el nivel de la napa freática y la cantidad total de aire en el suelo eran los dos principales factores que afectaban la composición del aire.

3) Cuando el nivel del agua descendía por debajo de 100-110 cm ya no afectaba la composición del aire de la capa superficial del suelo, porque la franja capilar no llegaba hasta ésta, y en consecuencia no podía interferir en el intercambio de gases con la atmósfera.

4) En algunos casos la suma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  era inferior a 20.93% (suma de ambos gases en la atmósfera) siendo mayores las desviaciones cuando la concentración de  $\text{CO}_2$  sobrepasaba el valor de 5%. Este hecho fue considerado como indicativo de una aireación anormal y se observó que cuando ésta mejoraba, la suma se aproximaba a 20.93%.

DESCRIPCION DEL CLIMA DE TURRIALBA ✓

Los datos en base a los cuales se hace la descripción del clima de Turrialba, provienen de la estación meteorológica situada muy cerca de las edificaciones del I.I.C.A., a 602 m (1975 pies) de altura. Sus puntos cardinales son: 9°53' de latitud Norte y 83°39' de longitud Oeste.

Hardy\* describió el clima del valle de Turrialba de la siguiente manera: "La temperatura media anual en el I.I.C.A., Turrialba, es de 22°6' (72°7'F) y la precipitación media anual es de 2.563 mm (102.6 ins.). El promedio de diferencias entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas es de 11°4' (20°7'F). Es mayor en la estación húmeda y calurosa y menor en la estación más fresca y menos húmeda. La precipitación mensual es considerablemente menor que el promedio en los primeros cuatro meses del año. Los valores de evapotranspiración potencial mensual, calculados a partir de las temperaturas medias mensuales aplicando la fórmula de Holdridge (E = 0.197T), son mucho menores en magnitud que la precipitación en todos los meses excepto marzo y abril en que son un poco mayores. Esto implica que el proceso de lavado y drenaje ocurre durante cada mes del año excepto dos. La diferencia entre la precipitación anual y la evapotranspiración anual es de 1.232 mm (49.3 ins.). La precipitación anual es entonces casi dos veces mayor que la evapotranspiración potencial". La descripción está basada en los datos que figuran en el Cuadro 1 y la Figura 1.

---

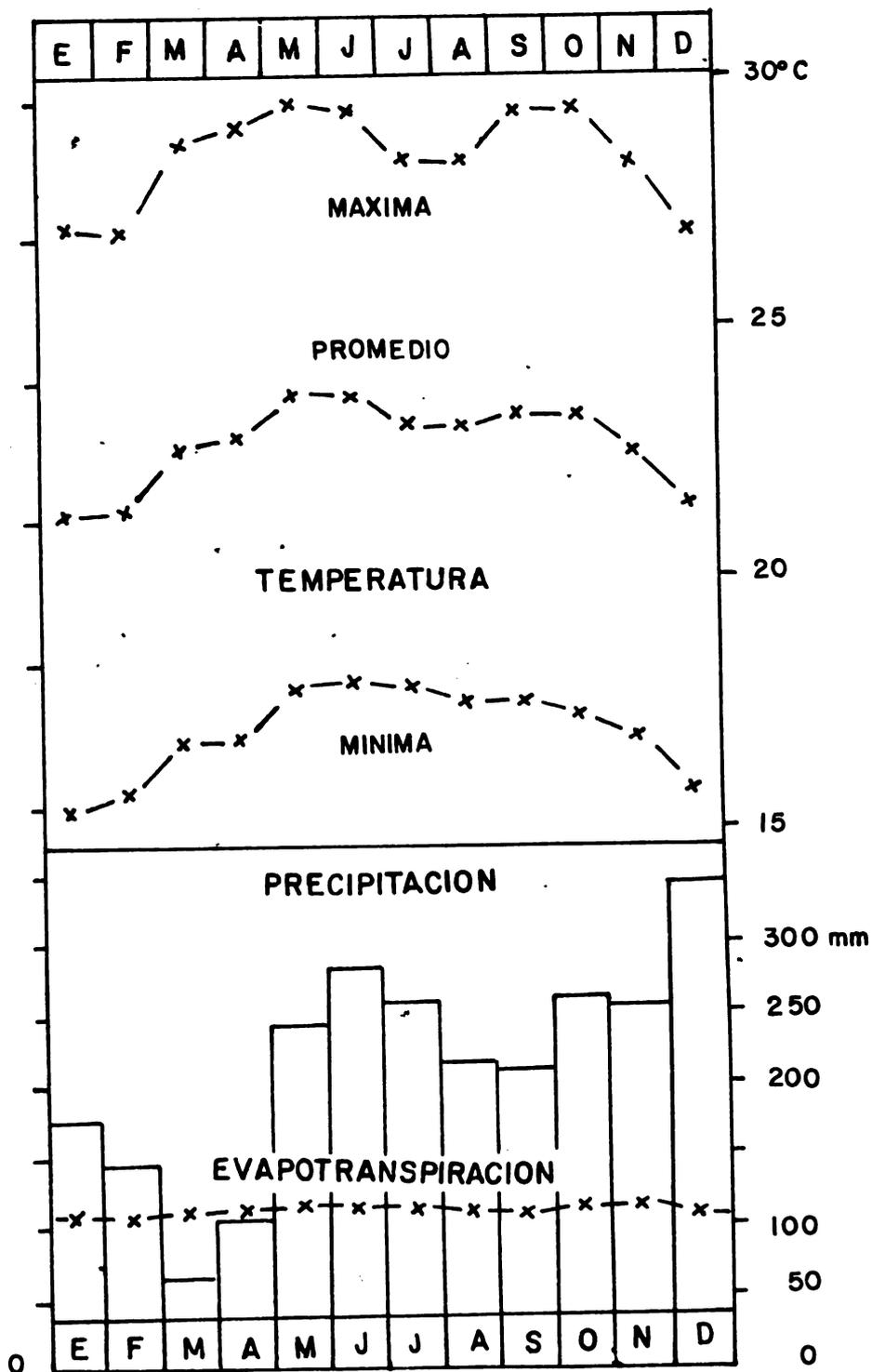
\* Apuntes mimeografiados.

Cuadro 1. Promedio mensuales y anual de: (P) precipitación (mm); (ET) evapotranspiración potencial (mm); (R) exceso de precipitación (mm) y (T) temperatura (°C).

	Ene- ro	Febre- ro	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos- to	Setiem- bre	Octu- bre	Noviem- bre	Diciem- bre	Año
P	175	142	62	105	242	285	260	218	212	262	258	342	2.563
ET	105	105	110	112	115	115	112	112	115	115	110	105	1.331
R	70	37	-48	-7	127	170	148	106	97	147	148	237	1.232
T	21.2	21.3	22.6	22.8	23.6	23.6	23.0	22.9	23.3	23.2	22.4	21.4	22.6

FIGURA I

CLIMA DE TURRIALBA COSTA RICA



## DESCRIPCION DEL AREA DE TRABAJO

El lugar de trabajo está ubicado dentro del área del I.I.C.A., Turrialba, y específicamente dentro de la superficie correspondiente a la colección de café de esta institución. Su localización exacta está indicada en la Figura 2.

Tiene una superficie total de alrededor de unos 2.000 metros cuadrados. Su relieve se caracteriza por ser levemente ondulado, con algunas depresiones. En estas depresiones existe la tendencia a acumularse agua dando lugar a la formación de perfiles con características hidromórficas.

Su altura está comprendida entre los 590 y 610 m sobre el nivel del mar. Según Dóndoli y Torres (15), los suelos de este lugar corresponden a la Serie La Margot franco-arcillo-arenoso fase normal. Este es un suelo Azonal, de carácter aluvio-lacustrino desarrollado directamente sobre un Aglomerado del Plioceno inferior ("Boulder clay"). El aluvión comprende una amplia terraza riverina de lechos de antiguos lagos, de unos seis metros de altura con respecto a las tierras más bajas del área.

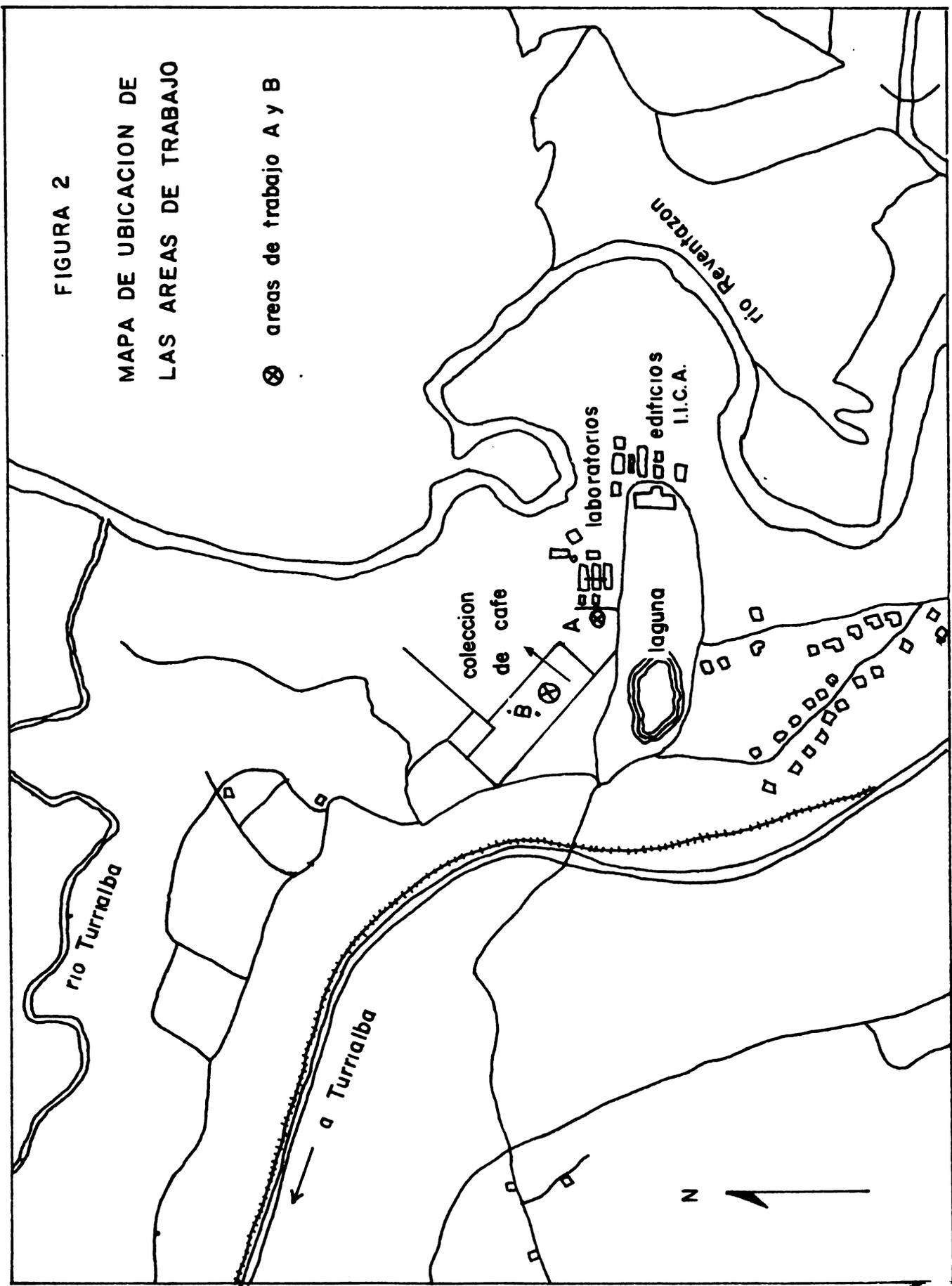
Se considera que es un suelo fértil, apto para caña de azúcar y otros cultivos de la zona. Sus características sobresalientes son:

1. Drenaje variable: bueno en las partes altas e imperfecto en las depresiones.
2. Pedregosidad: presencia de cantos rodados y piedras de diferentes tamaños y de distribución irregular tanto en superficie como en profundidad.

FIGURA 2

MAPA DE UBICACION DE LAS AREAS DE TRABAJO

⊗ areas de trabajo A y B



## MATERIALES Y METODOS

### A. Trabajo de campo

#### 1. Localización de los sitios de trabajo

La selección de los sitios (A) y (B) y la descripción en ellos, de los perfiles I, II, III y IV, se realizó teniendo en cuenta el interés de obtener información de lugares contrastantes en lo que a drenaje se refiere.

El sitio (A), donde se cavó el pozo I y se describió su perfil, está ubicado detrás del Invernadero de Fisiología. A unos 500 metros al norte del sitio (A) se encuentra el (B). Este corresponde a una hondonada cuya parte más baja suele inundarse en los días de fuertes y/o frecuentes lluvias. Aquí se cavaron los pozos II (parte más alta), III (parte media de la pendiente) y IV (parte más baja de la depresión).

El sitio (A) corresponde a un lugar plano, alto, considerado de buen drenaje. En resumen se tienen:

Sitio (A): plano, alto, buen drenaje

- Perfil I: (drenaje libre)

Sitio (B): hondonada o depresión, drenaje variable

- Perfil II: (drenaje libre)
- Perfil III: (drenaje imperfecto)
- Perfil IV: (drenaje impedido)

Una vez seleccionados estos sitios y descritos los perfiles, se procedió a delimitar la zona de influencia de cada uno de los perfiles, tarea que se llevó a cabo mediante barrenamiento, observando el espesor de capa húmica, la presencia y profundidad de horizonte gley

y la presencia de piedras.

En las Figuras 3 y 4 se muestra la ubicación de los perfiles y la delimitación de sus áreas de influencia.

Los sitios III y IV estaban desprovistos de árboles de café y de sombra al comienzo del trabajo (28-29 de julio de 1964). Entre los últimos días de agosto y los primeros de setiembre se transplantaron allí, plantitas de café de 1 año, (alrededor de 300) de la variedad Borbón rojo, siguiendo la misma alineación de las plantaciones ya existentes.

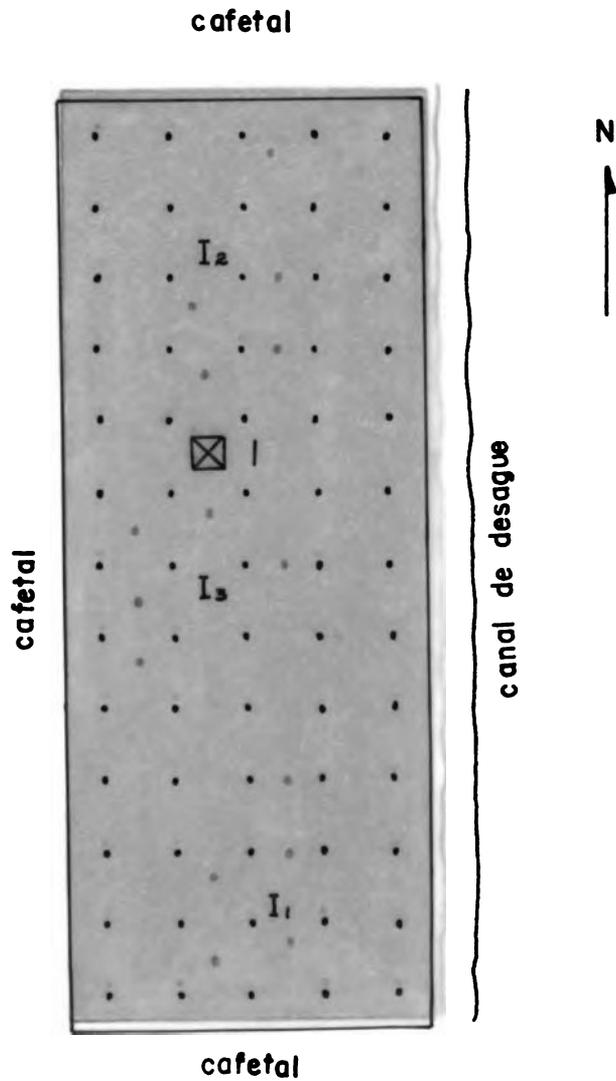
## 2. Toma de muestras

Con el objeto de hacer la descripción de los perfiles correspondientes a los cuatro sitios delimitados, y de tomar muestras de suelo para hacer las determinaciones necesarias, se cavaron cuatro pozos de 90 x 90 x 90 cm. La tierra proveniente de cada capa sucesiva de 15 cm se amontonó en forma separada alrededor de cada pozo. Esta tarea se llevó a cabo durante los días 28 y 29 de julio de 1964, que correspondieron a un período de pocas lluvias.

Una vez realizada la descripción de todo el perfil se procedió al muestreo que consistió en lo siguiente:

- 1) Obtención de muestras de suelo de volumen conocido con el fin de determinar su gravedad específica aparente. Estas se tomaron insertando verticalmente cilindros de latón con uno de sus extremos de bordes afilados, en cada capa sucesiva de 15 cm del perfil, hasta los 90 cm. Una vez insertados con la ayuda de un mazo de caucho se quitaron los cilindros y se eliminó la tierra de sus partes externas con un cuchillo bien afilado. Esto se practicó en los cuatro pozos y

FIGURA 3  
MAPA DE SUELOS  
AREA A



-  POZO
-  CLASE I

las muestras se tomaron por duplicado. Cada cilindro se colocó en una bolsa de plástico etiquetada, para su transporte al laboratorio.

2) Obtención de muestras de suelo para determinaciones físicas y químicas. Se tomaron muestras de suelo de alrededor de un kilogramo de cada capa sucesiva de 15 cm, y se colocaron en bolsas de polietileno etiquetadas. Estas muestras fueron llevadas al invernadero donde se distribuyeron sobre papelas para su secado. Después de secadas se molieron y pasaron por un tamiz de 2 mm.

### 3. Determinación de velocidad de infiltración

Estas determinaciones se efectuaron empleando el método de los anillos infiltrométricos concéntricos. El anillo interno tenía 30 cm de diámetro y el nivel del agua se mantuvo a 1 cm de altura sobre la superficie durante el tiempo que duró cada determinación, que fue de una hora. El intervalo de lecturas del agua infiltrada fue de 5 (cinco) minutos.

Las mediciones se realizaron alrededor de los pozos I, II, III y IV, a las siguientes profundidades.

- 1) Superficie
- 2) 15 cm (6 pulg.)
- 3) 45 cm (18 pulg.)
- 4) 90 cm (36 pulg.)(fondo de los pozos I, II, III y IV)

El procedimiento seguido se basó en las recomendaciones hechas en "A field method for measurement of infiltration" (23).

### 4. Mediciones de altura de napa freática

Con este objeto se colocaron entre los pozos III (parte media de

la pendiente) y IV (parte más baja de la depresión) 7 (siete) tubos metálicos terminados en punta, con varias series de orificios a lo largo y recubierto con malla metálica. Las dimensiones de los tubos son las siguientes:

largo: 122 cm (48 pulgadas)

diámetro: 5 cm ( 2 pulgadas)

La distancia entre uno y otro fue de aproximadamente dos metros y el desnivel de cada uno de ellos con respecto al pozo IV fue:

Tubo 1 (cerca pozo IV)	.....	4 cm
" 2	.....	6 cm
" 3	.....	10 cm
" 4	.....	20 cm
" 5	.....	30 cm
" 6	.....	42 cm
" 7	.....	65 cm
" 8 (cerca pozo III)	.....	91 cm

Otro tubo, el nº 9 fue colocado a la orilla del canal de desagüe, según se indica en la Figura 4b.

El registro del nivel del agua en estos tubos se llevó casi diariamente desde agosto de 1964 hasta febrero de 1965.

##### 5. Colocación de colectores de muestras de aire del suelo

A este respecto se usó el diseño y se siguieron las instrucciones dadas por Boynton y Reuther (9) para la obtención de muestras de aire de suelo, a partir de distintas profundidades.

Los muestreadores usados consistieron de tubos de plásticos de 7.5 cm de largo y 2 cm de diámetro, llenos de lana de vidrio, abiertos

FIGURA 4a

MAPA DE PLANTACION DE CAFE  
Y DE UBICACION DE ELEMENTOS  
DE TRABAJO

- Colectores de muestras de aire
- Tubos para medir napa freática.

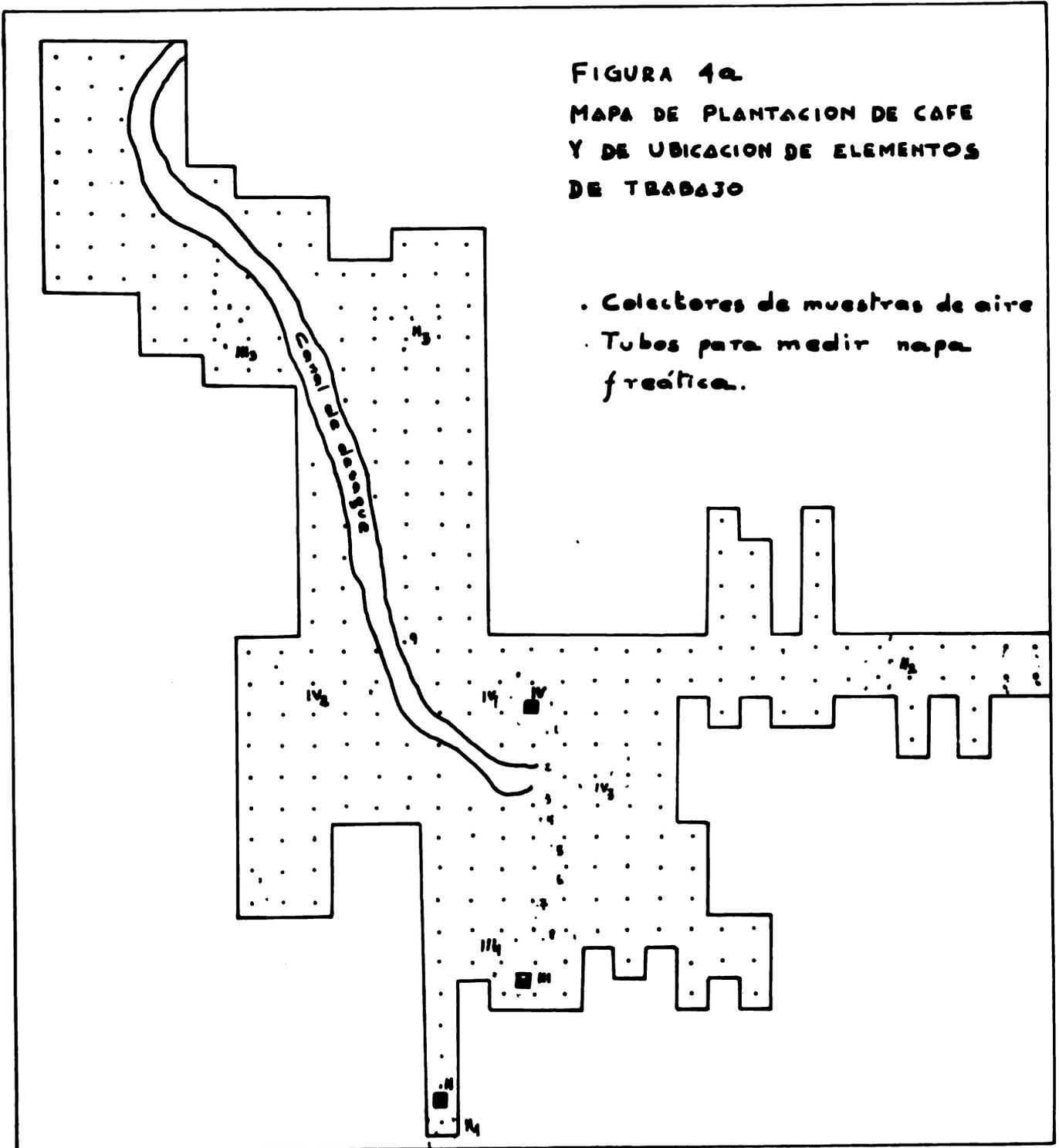


FIGURA 4  
MAPA DE SUELOS  
AREA B



en el extremo inferior y conectados por el otro a la superficie mediante un tubo de cobre de 1/8 de pulgada de diámetro interno. Dichos muestreadores fueron colocados a las profundidades deseadas, ubicándolas en los huecos hechos con barreno del mismo diámetro del tubo de plástico, y luego relleno con la misma tierra quitada. Se tuvo especial cuidado en alterar al mínimo el estado natural del suelo.

Los lugares de colocación fueron los correspondientes a los lugares de influencia de los perfiles I, II, III y IV. Las profundidades muestreadas fueron: 15, 30, 45, 60 y 75cm. En cada lugar se hicieron tres repeticiones.

Dos repeticiones del lugar IV (bajo) no incluyeron muestreadores a la profundidad de 75 cm porque en esos lugares la napa freática normalmente está a menos de esa profundidad, imposibilitando de esa manera la toma de muestra de aire. En total se colocaron 58 muestreadores distribuidos así:

Zona de influencia del pozo I:	15
Zona de influencia del pozo II:	15
Zona de influencia del pozo III:	15
Zona de influencia del pozo IV:	13
	<hr/>
	58

## 6. Análisis de muestras de aire del suelo

Los análisis de aire consistieron en determinaciones de oxígeno y de dióxido de carbono en las muestras de aire extraídas de los colectores instalados. Se utilizaron dos aparatos en estas determinaciones; un analizador de oxígeno Beckman modelo D2 (análisis de O<sub>2</sub>) y

un analizador de gases Haldane modelo portátil, (análisis de  $O_2$  y de  $CO_2$ ).

Con el aparato Beckman, por su facilidad de manejo y la rapidez con que determina el contenido de oxígeno en la muestra, se hicieron varias series completas de determinaciones de oxígeno en todos los muestreadores. Fue fácil realizar determinaciones en los 58 colectores de aire en un solo día. Con ello se facilitó la comparación de los datos provenientes de los distintos lugares.

Por dificultades encontradas en el manejo del aparato Haldane, el número de mediciones realizadas con él fueron muy inferiores a las efectuadas con el analizador Beckman D2, pero ellas se consideran precisas por lo que sirvieron para:

- a) verificar las mediciones efectuadas con el analizador Beckman,
- b) para tener datos con respecto al contenido de  $CO_2$  en las muestras de aire.

Para ilustrar el punto a) se presentan los datos sobre porcentajes de oxígeno obtenidos con ambos aparatos, uno a continuación del otro (Cuadro 2). Se observa que existe una muy buena correlación de ambas series de datos, cuando éstos tienen una magnitud superior a 17%. Para valores inferiores, la correlación no es tan perfecta ni constante.

Para la evaluación general del estado de aireación de éstos suelos en base a los datos obtenidos, se tuvieron en cuenta los valores críticos para distintas fases del desarrollo del manzano (ver pág.10) y la suma de  $O_2$  y  $CO_2$  en la atmósfera del suelo, partiéndose de la suposición de que cuando más se aparta esta suma del valor de 20.9%

(suma del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> en el aire atmosférico), mayor es la desviación de la composición del aire del suelo con respecto al normal (28).

Cuadro 2. Comparación de datos sobre porcentajes de oxígeno en el aire del suelo, obtenidos con el analizador Beckman y con analizador de gases Haldane.

Localización	Beckman	Haldane	
I <sub>1</sub>	15	20.0	19.9
	30	19.3	19.5
	45	19.2	19.2
	60	agua	agua
	75	agua	agua
I <sub>2</sub>	15	18.7	18.8
	30	18.9	19.1
	45	16.3	17.5
	60	16.3	17.7
	75	14.7	16.1
I <sub>3</sub>	15	17.8	18.3
	30	19.25	19.4
	45	11.25	11.2
	60	15.25	15.9
	75	agua	agua
I <sub>1</sub>	15	20.35	20.1
	75	15.0	16.3
IV <sub>2</sub>	15	19.2	19.35
	30	18.9	19.1
	45	18.2	18.35
	60	agua	agua
	75	agua	agua
IV <sub>3</sub>	15	20.4	20.4
	30	19.8	19.9
	45	20.1	20.3
	60	19.2	19.3
	75		
IV <sub>3</sub>	15	19.5	19.2
	30	18.3	18.5
	45	agua	agua
	60	agua	agua
	75	agua	agua
I <sub>1</sub>	75	14.06	14.0

B. Trabajo de laboratorio

1. Análisis físicos

Con las muestras de suelo tomadas de los cuatro perfiles se hicieron las siguientes determinaciones físicas:

a) Punto de pegajosidad (sticky point): se realizó agregando agua a una determinada cantidad de suelo seco al aire y pasado por tamiz de malla 70 (0.21 mm) hasta la obtención de una masa en el punto en que se pega y se despega con facilidad a la palma de la mano. En ese estado se determinó su contenido de humedad.

b) Arena fina y gruesa: para hacer esta determinación se siguió el "método del beaker" (Osborne, U.S. Bureau Soils, 1896) que consiste esencialmente en: tratar una cantidad determinada de suelo con un agente dispersante (consistente de una solución 0.5 N de carbonato o silicato de sodio), pasarlo por un tamiz de 0.2 mm (70 mesh) para separar la fracción gruesa de arena, seguir tratando la suspensión restante con dispersante y permitir la sedimentación de la arena fina que se separa así de la fracción limo-arcilla.

c) Con los valores de punto de pegajosidad y de contenido total de arena se derivaron los valores de índice de textura de acuerdo con la fórmula:

Índice de textura: Punto de pegajosidad - 20% contenido de arena.

Los valores del índice de textura expresan en forma aproximada la cantidad de agua que un suelo puede retener en forma coloidal y en este trabajo se los utilizó para calcular espacio poroso capilar:

Espacio poroso capilar = Índice de textura x Gravedad específica aparente

d) Gravedad específica aparente (densidad): el suelo contenido en los cilindros (ver Toma de muestras) se traspasó a recipientes adecuados para ser llevados a estufa a 105°C por 24 horas, para conocer su peso en seco, y calcular así la gravedad específica aparente.

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{\text{Peso suelo seco}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

e) Gravedad específica verdadera (peso específico real): esta determinación se efectuó siguiendo el procedimiento corriente del picnómetro. Como líquido de referencia se usó xilol, de densidad 0.85.

Con los valores de Gravedad específica verdadera y Gravedad específica aparente se calculó la porosidad total aplicando esta fórmula:

$$P = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100$$

donde  $S_1$  = gravedad específica verdadera.

$S_2$  = gravedad específica aparente.

Substrayendo a los datos de porosidad total los de porosidad capilar ya calculados se obtuvieron los valores correspondientes a porosidad no-capilar. Resumiendo, con todos los datos obtenidos en esta serie de determinaciones físicas se calculó para cada una de las muestras de suelo, lo siguiente:

- 1) Espacio poroso total
- 2) Espacio poroso capilar
- 3) Espacio poroso no-capilar

## 2. Determinaciones de humedad

Todas las determinaciones de humedad fueron hechas secando las muestras en estufa a 105° durante 24 horas y haciendo el cálculo por

diferencia de pesadas. En general se hicieron los muestreos para humedad al mismo tiempo que las determinaciones de composición de aire del suelo. Por ello las profundidades de muestreo (realizada mediante barreno) fueron las mismas que la de los colectores de muestras de aire: 15, 30, 45, 60 y 75 cm. En cada una de las zonas de influencia de los cuatro perfiles se muestrearon tres lugares correspondientes a cada una de las repeticiones de determinaciones de composición de aire. De esta manera, cada serie de determinación de humedad constó de 60 muestras obtenidas así:

<u>Lugar</u>	<u>Profundidades</u>	<u>Nº de repeticiones</u>
I	15, 30, 45, 60 y 75 cm	3
II	"	3
III	"	3
IV	"	3

### 3. Determinaciones de materia orgánica

Estas determinaciones se realizaron siguiendo el método de Walkley-Black que usa ácido sulfúrico y dicromato de potasio como oxidantes de la materia orgánica.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos.

#### Reacción (pH):

La reacción de cada una de las muestras tomadas en los cuatro perfiles estudiados se midió con un potenciómetro siguiendo las instrucciones indicadas por el Método internacional: relación agua-suelo, 2.5:1 y tiempo transcurrido antes de la determinación igual a 30 minutos.

En el Cuadro 3 se presentan los datos correspondientes.

Cuadro 3. Constantes físicas, materia orgánica y pH de los perfiles I, II, III y IV.

Area	Pozo No	Profundidad (cm)	Arena		Punto de pegajosidad (%)	Indice de textura	Gravedad específica		M.O. (%)	pH
			Gruesa (%)	Fina (%)			Aparente	Real		
A	I	0-15	7.3	15.8	53.1	49.8	0.920	2.457	5.2	5.0
		15-30	3.4	18.3	44.4	41.2	0.914	2.586	1.8	5.5
		30-45	2.8	14.8	48.7	45.9	1.049	2.706	1.1	5.1
		45-60	1.3	17.7	53.2	50.3	0.990	2.638	1.8	5.0
		60-75	2.8	21.7	53.9	49.7	1.109	2.644	0.6	5.1
		75-90	2.3	25.9	55.6	51.4	1.016	2.750	-	5.15
B	II	0-15	4.3	16.2	53.9	50.6	0.995	2.485	4.1	4.8
		15-30	5.3	16.3	51.2	47.5	0.958	2.522	3.7	5.2
		30-45	4.8	16.9	43.9	40.5	1.123	2.600	2.0	5.4
		45-60	2.3	13.6	47.8	44.8	1.068	2.670	1.2	5.4
		60-75	1.4	16.2	52.8	50.3	1.110	2.703	0.9	5.3
		75-90	2.9	19.5	62.7	58.8	1.130	2.678	-	5.3
B	III	0-15	8.2	18.3	47.3	43.1	0.977	2.538	4.3	5.5
		15-30	6.1	16.8	42.8	39.4	1.216	2.715	1.3	5.8
		30-45	3.6	16.4	47.2	44.3	1.099	2.624	0.7	5.3
		45-60	3.1	15.8	53.1	50.4	1.170	2.606	-	4.6
		60-75	2.1	16.2	53.5	50.5	1.146	2.633	-	4.8
		75-90	4.0	21.0	51.4	47.4	1.161	2.686	-	4.8
B	IV	0-15	0.3	8.4	66.2	64.8	0.756	2.226	5.8	4.6
		15-30	0.1	5.9	55.2	54.3	0.764	2.425	3.3	5.0
		30-45	0.2	6.9	84.7	83.5	0.765	2.763	0.7	5.3
		45-60	0.2	7.7	70.6	69.4	0.708	2.129	-	5.1
		60-75	0.15	15.2	47.1	44.5	0.928	2.521	-	5.1
		75-90	3.6	21.0	41.0	36.5	1.280	2.570	-	5.3

RESULTADOS

A. Descripción de perfiles

La descripción de los perfiles se realizó en base a la observación de los pozos de 90 cm de profundidad y del barrenamiento efectuado a partir de esa profundidad\*.

Perfil I y Perfil II: Fase normal de la serie La Margot franco-arcillo-arenoso.

- 1) 0-25 cm (0-10 pulg.) Textura: arcillo-limosa. Color: marrón oscuro (7.5 YR 4/4). Estructura: estable, de terrenos finos. Raíces abundantes. Piedras: ausentes. Transición brusca entre capa húmica y el resto del perfil.
- 2) 25-60 cm (10-24 pulg.) Textura: arcillo-limosa, friable. Color: pardo intenso (7.5 YR 5/8). Estructura: de pequeños agregados nuciformes angulares. Friable. Raíces: esparcidas. Piedras: comienzan a ser más abundantes, tienen un diámetro superior a 20-25 cm. y en su mayoría son suaves y están en distintos estados de meteorización. Capa más compacta y dura que la anterior.
- 3) 60-90 cm (24-36 pulg.) Estructura: nucelar angular. Friable. Color: similar al anterior, probablemente más pálido. Piedras: abundantes, en su mayoría descompuestas, dando

---

\* La observación de los perfiles fue realizada con el Prof. Hardy, de cuyas notas se extraen las descripciones presentadas.

coloraciones desde sepia y herrumbre hasta azul oscuro, cuando son hendidas con la pala. Aumentan en cantidad con la profundidad. Raíces: ausentes.

Arenosa al tacto y más compacta que la anterior.

Barrenamiento:

Pozo I: Se alcanzó la napa freática a la profundidad de 1.30 m. A los 45 cm se observaron trazas de gley, incrementándose con la profundidad. Se observó un moteado gris purpurino, anaranjado y sepia. No se notaron mayores cambios hasta los 2.10 m (profundidad máxima explorada).

Pozo II: La napa freática no fue alcanzada en toda la profundidad explorada (2, 10 m). Se encontró dificultad durante el barrenamiento por presencias de piedras. A los 30 cm se notó aparición de trazas de gley.

Perfil III: Fase imperfectamente drenada de la serie La Margot franco-arcillo-arenoso.

- 1) 0-20 cm (0-8 pulg.) Textura: arcillo-limosa. Friable. Color: oscuro (7.5 YR 3/2). Estructura: fina, suave, ligera, de gránulos estables. Raíces: esparcidas (vegetación también esparcida).
- 2) 20-75 cm (8-30 pulg.) Textura: arcillo-limosa. Friable. Color: pardo (7.5 YR 5/4). Estructura: de pequeños gránulos nucleares. Más pálido cuando seco (7.5 YR 5/2). Gley incipiente. Piedras abundantes, en estado de meteorización, dan coloración herrumbrosa al quebrarse. Extremadamente pegajosa cuando húmeda.

- 3) 75-90 cm (30-36 pulg.) Textura: arcillo-limosa. Friable. Color: pardo pálido (7.5 YR 5/2). Más pálido cuando seco (7.5 YR 6/2). Estructura: fina, nuciforme. Presencia de gley. Moteado esparcido. Coloración herrumbrosa debido a presencia de fragmentos de piedras meteorizadas.

Barrenamiento: Pozo III: No se alcanzó la napa freática en toda la profundidad explorada que fue de 1.65 m, a partir de la cual se desistió de seguir barrenando por impedirlo la presencia de piedras.

Perfil IV: (Parte más baja de la hondonada). Fase con drenaje impedido o inundable de La Margot sandy clay loam.

- 1) 0-25 cm (0-10 pulg.) Textura: arcillo-limosa. Estructura: finamente granulada; gránulos uniformes de alrededor de 1 mm de diámetro, muy poroso y suelto. Color: casi negro (7.5 YR 3/2). Raíces: abundantes. Piedras: ausentes.
- 2) 25-52.5 cm (10-21 pulg.) Color: súbito cambio a color gris pálido neutro (cuando húmedo) y blanco (cuando seco). Contenido de arcilla caolinítica. Moteado ausente. Comienza la napa freática permanente. El agua corre rápidamente hacia este lugar desde varios sitios, desde los 30 cm de profundidad. Piedras: ausentes. Esta capa es muy pegajosa y plástica cuando húmeda.
- 3) 52.5-65 cm (21-26 pulg.) Estructura: agregados en forma de bloques y placas. Color: cambio a color gris oscuro, posiblemente

húmico. Falta de moteamiento, color uniforme. Textura: arcillo-limosa. Piedras: ausentes. Esta es muy húmeda y no tan pegajosa como la anterior.

4) 65-90 cm  
(26-36) Textura: arcillo-limosa, arenosa al tacto. Color: cambio a color gris verdoso. Muy húmedo. No tan pegajosa como la anterior.

Barrenamiento: No se realizó en razón de la presencia de agua en el pozo. Se notó que de los cuatro lados, de la profundidad de 30 cm y especialmente de los 45 escurría agua.

#### B. Comparación de perfiles

##### 1. Características físicas y fisicoquímicas de los perfiles I, II, III y IV

En el Cuadro 3 se presentan los datos referentes a contenido de arena, punto de pegajosidad (sticky point), índice de textura, gravedad específica aparente y real, materia orgánica y reacción (pH).

Contenido de arena: Los promedios de contenido total de arena, considerando el perfil total (0-90 cm), fueron los siguientes: Perfil I, 22.3%; Perfil II, 20.1%; Perfil III, 21.9% y Perfil IV, 11.6%.

Estos datos y los presentados en el Cuadro 3 permiten decir que:

a) existe una marcada diferencia entre los promedios de los perfiles I, II y III y el promedio del perfil IV;

b) existe una tendencia general de disminuir el contenido de arena a medida que se profundiza, hasta los 60-75 cm, a partir del cual vuelve a aumentar. Se supone que este aumento se debe a la

presencia de mayor cantidad de rocas en meteorización mecánica. Esto es más evidente en el caso del perfil IV, el cual hasta los 60 cm (bajo contenido de arena) prácticamente no presenta fracciones de rocas en meteorización;

c) los porcentajes de la fracción limo-arcilla fluctúan entre 71.8% (perfil I; 75-90 cm) y 94% (perfil IV; 15-30 cm). Este hecho y la determinación de textura al tacto realizada durante la descripción de perfiles permiten clasificar a estos suelos como Arcillo-limosos.

#### Índice de textura

A partir de este índice se puede clasificar texturalmente a un suelo y calcular su espacio poroso capilar.

La clasificación textural sugerida es la siguiente:

<u>Índice de textura</u>	<u>Clasificación</u>
55-60	arcilla pesada
40-55	arcilla
30-40	limo
20-30	franco
10-20	arena
0-10	arena ligera

Los valores de índice de textura en los perfiles I, II, y III estuvieron dentro del rango 40-55 por lo que se clasifican como arcillosos. Los valores correspondientes al perfil IV, hasta la profundidad de 60 cm fueron superiores a 55 por lo que se clasificaron como arcilla pesada. A partir de esa profundidad se observó un descenso muy notable de los índices de textura cayendo dentro de la clasificación arcilla y limo. Este descenso correspondió a un aumento del contenido de arena en esas profundidades.

Gravedad específica

Aparente: Se observó que en los perfiles I, II y III los valores numéricos para gravedad específica mostraron en general poca variación entre las distintas capas del perfil y entre perfiles. Los promedios para todo el perfil aumentaron gradualmente del I al III (0.999; 1.064 y 1.128) pero sufrieron una disminución brusca en el perfil IV (0.866). La diferencia es más pronunciada aún cuando se considera el perfil hasta los 60 cm donde el promedio de densidad es de 0.748.

Teniendo en cuenta los siguientes límites de densidad a los cuales las raíces no pueden penetrar (35):

Suelos arenosos ..... densidad 1.75

Suelos arcillosos ..... densidad 1.46-1.63.

Se puede afirmar que ninguno de los perfiles presentó obstáculos mecánicos a la penetración de las raíces.

Real: Los promedios de gravedad específica real, para todo el perfil, fueron los siguientes:

Perfil I : 2.630

Perfil II : 2.609

Perfil III: 2.640

Perfil IV : 2.439

Materia orgánica: De acuerdo a los datos presentados en el Cuadro 3 la capa húmica de estos perfiles varió de 15 a 30 cm de espesor. A partir de los 30 cm de profundidad, el contenido de M.O. disminuyó bruscamente en los perfiles III y IV y más gradualmente en los perfiles I y II.

Los valores de M.O. para la capa superficial se consideraron medianamente altos, según los standards, y estuvieron dentro de los valores comunes para suelos de cafetales.

Reacción (pH):

Todos los valores de pH determinados caen dentro de la clasificación de fuertemente ácida a muy fuertemente ácida (de 4.5 a 5.8).

2. Características de porosidad de los perfiles I, II, III y IV:

Porosidad total, porosidad capilar y porosidad no-capilar

Las consideraciones con respecto a estas características físicas se hacen en base a los datos presentados en el Cuadro 4.

Porosidad total:

Los promedios de porosidad total para todo el perfil considerado (0-90 cm) fueron los siguientes:

Perfil I : 62.0 % en volumen

Perfil II : 59.3 % en volumen

Perfil III: 57.0 % en volumen

Perfil IV : 64.0 % en volumen

Se observa que todos los valores de porosidad fueron muy altos.

Los datos presentados permitieron apreciar una disminución gradual de los promedios de porosidad total del Perfil I al Perfil III. El promedio más alto correspondió al Perfil IV, el que a su vez es el perfil de mayor contenido de material fino y de mayor porcentaje de materia orgánica en su capa superficial.

Cuadro 4. Características de porosidad: espacio poroso total, espacio poroso capilar y espacio poroso no-capilar.

Lugar	Perfil	Profundidad (cm)	Espacio poroso (% v/v)		
			Total	Capilar	No-capilar
A	I	0-15	62	46	16
		15-30	65	38	27
		30-45	61	48	13
		45-60	62	50	12
		60-75	58	55	3
		75-90	63	52	11
B	II	0-15	60	50	10
		15-30	62	45	17
		30-45	57	45	12
		45-60	60	48	12
		60-75	59	56	3
		75-90	58	66	-8
B	III	0-15	61	42	19
		15-30	55	48	7
		30-45	58	49	9
		45-60	55	59	-4
		60-75	56	58	-2
		75-90	57	55	2
B	IV	0-15	66	49	17
		15-30	68	41	27
		30-45	72	64	8
		45-60	67	49	18
		60-75	63	41	22
		75-90	50	48	2

Nota: Los valores negativos de espacio poroso no-capilar se atribuyen a errores experimentales acumulados en todas las determinaciones que involucran su cálculo.

División del espacio poroso total en espacio poroso capilar y no-capilar:

Al efectuar esta división se partió de la base de que los poros que constituyen el espacio poroso capilar (microporos) no permiten el libre movimiento del agua, el que se vé limitado a su movimiento capilar, por lo que tienen la tendencia a acumular agua y a reducir el contenido y desplazamiento del aire.

En contraste, en los poros del espacio poroso no-capilar, el agua drena fácilmente y es reemplazado por aire.

En consecuencia, cuando se quiere evaluar la capacidad de retención de agua por parte de un suelo se refiere a su espacio poroso capilar y cuando se quiere evaluar su capacidad para contener y permitir el movimiento de aire se refiere a su espacio poroso no-capilar.

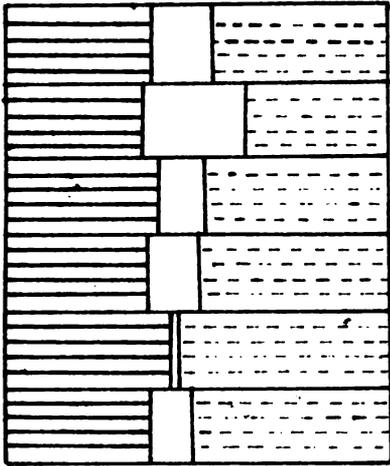
En la Figura 5 se presentan los diagramas de los cuatro perfiles estudiados, indicando: parte sólida, espacio poroso total, espacio poroso capilar, y espacio poroso no-capilar.

Ateniéndose a los valores standards sugeridos por Hardy (ver pág.45) para juzgar la capacidad potencial de aireación de un suelo se desprende que:

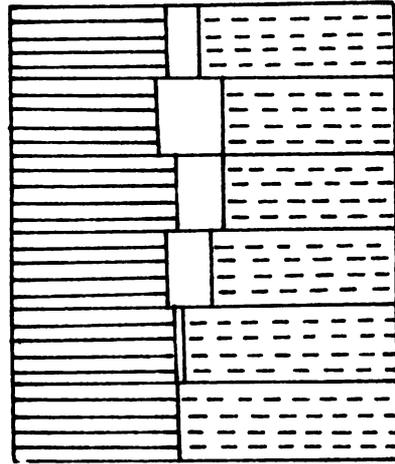
1. En el perfil I la capa de 0-30 cm es bien aireada, la de 30-60 y 75-90 es medianamente aireada y la de 75-60 cm es pobremente aireada.
2. En el perfil II la capa 0-60 cm es de medianamente aireada a bien aireada, la de 60-75 es pobremente aireada y la de 75-90 no aireada.
3. En el perfil III la capa superficial de 15 cm es bien

# FIGURA 5: PERFILES DE POROSIDAD

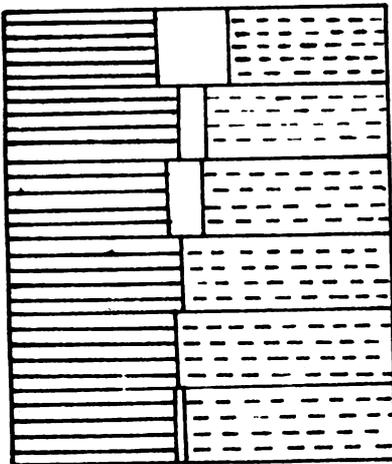
PERFIL I



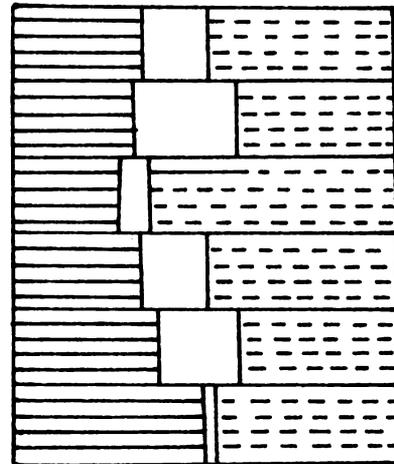
PERFIL II



PERFIL III



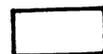
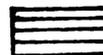
PERFIL IV



PARTE SOLIDA

ESPACIO POROSO NO CAPILAR

ESPACIO POROSO CAPILAR



aireada, la de 15-45 cm es medianamente aireada y la de 45-90 cm es practicamente no aireada.

4. En el perfil IV las capas de 0-30 cm y la de 45-75 cm son de bien aireadas a muy bien aireadas, la capa de 30-45 cm es medianamente aireada y la de 75-90 cm es pobremente aireada.
5. Sumando los porcentajes de espacio poroso no-capilar de todas las capas de cada perfil resultó el siguiente orden: 1) IV (con 94); 2) I (con 82); 3) II (con 54) y 4) III (con 37).

C. Fluctuaciones del espacio poroso no-capilar  
por efecto de las lluvias

Con el objeto de poder apreciar el efecto de las lluvias sobre la humedad del suelo y en consecuencia sobre el espacio poroso libre de agua (especialmente del espacio poroso no-capilar), se presentan en el Cuadro 5 los datos sobre humedad, espacio poroso total y espacio poroso no-capilar libres de agua. Ellos fueron obtenidos en cinco series de determinaciones realizadas durante diferentes condiciones de precipitación. Estas diferencias en precipitación se hacen evidentes al observar los datos de precipitación en los 10 días anteriores a cada determinación.

Cuadro 5. Precipitación (en mm) en los 10 días anteriores a cada serie de determinaciones de humedad.

17/XII/64	29/XII/64	9/I/65	22/II/65	26/II/65
0.0	1.5	0.0	0.0	0.0
0.5	11.7	0.0	0.0	0.0
0.5	0.2	0.0	0.0	3.5
0.0	0.8	0.0	0.0	28.0
8.8	23.8	1.8	0.0	3.4
0.0	0.0	17.5	0.0	0.6
4.0	0.0	73.0	3.5	0.1
0.0	1.2	62.0	28.0	0.0
8.0	0.0	24.7	3.4	0.0
0.0	2.1	2.2	0.6	29.7 (día anterior)
21.8	41.3	181.2	35.5	63.5

Del análisis de los datos de humedad presentados se desprendió lo siguiente:

1. No hubo una diferencia apreciable entre los porcentajes de humedad de cada perfil, correspondientes a las diferentes fechas de determinación, a pesar de las diferencias entre las precipitaciones.
2. Los perfiles I y II, presentaron uniformidad en los porcentajes de humedad a lo largo de todo el perfil considerado (0-75 cm). El perfil III tuvo mayor contenido de humedad en su capa superior (0-30 cm). El perfil IV presentó desuniformidad

Cuadro 6. Humedad, espacio poroso total y espacio poroso no-capilar libres de agua, en los sitios I, II, III y IV, en cinco fechas de muestreo.

Sitio y Prof.	17/XII/1964			29/XII/1964			9/I/1965			22/II/1965			26/II/1965		
	H vol%	E.P.T. libre	E.P.no C. libre	H vol%	E.P.T. libre	E.P.no C. libre	H vol%	E.P.T. libre	E.P.no C. libre	H vol%	E.P.T. libre	E.P.no C. libre	H vol%	E.P.T. libre	E.P.no C. libre
I	15	48.3	13.7	17.3	45.7	16.0	42.3	19.7	16.0	47.2	14.8	14.8	52.9	11.6	14.8
	30	42.7	22.3	21.8	43.2	21.8	48.8	16.2	16.2	49.1	15.9	15.9	48.9	17.5	15.9
	45	43.8	17.2	13.0	44.0	17.0	13.0	42.1	18.9	49.7	11.3	11.3	52.9	11.9	11.3
	60	42.5	19.5	12.0	42.2	19.8	12.0	40.6	21.4	12.0	10.8	10.8	54.3	11.5	10.8
	75	47.2	10.5	3.0	47.5	10.5	3.0	46.8	11.2	3.0	45.0	12.5	3.0	49.7	14.4
		44.9	16.6	44.5	17.3	13.1	44.1	17.5	12.0	48.5	13.1	11.1	51.7	13.4	11.1
II	15	51.9	8.1	12.3	47.7	10.0	45.6	14.4	10.0	51.6	8.4	8.4	53.9	4.6	8.4
	30	49.8	12.2	17.4	45.6	17.0	39.8	22.2	17.0	45.0	17.0	17.0	48.5	8.9	17.0
	45	48.9	8.1	11.4	45.6	11.4	52.5	1.5	1.5	43.9	13.1	13.1	46.3	10.6	12.0
	60	47.8	12.2	12.0	47.4	12.6	42.4	17.6	12.0	46.4	13.6	13.6	48.8	14.0	12.0
	75	50.2	8.8	3.0	49.9	9.1	3.0	40.1	18.9	3.0	45.2	13.8	3.0	47.9	14.8
		49.7	9.9	47.2	12.6	10.7	44.0	14.9	8.7	46.4	12.9	10.5	49.1	10.6	10.5
II	15	63.6	0	13.0	48.0	13.0	60.6	1.0	1.0	44.9	16.1	16.1	47.1	13.9	16.1
	30	53.0	2.0	0	55.3	0	54.0	1.0	1.0	39.1	15.9	15.9	42.75	12.25	7.0
	45	44.8	13.2	9.0	48.2	9.8	37.8	20.2	9.0	40.7	17.3	17.3	39.8	18.2	9.0
	60	46.4	8.6	0	45.8	9.2	39.8	15.2	0	40.7	14.3	14.3	38.8	16.2	0
	75	44.0	12.0	0	45.9	10.1	0	39.0	17.0	0	41.7	14.3	0	17.1	0
		50.3	7.2	8.4	48.6	4.4	46.1	10.9	2.2	41.6	15.6	6.4	41.5	15.5	6.4
IV	15	78.4	0	0	80.9	0	x72.9	0	0	63.9	2.1	2.1	63.1	2.9	2.1
	30	88.1	0	0	88.7	0	78.1	0	0	67.8	0.2	0.2	67.2	0	0.2
	45	80.0	0	0	72.9	0	90.4	0	0	74.9	0	0	85.0	0	0
	60	73.2	0	0	64.9	2.1	agua	0	0	82.7	0	0	80.7	0	0
	75	53.4	9.6	9.6	54.4	8.6	agua	0	0	64.7	0	0	57.9	3.3	0
		74.6	1.9	72.3	2.1	2.1	70.8	0	0	70.8	0.4	0.4	70.8	1.2	0.4

Nota: H = humedad; E.P.T. = espacio poroso total; E.P. no C. = espacio poroso no-capilar.

midad a este respecto, ya que las capas comprendidas entre los 15 y 60 cm tuvieron mayores contenidos de humedad que la capa superficial y ésta mayor que la capa profunda de 60-75 cm. Esto parece estar de acuerdo con el mayor contenido de material fino que se determinó en las capas de 15 a 60 cm, lo que determinaría su mayor capacidad de retención de agua.

3. Todos los valores de humedad de los perfiles I, II y III, se acercaron bastante a los valores correspondientes de porcentaje de humedad en el punto de pegajosidad (sticky point). En el perfil IV fueron superiores a los correspondientes al punto de pegajosidad. Esto significa que salvo que existan períodos muy largos de sequía, estos suelos permanecerían humedecidos casi hasta su máxima capacidad de retención de agua y más aún en los lugares bajos.

Para la evaluación del estado real de aireación de estos suelos en base a la cantidad de espacio poroso no-capilar libre de agua se tienen en cuenta los valores standards sugeridos por Hardy\*.

De bien aireado a medianamente aireado ..... 10-20% en vol.

De medianamente aireado a pobremente aireado .... 5-10% en vol.

De pobremente aireado a no aireado ..... 0-5% en vol.

En razón de que el sistema radical del café en estos suelos está concentrado en su mayor parte en los primeros 30 cm de profundidad, parece interesante presentar los valores de espacio poroso no-capilar en los distintos sitios y épocas de determinación, para esa profundidad.

---

\* Comunicación personal.

Cuadro 7. Cantidad de espacio poroso no-capilar libre de agua en la capa de 0 a 30 cm, en los sitios I, II, III y IV, en diferentes oportunidades.

		17/XII/64	29/XII/64	9/1/65	22/II/65	26/II/65
Sitio	I	18.0	18.9	16.1	15.3	14.5
"	II	10.1	13.5	13.5	12.7	6.7
"	III	1.0	6.5	1.0	11.5	10.5
"	IV	0.0	0.0	0.0	1.1	1.4

Interpretación de los datos de espacio poroso no-capilar de acuerdo a los "standards" citados:

a) Considerando todo el perfil (0-75 cm). Ver Cuadro 6

Sitio I : Medianamente aireado

Sitio II : Casi medianamente aireado

Sitio III : Pobrementemente aireado

Sitio IV : Practicamente no aireado

b) Considerando la capa húmica superior (0-30 cm )

Sitio I : Bien aireada

Sitio II : Medianamente aireada

Sitio III : Medianamente aireada con tendencia a pobrementemente  
aireada

Sitio IV : Practicamente no aireada

D. Composición del aire del suelo

Comparación por sitio y por profundidad

Estas comparaciones se hicieron en base a los datos presentados en los siguientes cuadros:

Cuadro 8: En él se enumeran los contenidos de oxígeno (% v/v) en los sitios correspondientes a los perfiles I, II, III y IV, obtenidos con el analizador Beckman. Representan valores típicos de tiempo seco, húmedo e intermedio.

Cuadro 9: Contiene los promedios de contenidos de oxígeno calculados a partir del cuadro anterior, y para cuyo cálculo no se tuvieron en cuenta los casos en que fue imposible el muestreo de aire por presencia de agua en las profundidades estudiadas. Por esa razón no todos estos valores representan promedios de igual número de "items" y su única finalidad es la de facilitar las comparaciones por sitio y por profundidad.

Cuadro 10: Representan datos obtenidos con el analizador de gases Haldane, en dos oportunidades muy húmedas, en los sitios correspondientes a los perfiles I y II.



Cuadro 8. Contenido de oxígeno en la atmósfera del suelo de los sitios I, II, III y IV. Analizador Beckman Modelo D2. (% v/v)

Localización	Tiempo seco						Tiempo húmedo						Intermedio		
	29/XII/1964		14-15/II/1965		11/I/1965		20/I/1965		20/I/1965		12/III/1965		12/III/1965		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	15	20.7	19.9	20.6	20.2	20.2	19.9	18.8	19.9	18.7	17.4	18.4	20.7	20.1	20.2
	30	20.3	19.9	20.6	20.2	20.3	19.5	18.7	20.3	19.2	15.7	19.3	20.15	19.8	20.6
	45	20.1	19.2	19.2	19.9	19.7	19.3	16.5	16.5	18.3	agua	11.5	19.5	19.2	19.0
	60	19.4	17.7	18.6	18.1	18.4	19.2	15.9	15.9	18.85	agua	agua	19.2	17.5	17.4
	75	15.6	16.1	18.7	16.9	19.0	13.4	13.4	16.5	16.5	agua	10.8	agua	15.5	15.5
II	15	20.5	20.4	20.7	20.0	20.5	20.2	19.0	20.65	19.9	19.3	20.0	20.4	20.0	20.4
	30	20.1	19.2	20.5	19.5	20.4	19.9	17.7	20.4	18.3	agua	20.2	20.15	19.2	20.3
	45	20.1	19.3	20.6	19.7	20.4	19.3	18.0	20.4	agua	agua	20.2	20.0	19.8	20.4
	60	19.3	19.2	19.2	19.2	20.1	18.0	17.8	19.9	agua	agua	18.7	17.9	18.4	20.0
	75	19.2	14.0	19.5	16.7	19.5	17.7	19.9	20.15	agua	agua	18.2	19.0	15.4	19.7
III	15	20.5	20.3	20.8	20.15	20.5	17.4	19.4	20.5	16.8	19.3		19.1	20.3	20.9
	30	19.8	20.2	19.2	20.4	20.15	16.4	19.8	19.4	13.7	18.7		18.3	20.6	20.0
	45	19.5	19.3	18.7	19.6	19.0	17.4	18.3	18.7	15.4	17.4		17.8	18.8	18.8
	60	19.3	19.15	18.0	18.7	17.4	19.8	17.7	17.7	agua	agua		21.1	18.4	16.3
	75	16.1	19.0	16.1	18.9	18.2	14.3	17.7	18.3	12.4	agua		16.9	18.3	18.6
IV	15	20.3	20.5	20.4	20.4	20.8	18.3	18.3	19.9	agua	11.4	agua	agua	19.3	20.4
	30	20.0	20.2	20.5	19.9	20.4	agua	agua	19.4	agua	agua	agua	agua	18.5	19.8
	45	19.8	19.2	20.4	19.3	20.4	agua	agua	19.9	agua	agua	agua	agua	agua	20.1
	60	19.8	agua	19.6	19.9	19.8	agua	agua	18.3	agua	agua	agua	agua	agua	19.1
	75	--	--	agua	--	19.6	--	--	agua	--	--	agua	--	--	agua

Cuadro 9. Promedios de contenidos de O<sub>2</sub> en los perfiles I, II, III y IV. Comparación de condición seca y húmeda (% v/v).

P	S I T I O S							
	I		II		III		IV	
	S	H	S	H	S	H	S	H
15	20.35	18.84	20.45	19.84	20.5	18.7	20.6	-
30	20.21	18.78	20.0	19.3	19.84	17.6	20.2	-
45	19.6	18.5	20.0	19.5	19.3	17.4	19.8	-
60	18.6	17.46	19.4	18.6	18.84	18.4	19.84	-
75	17.07	13.5	18.04	19.0	17.6	15.7	-	-
T	19.17	17.41	19.58	19.25	19.18	17.5	20.11	-

P : profundidad en cm

S : condición seca

H : condición húmeda

T : promedio general

En el sitio IV, después de las lluvias (condición húmeda), fue generalmente imposible hacer determinaciones de O<sub>2</sub> por presencia de agua en el perfil.

Cuadro 10. Porcentajes de oxígeno y de dióxido de carbono en la atmósfera del suelo. (Haldane) (% v/v).

Fecha		28-II-1965 a 2-III-1965			9-10-III-1965		
Localización		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Suma	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Suma
I <sub>1</sub>	15	20.1	0.6	20.7	19.9	0.5	20.4
	30	18.9	1.4	20.3	19.5	1.1	20.6
	45	18.6	1.6	20.2	19.2	1.0	20.2
	60	18.6	1.8	20.4	agua	agua	-
	75	13.6	5.2	18.8	14.0	4.8	18.8
I <sub>2</sub>	15	19.5	1.15	20.65	18.8	1.5	20.3
	30	19.7	1.15	20.85	19.1	1.5	20.6
	45	19.1	2.1	21.2	17.5	2.2	19.7
	60	17.5	3.2	20.7	17.7	2.8	20.5
	75	15.4	4.2	19.6	16.1	3.7	19.8
I <sub>3</sub>	15	20.0	1.2	21.2	18.3	1.8	20.1
	30	20.0	1.1	21.1	19.4	1.2	20.6
	45	18.1	2.8	20.9	11.2	2.5	13.7
	60	16.9	3.5	20.4	15.9	2.2	18.1
	75	17.5	2.8	20.3	agua	agua	agua
IV <sub>1</sub>	15	agua	agua	-	agua	agua	-
	30	"	"	-	"	"	-
	45	"	"	-	"	"	-
	60	"	"	-	"	"	-
IV <sub>2</sub>	15	19.0	2.7	21.7	agua	agua	-
	30	19.15	2.5	21.65	"	"	-
	45	18.4	2.7	21.1	"	"	-
	60	agua	agua	-	"	"	-
IV <sub>3</sub>	15	20.4	1.5	21.9	19.2	0.9	20.1
	30	19.9	1.6	21.5	18.5	2.1	20.6
	45	20.2	1.45	21.65	agua	agua	-
	60	19.3	2.5	21.8	"	"	-
	75	agua	agua	-	"	"	-

Nota: Estas determinaciones fueron realizadas en tiempo muy húmedo como se deduce de los datos de precipitación presentados.

Precipitación

25-II-65 - 29.7 mm	7-III-65 - 81.5 mm
26-II-65 - 51.0 "	8-III-65 - 30.8 "
27-II-65 - 3.8 "	9-III-65 - 1.0 "
28-II-65 - 0.0 "	10-III-65 - 0.0 "

Interpretación de los datos de composición del aire del suelo:

a) Contenidos de O<sub>2</sub>

En tiempo seco:

El contenido de O<sub>2</sub> disminuyó gradualmente con la profundidad en todos los sitios muestreados, hasta los 75 cm, con excepción de las localizaciones I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub>, III<sub>1</sub> y III<sub>3</sub> a los 75 cm en los que se observa un descenso bastante brusco. Se hace notar que estos sitios que mostraron descenso pronunciado de O<sub>2</sub>, están casi todos ellos muy cercanos a árboles de sombra del café (Erythrina) por lo que se supone que la respiración de las raíces profundas de estos árboles sería la causa de la disminución brusca.

El sitio IV es el que muestra una disminución menos pronunciada con la profundidad y sus valores son iguales y aún superiores a la de los sitios más altos.

Los porcentajes de O<sub>2</sub> son muy similares en los cuatro sitios con siderados. Se observó que existieron casos en el sitio IV (bajo) en que aún en estas condiciones secas, no se pudo muestrear aire por pre sencia de agua.

En tiempo húmedo:

Si se consultan los datos de precipitación en los días precedentes a las determinaciones realizadas en esta época (ver Apéndice), se observará que las condiciones de precipitación eran extremas, sobre todo en el caso del 20/I/65 en que se analizó el aire del suelo casi inmediatamente después de varios días de lluvias torrenciales.

En esta época se hizo evidente la gran diferencia, en cuanto a

aireación, existente entre los sitios I, II y III y el sitio IV. En este último sitio prácticamente no se pudieron hacer determinaciones en esta época por estar muy saturado de agua.

Las diferencias entre los contenidos de  $O_2$  determinados el 11/I/65 (a los cuatro días después de lluvias muy fuertes y continuas, y al día siguiente de una lluvia ligera) y los determinados el 20/I/65 (casi inmediatamente después de varios días de lluvias torrenciales) muestran la alta capacidad de recuperación de la composición normal del aire de estos suelos, a excepción del sitio IV.

#### Tiempo intermedio:

Comparando los valores obtenidos en esta fecha con los obtenidos en tiempo seco se notaron diferencias mínimas entre los correspondientes a los lugares I, II y III. En el lugar IV no se pudo muestrear aire a ninguna profundidad en la serie 1, a partir de los 45 cm en la serie 2 y a los 75 cm en la serie 3.

Considerando el régimen de precipitación del lugar se podría inferir que esta situación es la más común durante el año y que las conclusiones generales deberían sacarse en base a ésta.

#### b) Contenidos de $CO_2$ :

Para la consideración de este tópico se basó en el Cuadro 10 en el que los datos presentados fueron obtenidos a los 1, 2 y 3 días después de fuertes lluvias. En general se observa un incremento de las cantidades de  $CO_2$  con la profundidad, coincidiendo esto con lo reportado por la literatura sobre el tema (6, 13, 27, 28, 36) y que se explicaría por la menor actividad biológica existente a medida que se profundiza.

El valor mínimo observado fue de 0.5% en la capa superficial del lugar 1, y el máximo de 5.2% a los 75 cm de profundidad en el mismo sitio I. Si se tiene en cuenta que la suma de los porcentajes de  $O_2$  y de  $CO_2$  se mantuvo alrededor de los 20.5% y que a un descenso pronunciado de  $O_2$  no corresponde un incremento en igual magnitud de  $CO_2$ , se podría hacer una estimación aproximada de los porcentajes de  $CO_2$  a partir de las determinaciones del porcentaje de  $O_2$  realizadas con el analizador Beckman. En base a ellos se puede afirmar que difícilmente el porcentaje de  $CO_2$  sobrepase en mucho al valor máximo determinado de 5.2%, considerando hasta la profundidad de 75 cm.

#### E. Difusión de dióxido de carbono

##### Comparación por sitio y por profundidad

Con el objeto de hacer esta comparación se presentan datos en el Cuadro 11 que comprenden siete series de determinaciones de difusión de  $CO_2$  realizadas en diferentes oportunidades en los sitios I, II, III y IV, en la superficie y a las profundidades de 15, 45 y 90 cm.

Haciendo la comparación por sitio se nota que:

- en lo que se refiere a magnitud de los valores, los correspondientes al perfil I son los mayores;
- en lo que se refiere a uniformidad de los valores en todo el perfil, los obtenidos en los sitios I y II son los que muestran un descenso más gradual y menos pronunciado a medida que se profundiza. En el sitio IV existe una diferencia muy marcada entre los datos de difusión a los 15 cm y los datos a los 45 cm de profundidad. En este sitio no se hicieron

Cuadro 11. Difusión de dióxido de carbono (en  $l/m^2/día$  de  $CO_2$ )\*

S I T I O S	I			II			III			IV					
	S	15	45	90	15	45	90	S	15	45	90	S	15	45	
Profundidad															
7-8/XI/64	3.2	4.1	2.6	2.3	3.2	0.6	1.2	1.0	3.9	2.8	2.6	1.3	3.1	4.0	0.5
25/XI/64	3.5	2.6	2.0	2.4	1.5	1.1	1.0	0.9	1.8	2.2	1.2	-	1.9	-	1.0
17/XII/64	3.1	3.5	2.5	2.5	2.3	1.6	1.0	1.1	1.7	2.5	1.4	1.1	2.7	3.5	0.8
29/XII/64	3.4	3.5	2.5	3.2	2.2	2.0	1.3	1.6	1.7	2.7	1.3	0.8	2.3	3.0	0.8
11/I/65	-	3.6	2.2	1.0	2.2	1.4	1.0	1.3	2.3	2.9	0.9	0.5	-	3.7	agua
18/I/65	1.1	-	agua	agua	1.0	0.7	agua	agua	1.7	1.0	agua	agua	0.3	0.06	agua
1/II/65	4.3	4.5	3.0	1.6	3.0	1.4	1.2	1.7	3.6	3.0	1.3	1.2	4.0	3.5	1.0

\* Todos los datos fueron corregidos para expresarlos en base a TPN (0°; 760 mm Hg).

determinaciones a los 90 cm porque el pozo de esa profundidad permaneció constantemente inundado;

- comparando los datos obtenidos en las distintas oportunidades, los del sitio I se caracterizan por su menor variabilidad en el tiempo. Los valores mínimos se obtuvieron el 18/I/1965 durante días de precipitación y los máximos se obtuvieron el 1/II/1965 después de 12 días de escasa a ninguna lluvia.
- Se observa que en los cuatro sitios la difusión medida en la superficie y a los 15 cm es casi igual en magnitud siendo a veces mayores a los 15 cm.

Con el fin de interpretar las magnitudes de difusión de  $\text{CO}_2$  superficial encontrados en este trabajo se tiene en cuenta que Romell (citado por Baver (1) ) calculó que para que exista una completa renovación del aire del suelo en la capa superior de 20 cm, debe haber una difusión de  $\text{CO}_2$  igual a 7 litros por metro cuadrado y por día a  $15^\circ\text{C}$  y 760 mm Hg y que consideró a este valor como "aireación normal" y que por otra parte Rode especifica que la superficie del suelo libera comúnmente entre 3 y  $10 \text{ l/m}^2/\text{día}$  de  $\text{CO}_2$  (equivalente a 6-20  $\text{gr/m}^2/\text{día}$  de  $\text{CO}_2$ ). Se observó entonces, que los valores de difusión superficial presentados en el Cuadro 11 estuvieron por debajo de los que se considera normal.

#### F. Condiciones de drenaje

Con el objeto de establecer las condiciones de drenaje que prevalecen en los distintos sitios del área de trabajo y muy especialmente del sitio IV (parte más baja de la depresión) se realizaron

las siguientes mediciones:

- a) Mediciones de las velocidades de infiltración superficial y a los 15, 45 y 90 cm de profundidad, de los sitios I, II, III y IV. Dichas mediciones tuvieron por objeto determinar el grado de infiltración y la variación de ésta a lo largo del perfil. Los datos obtenidos, expresados en pulgadas/hectárea y ubicados en categorías de acuerdo con las establecidas por el "Soil Survey Manual" (34), se presentan en el Cuadro 12.
- b) Mediciones de la altura de la napa freática a lo largo de la pendiente comprendida entre los pozos III y IV. Con los datos de altura de napa freática de los tubos 1 (parte más baja de la pendiente), 5 y 8 (parte intermedia de la pendiente) correspondientes a los meses de setiembre, octubre y noviembre de 1964 y enero de 1965, y los datos de precipitaciones diarias de esos meses, se calcularon promedios móviles tomando intervalos de 5 (cinco) días. Esos promedios móviles se presentan graficados y tienen el objeto de mostrar el tipo de relación existente entre las fluctuaciones de la altura de la napa freática y las lluvias caídas.

Se calcularon también los promedios mensuales de altura de la napa freática en los tubos considerados (ver Cuadro 13).

### 1. Infiltración

Estas determinaciones fueron realizadas entre el 14/VIII/1964 y el 26/VIII/1964.

Los resultados revelaron lo siguiente:

- las velocidades de infiltración superficial son altas en todos

los sitios especialmente en I y IV.

Cuadro 12. Infiltración en los sitios I, II, III y IV.

Sitio	Profundidad	Velocidad de infiltración	Categoría
I	Superficie	11.9 ins/h	Muy rápido
	15 cm	2.9 "	Moderado
	45 cm	2.5 "	Moderad. rápida
	90 cm	0.5 "	Moderad. lenta
II	Superficie	4.0 "	Moderad. rápida
	15 cm	1.4 "	Moderada
	45 cm	1.7 "	Moderada
	90 cm	1.7 "	Moderada
III	Superficie	7.5 "	Rápida
	15 cm	3.1 "	Moderad. rápida
	45 cm	1.6 "	Moderada
	90 cm	0.1 "	Lenta
IV	Superficie	10.3 "	Muy rápida
IV	15 cm	10.8 "	Muy rápida
	45 cm	0.7 "	Moderad. lenta

- Existió una diferencia marcada entre los valores de infiltración superficial y los de mayor profundidad.
- El sitio II presentó mucha uniformidad en todo el perfil estudiado con respecto a infiltración.
- La velocidad de infiltración a los 15 cm en el sitio IV es notablemente superior a la que presentan los sitios restantes a la misma profundidad.

## 2. Napa freática

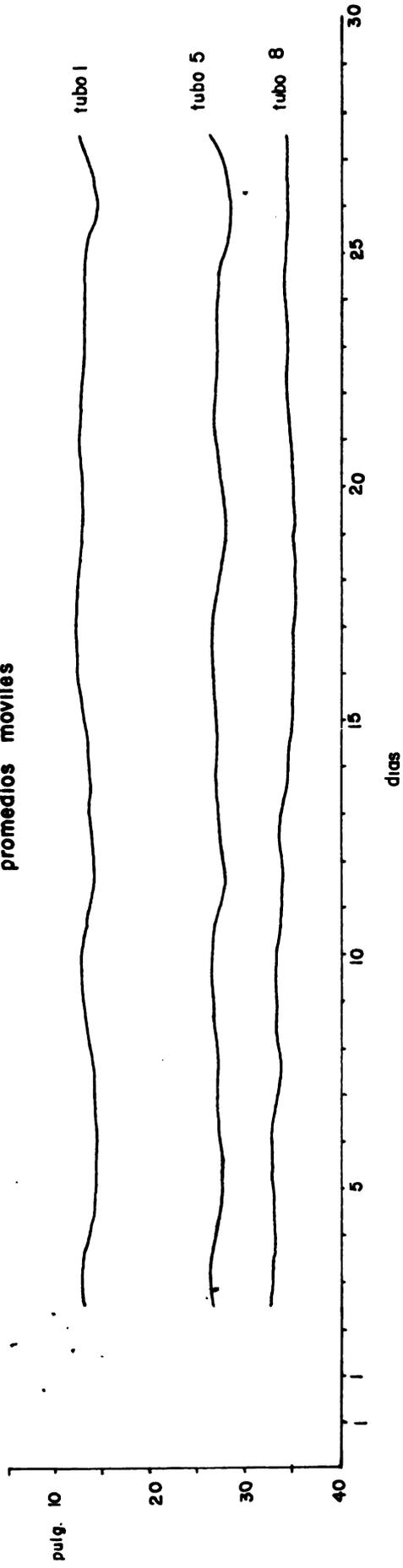
Los gráficos (Fig. 6) trazados con los promedios móviles de altura del nivel de agua en los tubos y de precipitación diarias, muestran que:

a) Existió una estrecha relación entre las fluctuaciones de la napa freática y las lluvias caídas. Esa correspondencia se hizo más evidente cuando existieron diferencias notables en las precipitaciones diarias (ver Figura del mes de enero/1965). También se observa que la amplitud de las fluctuaciones decreció con la altura de la pendiente, así, el tubo 1 que corresponde a la parte más baja fue el que presentó mayor amplitud en las fluctuaciones de su nivel de agua.

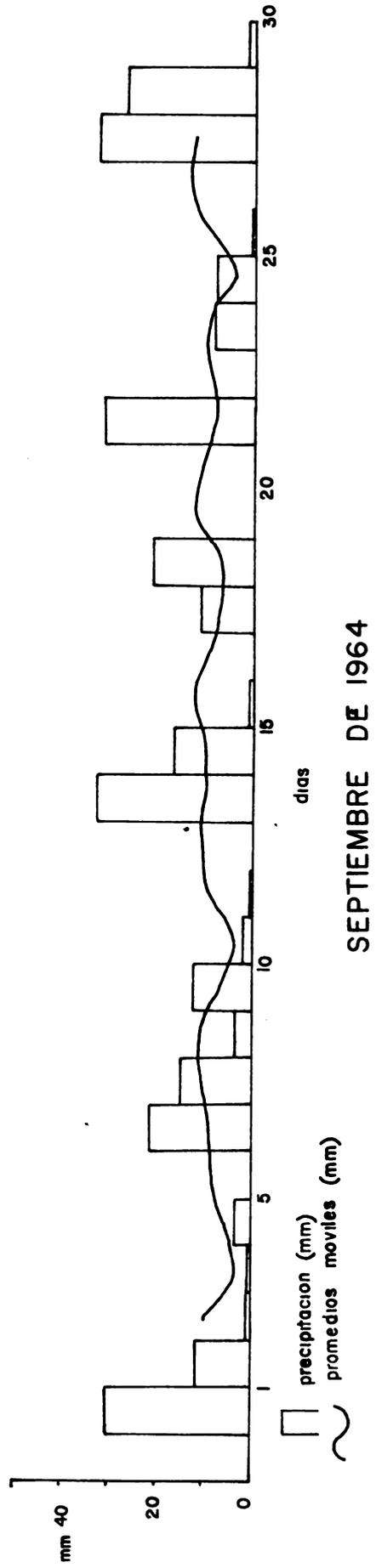
b) En la gráfica correspondiente al mes de enero/65 (muy lluvioso, 357.8 mm) se observó que los picos que indican máxima precipitación y máxima altura de nivel de agua para el tubo 1, se presentan con 2.5-3 días de diferencia. Esta diferencia tuvo la tendencia de disminuir con la altura de la pendiente (máxima en el tubo 1; mínima en el tubo 8), con la disminución de las precipitaciones y con la distribución más pareja de éstas, y constituye un buen índice para apreciar el drenaje interno de un suelo: a mayor diferencia, mayor

FIGURA 6a

NIVEL DE AGUA EN TUBOS  
promedios móviles



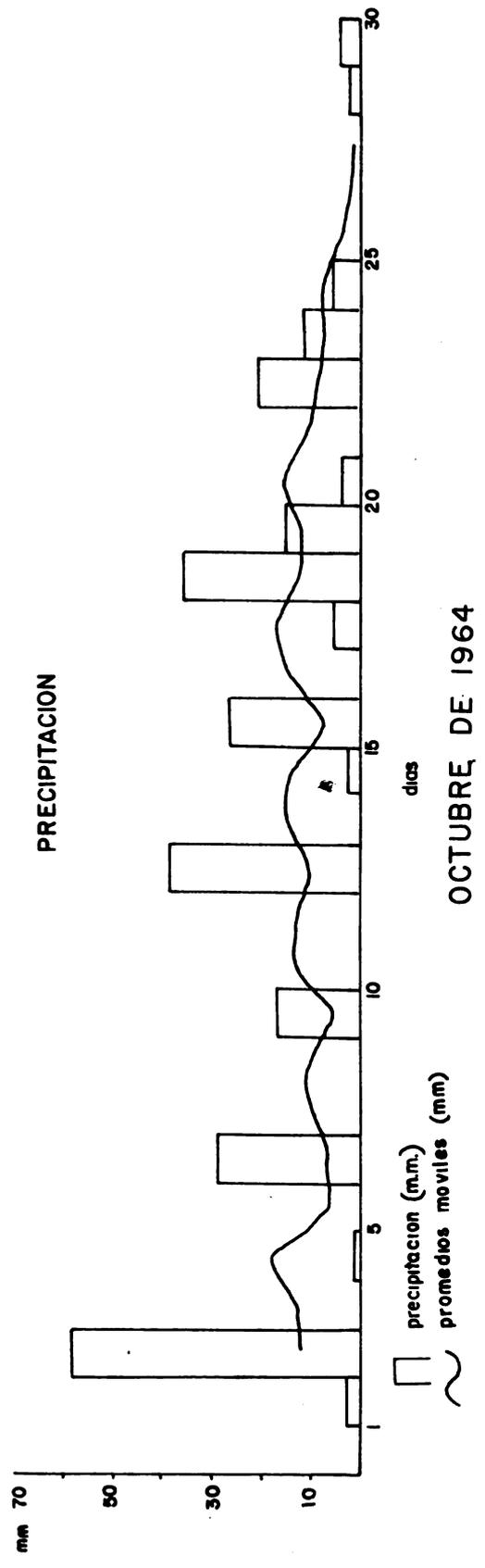
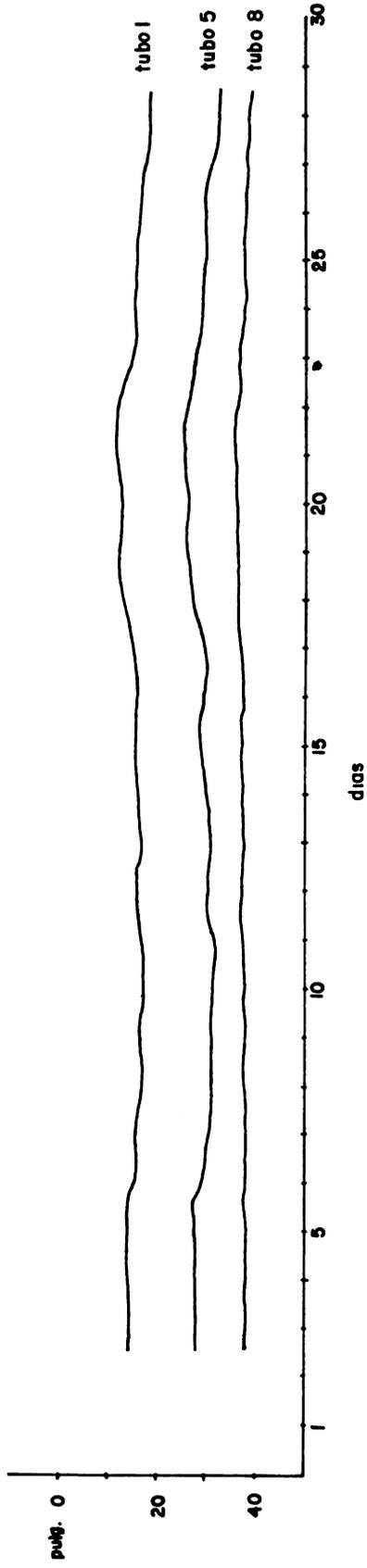
PRECIPITACION



SEPTIEMBRE DE 1964

FIGURA 6b

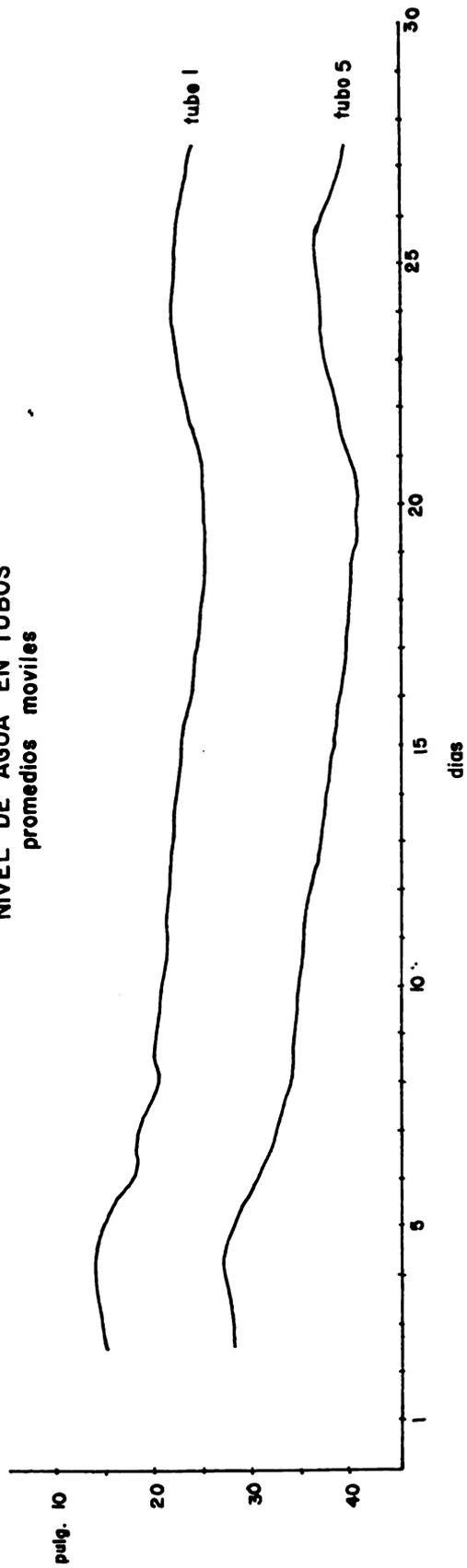
NIVEL DE AGUA EN TUBOS  
promedios móviles



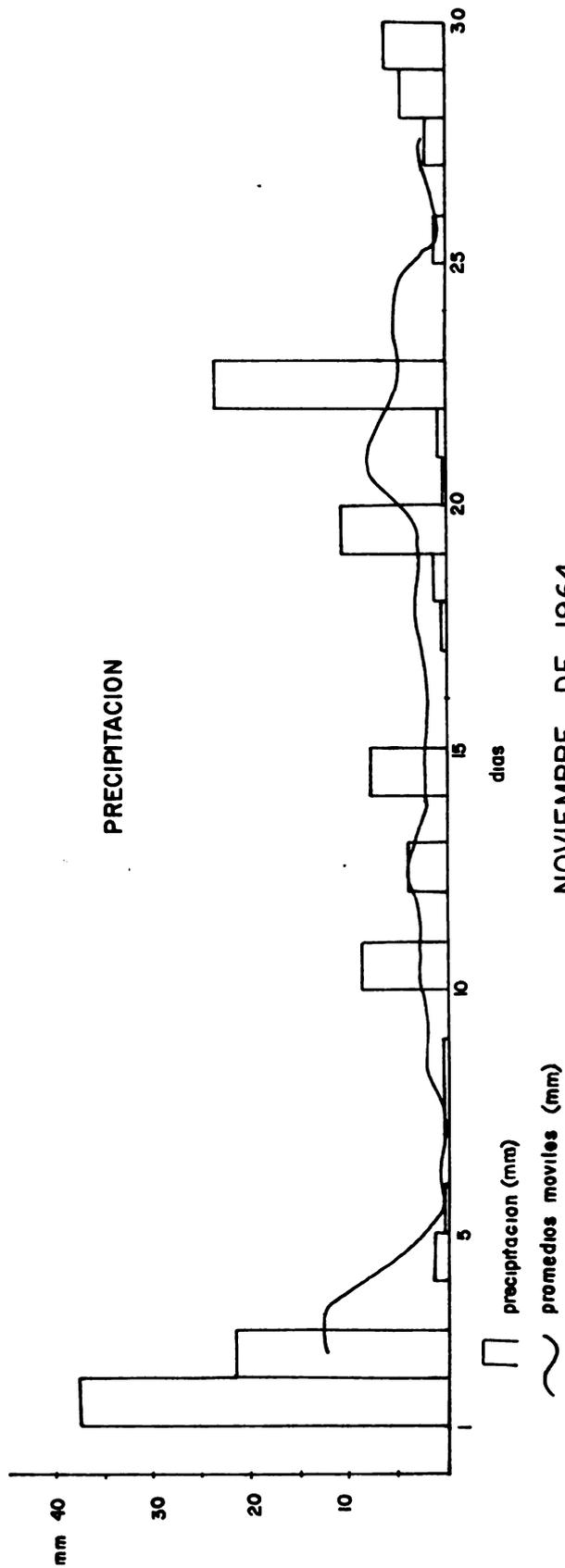
OCTUBRE DE 1964

FIGURA 6c

NIVEL DE AGUA EN TUBOS  
promedios móviles



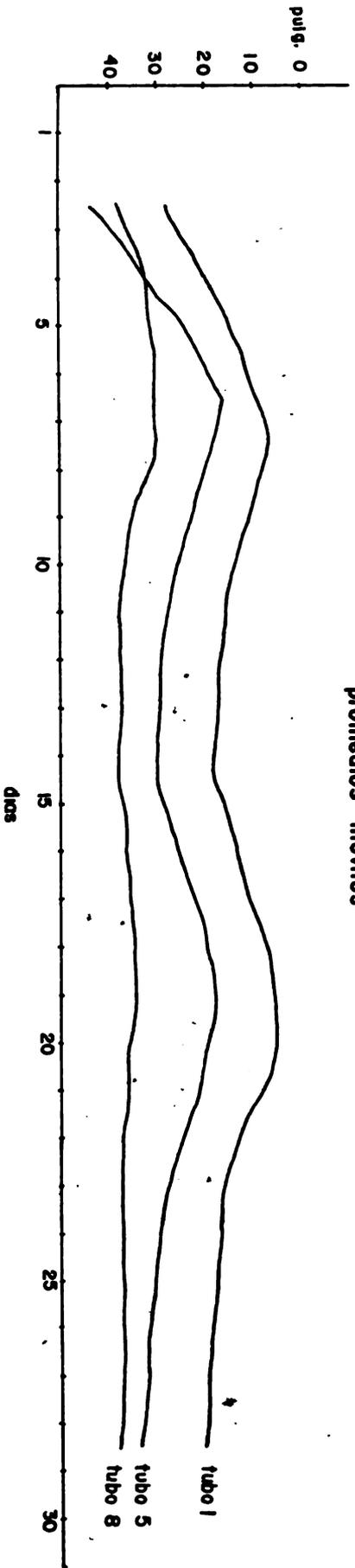
PRECIPITACION



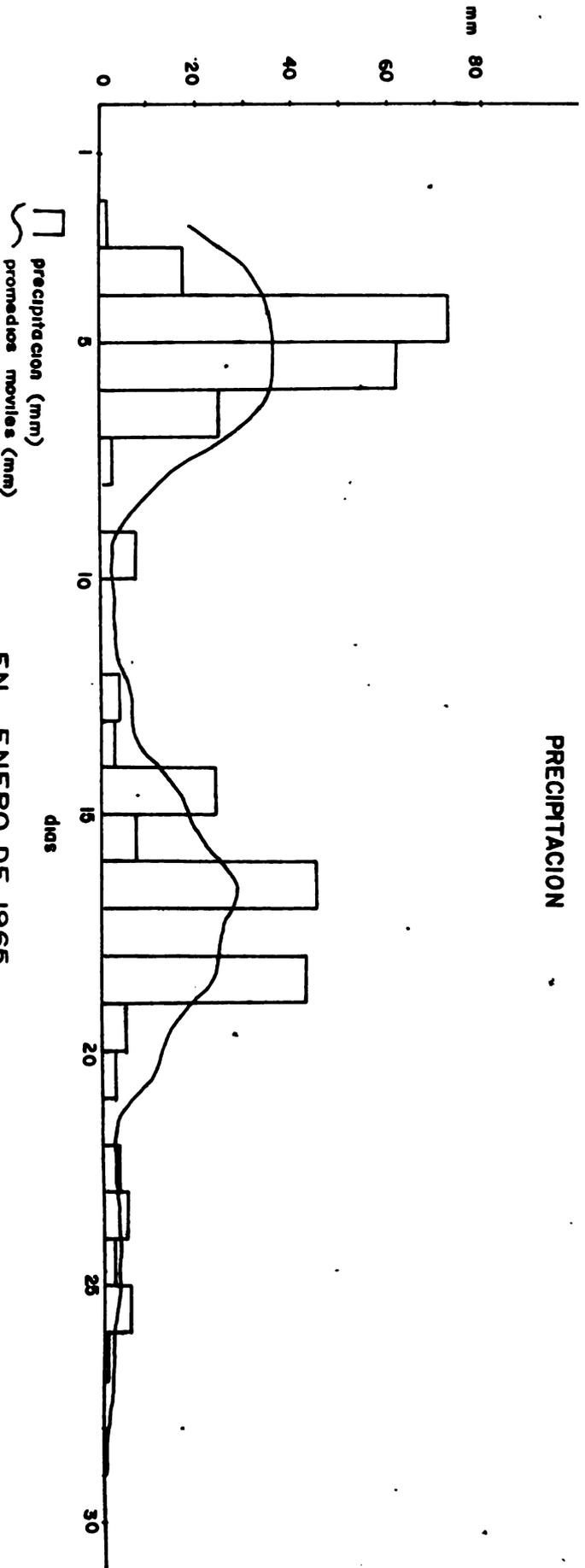
NOVIEMBRE DE 1964

FIGURA 6d

NIVEL DE AGUA EN TUBOS  
promedios moviles



PRECIPITACION



EN ENERO DE 1965

impedimento para el libre drenaje interno. En este caso específico se puede afirmar que el lugar del tubo 1 es el que presenta mayor impedimento para el drenaje interno y que este impedimento disminuye a medida que se sube en la pendiente.

En el Cuadro 13 se presentan los promedios de nivel de agua en los diferentes tubos durante los meses considerados, con el fin de apreciar su variación con relación al exceso de agua de cada mes (Precipitación-Evaporación).

Cuadro 13. Promedios mensuales de profundidad de napa freática (en los tubos 1 al 9, en pulgadas).

Mes	Exceso de agua (P-Ev) (mm)	Promedio de napa freática en los tubos:								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Set/64	169.7	17.7	20.5	21.1	26.6	31.7	39.3	40.4	38.7	
Oct/64	181.6	15.7	18.3	18.9	24.6	29.5	36.9	40.0	37.8	25.5
Nov/64	43	20.6	23.6	24.8	31.0	35.7	40.0*	42.3	37.7	29.7
En/65	275.1	13.5	16.0	15.7	21.8	26.3	34.2	39.7*	35.1	23.6

\* Estos valores son en realidad de mayor magnitud pues en su cálculo se usó el valor de 44 (profundidad máxima del tubo) cuando el nivel del agua se encontraba por debajo de 44 pulgadas y por consiguiente no se podía detectar en los tubos.

En el tubo 1 el promedio mínimo de nivel de agua en los meses considerados fue de 39.75 cm (13.5 pulgadas) y el máximo de 51.5 cm (20.6 pulgadas), habiéndose registrado los valores extremos de 0 cm y de 70 cm (28 pulgadas).

En el tubo 7, con un desnivel positivo de 61 cm con respecto al

tubo 1, el promedio máximo fue de 99.25 cm (39.7 ins.) y el mínimo de 105.75 cm (42.3 pulg.), y los valores extremos registrados fueron más de 110 cm y 62.5 cm.

Estos datos junto con los de humedad del suelo de los sitios III y IV conducirían a afirmar que el sitio III tiene un drenaje interno imperfecto y que el sitio IV presenta un drenaje interno impedido. La causa de esto es el alto nivel de la napa freática lo que se explicaría por la topografía en depresión y por la formación de una capa impermeable, que en el lugar IV comenzaría a los 25 cm, constituido de material fino (principalmente caolinita) que se acumularía allí por tres posibles razones: 1) formación in situ; 2) acumulación por arrastre vertical de las capas superiores y 3) acumulación por arrastre lateral de las partes más altas junto con el agua que fluye hacia ese lugar a profundidades diversas especialmente 30 cm, como se observó al hacer la descripción de perfiles.

#### G. Temperatura del suelo

Los datos presentados corresponden a dos series de observaciones realizadas en los sitios de influencia del Perfil I (lugar alto) y del Perfil IV (lugar bajo).

La primera serie consta de datos de temperatura del aire y del suelo (15 y 30 cm de profundidad), obtenidos con termómetros comunes de laboratorio, correspondientes a las horas 7:30-8:00 AM y 1:00-1:30 PM. En el Cuadro 14a se presentan los promedios de estas observaciones. La temperatura del suelo en esta oportunidad se midió en cuatro termómetros en cada sitio.

Cuadro 14a. Temperatura del aire y del suelo.

Fecha	Lugar	(I)		(IV)		Promedio Total
		Lugar alto		Lugar bajo		
		7:30 8:00	1:00 1:30	7:30 8:00	1:00 1:30	
1-8/XII/1964	Aire	20°7	26°	21°3	26°3	27°1
(4 term.; 6 lect.)	Suelo (15 cm)	21°7	21°9	22°5	22°8	22°2
9-30/XII/1964	Aire	19°7	26°2	19°5	25°5	22°7
(4 term.; 13 lect.)	Suelo (30 cm)	21°5	21°8	22°5	22°55	22°1

La segunda serie consta de datos obtenidos en la misma forma pero con la diferencia de que las temperaturas del aire, del suelo a 15 cm y del suelo a 30 cm se observaron al mismo tiempo. Para cada profundidad de suelo se usaron dos termómetros.

Cuadro 14b. Temperatura de suelo y de aire en dos sitios del área de la colección de café del IICA.

Fecha	Lugar	(I)		(IV)		Promedio Total
		Lugar alto		Lugar bajo		
		7:40	1:15	7:40	1:15	
12-26/I/1965	Aire	19°2	24°2	19°4	23°9	21°7
15 cm: 2 term.; 9 lect.	15 cm	19°7	20°4	21°4	21°9	20°9
30 cm: 2 term.; 13 lect.	30 cm	20°9	21°2	21°9	22°1	20°5

Se observó lo siguiente:

- Existió una diferencia no muy grande entre los promedios de temperatura del aire, del suelo a 15 cm y del suelo a 30 cm y que tal como se indica en la literatura ese promedio disminuya con la profundidad del suelo.
- Existió una amplitud apreciable entre el promedio de temperatura del aire a las 7:40 AM (19°2) y el promedio a la 1:15 PM (24°2). Esa amplitud es pequeña en el suelo a 15 cm y más pequeña aún a 30 cm de profundidad.
- Existió una diferencia constante entre las temperaturas del suelo alto, bien drenado y las del suelo bajo, mal drenado. Esto podría explicarse por el hecho de que el segundo está mucho menos cubierto de vegetación que el primero lo que determinaría una mayor incidencia de los rayos solares.

Los diagramas de temperatura, obtenidos mediante un termógrafo en el sitio (I), para el aire a 30 cm sobre el nivel del suelo, y el suelo a 2.5 cm y a 20 cm de profundidad muestra en forma clara y numéricamente precisa, las diferencias en temperatura y en amplitudes de temperatura entre el aire y distintas profundidades del suelo.

Bajo condiciones controladas de invernadero, Franco encontró que las temperaturas más favorables para el crecimiento y actividad de las raíces del café eran de 20° durante la noche y de 26° para el día, siendo los límites máximo y mínimo de 38° y de 13° respectivamente. Estas temperaturas se refieren a las del suelo.

Como se observa, los datos de temperatura obtenidos en el suelo del cafetal del IICA se acercan mucho al óptimo para el crecimiento y actividad del café.

## DISCUSION

### Espacio radical

Se considera como espacio radical a la parte del perfil del suelo que no presenta obstáculos mecánicos a la penetración de las raíces y que permite su normal desarrollo y funcionamiento. Las propiedades físicas de textura, estructura y profundidad determinan la extensión del espacio radical (32).

En este trabajo se observó que los perfiles se caracterizaron por su alto contenido de material fino; no obstante lo cual el alto grado de formación y estabilidad de los agregados determinó que las densidades, en todo el perfil explorado de 90 cm, se mantuvieron muy por debajo de los valores que impiden la penetración de las raíces.

También se observó que los valores de porosidad total fueron muy altos y la explicación de tales resultados sería la cantidad considerable de materia orgánica, el elevado contenido de material fino y probablemente el porcentaje elevado de óxidos hidratados de hierro que contienen estos suelos.

El alto contenido de compuestos de hierro se infiere del hecho de que el material original del suelo es principalmente la roca ígnea andesita, uno de cuyos componentes mayores es el mineral ferromagnésiano augita. Este mineral, bajo condiciones de alta precipitación y temperatura meteoriza dando óxidos hidratados de hierro. Por otra parte, la remoción de compuestos de hierro practicada en la fracción arena de cada una de las muestras, dio un promedio de pérdida de 20.2%. Se supone que la fracción arcillo-limosa, más meteorizada, contendrá iguales o mayores cantidades de éstos compuestos.

Los óxidos de hierro junto con la materia orgánica serían los agentes responsables del buen estado de agregación y de la gran estabilidad de la estructura que se observaron en estos suelos.

#### Materia orgánica y pH

Los valores de pH determinados en estos suelos permitieron clasificarlos como muy ácidos, lo cual podría tomarse como un indicio de que su estado de lixiviación es muy intenso y que su grado de saturación de bases es muy bajo. Aunque muchos cultivos tropicales no se desarrollan bien en condiciones de suelos muy ácidos, el café se encuentra entre los que soportan bien esta situación.

Los datos sobre materia orgánica fueron medianamente altos y comparables con los que comúnmente se registran en suelos de cafetales.

#### Cantidad de aire en el suelo

Considerando al espacio poroso no-capilar total como índice de la capacidad potencial de aireación del suelo y al espacio poroso no-capilar libre de agua en el momento de las determinaciones de humedad, como índice de la capacidad real de aireación, se pudo observar que en los casos de los perfiles I, II y III, ambas cantidades guardaban relación pudiendo calificarse al perfil I (considerado en su totalidad) como "medianamente aireado", al perfil II como "casi medianamente aireado" y al perfil III como "pobrementemente aireado". No ocurrió lo mismo en el caso del perfil IV, el cual potencialmente tenía una buena capacidad de aireación pero las determinaciones de espacio poroso no-capilar libre de agua dieron valores muy bajos que permitieron calificarlo como "mal aireado".

Al estudiar el efecto de las precipitaciones sobre la humedad del suelo y en consecuencia sobre el espacio poroso libre de agua no se encontró una relación estrecha. Los contenidos de agua en el suelo no fueron muy diferentes a pesar de las grandes diferencias en pre ci pi ta ci ó n. Se piensa que el tiempo transcurrido entre la lluvia y la determinación de humedad fue siempre suficiente para eliminar el exceso de agua en los sitios I, II y III. Una vez eliminado ese exce so de agua se notó que la humedad retenida por el suelo se mantenía sin apreciable variación por largo tiempo. También en este caso la explicación radicaría en el alto contenido de material coloidal (orgá ni co e inorgánico) del suelo que le permitiría retener mucha agua y en la estabilidad de la estructura que le capacitaría para eliminar con rapidez el exceso de agua.

Los valores de humedad de los sitios I, II y III se mantuvieron bastante cerca de los correspondientes al punto de pegajosidad (stiky point) y los del sitio IV fueron superiores a este valor. Esto significa que, salvo que existan periodos muy largos de sequía, estos suelos permanecerían humedecidos casi hasta su máxima capacidad de re te ni ci ó n de agua y, más aún, en los lugares bajos.

#### Composición del aire del suelo

Al hacer la comparación de los contenidos de  $O_2$  determinados en las muestras de aire extraídas del suelo con algunos valores críticos en relación al comportamiento vegetal y con los contenidos reportados por varios autores (6, 27, 28, 36) para distintos suelos se arribó a la conclusión de que los valores obtenidos en los cuatro sitios estudiados podían considerarse adecuados para el normal funcionamiento de

las raíces de las plantas en general.

Con respecto a los contenidos de  $\text{CO}_2$ , que variaron entre un mínimo de 0.5% en la capa húmica superficial y un máximo de 5.2% en la profundidad de 75 cm, se puede decir que si bien son bajos con respecto a las concentraciones de  $\text{CO}_2$  encontradas como tóxicas en trabajos de aireación realizados con soluciones nutritivas (14, 16, 24) no se está en condiciones de afirmar en este caso específico, si las cantidades encontradas tienen o no un efecto negativo sobre el crecimiento de las raíces del café.

Sin embargo, al hacer las consideraciones sobre la composición del aire del suelo y el funcionamiento de las plantas, conviene tener presente que las muestras analizadas corresponden al aire contenido en los poros grandes del suelo que probablemente no son representativos del aire que ocupan los poros pequeños ni del aire que está en contacto con las raíces donde se supone que la concentración de oxígeno es menor y la de dióxido de carbono es mayor.

Con referencia a las limitaciones existentes para la interpretación de los datos obtenidos a partir de muestras de aire extraídas del suelo, conviene citar el trabajo realizado por Boicourt y Allen (3) quienes compararon el crecimiento lineal de plantas de rosas en suelo aireado artificialmente y en suelo no aireado. Estos investigadores encontraron que el crecimiento en el suelo aireado artificialmente fue dos veces superior al crecimiento observado en el suelo no tratado. Las diferencias en la composición del aire de ambos suelos fue sin embargo escasa, siendo el contenido de  $\text{O}_2$  de 20.3% en el aireado y de 18.8% en el no aireado. Por otra parte, trabajos con soluciones de cultivo habían mostrado que las rosas no respondían a

aumentos de  $O_2$  después del 10%. Esto hacía esperar ninguna respuesta a la aireación forzada en el suelo estudiado, contrariamente a lo que ocurrió.

Un hecho observado en el presente trabajo, digno de destacarse, es el de que la composición del aire del suelo del sitio IV (mal drenaje) presenta en general valores más altos y uniformes en el perfil hasta los 60 cm de profundidad, que el sitio I (buen drenaje), a pesar de que los datos sobre espacio poroso libre de agua indican que éste es muy escaso en el sitio IV. Esto estaría en desacuerdo con la idea de que cuanto menor es el espacio poroso libre de agua mayor es la desviación de la composición del aire que lo ocupa, con respecto a la composición normal, por restringirse el proceso de la difusión.

Los resultados obtenidos indicaron que, en este caso particular, una buena composición de las muestras de aire extraídas del suelo no implicó necesariamente la presencia de un alto porcentaje de espacio poroso ocupado por aire o de una buena condición de drenaje.

Los resultados de composición del aire del suelo obtenidos en el presente trabajo fueron comparados con los encontrados por Vine y Thompson en Trinidad (36) estudiando cuatro suelos diferentes de cacao, porque estos últimos corresponden también a un clima tropical y fueron obtenidos usando el mismo método aquí empleado. De la comparación surgieron estas principales diferencias: (ver Apéndice).

- 1) Los datos del presente trabajo muestran menos diferencias entre época húmeda y época seca que los de Trinidad.
- 2) Los datos del presente trabajo, pertenecientes a un suelo arcillo-limoso, difieren de los correspondientes al suelo

arcillo-limoso de Trinidad y son más comparables con los del suelo arenoso de ese lugar.

- 3) En promedio, los datos del presente trabajo, se asemejan más a los correspondientes a la época seca de los suelos arenosos finos de Trinidad.

La primer diferencia se explicaría en parte por la diferencia en regímenes de precipitación de los dos lugares considerados. En Trinidad la diferencia entre época húmeda y seca es más marcada que en Turrialba.

En cuanto al diferente comportamiento de los suelos de igual textura se podría suponer que el suelo de Turrialba tendría la tendencia a comportarse como un suelo arenoso en razón de la presencia de agregados muy estables.

Esta tendencia a comportarse como suelo arenoso explicaría en parte los altos valores de  $O_2$  encontrados siempre en los cuatro sitios estudiados y la relativa escasa diferencia entre época húmeda y seca, pues un suelo de agregados grandes y estables permitiría una rápida percolación del agua que infiltra, tal como se observó, desocupando rápidamente los poros.

Otra probable explicación de la rápida recuperación de la composición normal del aire del suelo, que se observó después de las lluvias, podría ser el efecto de ventilación que el agua de lluvia produciría al descender a los estratos inferiores, ya que por una parte permitiría la entrada de aire atmosférico al desplazar al aire presente en el suelo y por otra parte, disolvería a su paso cierta cantidad de  $CO_2$  en razón de la alta solubilidad de éste en agua. Si esto fuera cierto, cabría suponer que este efecto de ventilación del agua de

lluvia es la causa principal, en este sitio en que llueve la mayor parte de los días, de la buena composición del aire del suelo que se determinó, a pesar del porcentaje no elevado de espacio poroso que ocupa.

#### Difusión de dióxido de carbono

Los valores de difusión de  $\text{CO}_2$ , superficiales y de diferentes profundidades, resultaron bajos en comparación con el valor que Romell calculó que debía ser para asegurar una aireación normal. Esto induciría a pensar que existió restricción para la difusión normal de los gases del suelo, en los cuatro sitios estudiados.

Al comparar estos datos de difusión con los obtenidos en Trinidad se notó que en promedio, eran inferiores a aquellos y que la variación con el tiempo era mucho menor en los de Turrialba. Esta escasa variación con el tiempo estaría relacionada con la poca variación en espacio poroso libre de agua que presentaron los suelos.

#### Condiciones de drenaje

Las determinaciones de humedad y las mediciones de altura de napa freática mostraron la existencia de diferencias entre los cuatro sitios considerados, en cuanto a drenaje interno. Esas diferencias se reflejaron en las cantidades de aire en el suelo, que fueron mayores en los sitios I y II, menores en el sitio III y completamente bajos en el sitio IV de drenaje impedido.

De acuerdo con los datos obtenidos se intentó evaluar las características estudiadas en la forma en que aparece en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Evaluación de las características estudiadas.

Característica estudiada	Evaluación de la característica estudiada			
	Lugar I	Lugar II	Lugar III	Lugar IV
Espacio Radical	adecuado	adecuado	adecuado	adecuado
Cantidad de aire en el suelo	medianamente adecuada	medianamente adecuada	escasamente adecuada	prácticamente nula
Composición del aire del suelo	satisfactorio	satisfactorio	satisfactorio	satisfactorio
Infiltración superficial	muy rápida	moderadamente rápida	rápida	muy rápida
Profundidad de la napa freática	más de 2 metros	más de 2 metros	alrededor de 1 m.	entre 0.30 y 0.50 m.
Drenaje interno	libre	libre	restringido	impedido
Difusión de CO <sub>2</sub>	baja	baja	baja	baja

Debe destacarse que este trabajo forma parte de un estudio ecológico del café, encarado por el Departamento de Suelos. Se ha mencionado que en los sitios III (pendiente) y IV (parte más baja de la pendiente) se habían transplantedo unas 200 plantitas de café de un año, de la variedad Borbón rojo, con la finalidad de observar su comportamiento bajo las condiciones de drenaje y de aireación allí imperantes. Su crecimiento se mediría por el alargamiento de ramas laterales seleccionadas para tal objeto, y se espera que alguien realice esas mediciones en un futuro inmediato. También se considera de

interés realizar estudios, bajo condiciones controladas de laboratorio, sobre el efecto de diferentes niveles de composición del aire del medio radical sobre el crecimiento y desarrollo del café.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se estudiaron las condiciones de drenaje y de aireación en un área seleccionada que comprende parte de la colección de café del IICA, donde la topografía es variable.

Para ello se dividió el área de trabajo (unos 2.000 m<sup>2</sup>) en cuatro sitios en base a su topografía y se realizaron mediciones y determinaciones conducentes a conocer las siguientes características del suelo y del sitio.

### 1. Características físicas y químicas

- a) Descripción del perfil del suelo hasta la profundidad de 90 cm.
- b) Determinación de contenido de arena, punto de pegajosidad (sticky point), índice de textura, gravedad específica real y aparente, valores de pH y contenido de materia orgánica en muestras de suelo extraídas de cada capa sucesiva de 15 cm del perfil.

Los datos obtenidos sirvieron para evaluar el espacio radical de cada sitio y para calcular el espacio poroso total, capilar y no-capilar. A partir de los datos se dibujaron diagramas de perfiles del suelo.

### 2. Profundidad de napa freática

Las mediciones del nivel de la napa freática fueron realizados casi diariamente en tubos metálicos de 5 cm de diámetro y 1,20 m de largo, insertados en el suelo en numerosos puntos del área,

principalmente a lo largo de una pendiente.

Los datos obtenidos se correlacionaron con los correspondientes a la precipitación diaria registrados por la estación meteorológica del IICA.

### 3. Infiltración y percolación

Se determinó la infiltración superficial y a las profundidades de 15, 45 y 90 cm empleando el método de los anillos infiltrométricos. Las determinaciones se realizaron en cada uno de los cuatro sitios.

### 4. Difusión de dióxido de carbono

Se empleó el método simple de absorción en solución standard de hidróxido de sodio, contenida en recipientes de plástico y expuesta bajo una palangana invertida, por un período fijo.

Las determinaciones se realizaron en la superficie y a las profundidades de 15, 45 y 90 cm, en cada sitio.

Los datos obtenidos, expresados en  $l/m^2/día$  de  $CO_2$ , fueron comparados con los obtenidos en otras investigaciones.

### 5. Composición del aire del suelo

Se colectaron muestras de aire de las profundidades de 15, 30, 45, 60 y 75 cm (tres repeticiones en cada sitio) mediante el método sugerido por Boynton y Reuther que fueron analizadas con respecto a  $O_2$  y  $CO_2$ . Fueron utilizados para el análisis un aparato Haldane portátil y un analizador de oxígeno Beckman D2.

Los datos obtenidos fueron comparados con los obtenidos en otras investigaciones sobre composición de aire en el suelo.

## 6. Contenido de aire en el suelo

El volumen de aire contenido en los espacios porosos fue estimado en varias ocasiones, determinando el contenido de humedad a profundidades sucesivas en los lugares y profundidades correspondientes al muestreo de aire del suelo. El volumen de aire fue derivado por subtracción del volumen de agua del volumen de espacio poroso.

Del análisis de los datos obtenidos se derivan las siguientes conclusiones principales:

- a) No existen diferencias significativas entre los cuatro sitios estudiados, considerados en todo el perfil (90 cm) excepto el sitio IV que sólo se considera hasta los 30 cm, en lo que se refiere a las siguientes características: 1) Espacio radical; 2) velocidades de infiltración y percolación; 3) composición del aire y 4) difusión de dióxido de carbono superficial, siendo todos ellos considerados como satisfactorios y adecuados para el normal crecimiento de las plantas de café.
- b) Los cuatro sitios difieren en cuanto a drenaje que es libre en los sitios I y II, restringido o imperfecto en el sitio III, e impedido en el sitio IV.
- c) Las diferencias en cuanto a drenaje se reflejan en las cantidades de aire contenido en los espacios porosos que fueron medianamente adecuadas en los sitios I y II; escasamente adecuada en el sitio III e inadecuado en el sitio IV donde a profundidades inferiores a 30 cm el suelo se mantiene siempre saturado de agua.

- d) Las fluctuaciones de la napa freática correlacionaron estrechamente con las precipitaciones diarias.
- e) Se supone que el impedimento al drenaje libre se debe a
  - 1) la topografía en depresión y 2) la presencia de una capa densa por acumulación de material fino que en el sitio IV comenzaría a los 60 cm de profundidad.
- f) En este caso particular, una buena composición del aire que ocupan los poros del suelo, no es por si mismo un índice de buenas condiciones de drenaje, ni de una cantidad adecuada aire.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

Studies on drainage and aeration were made within a selected area comprizing part of the IICA coffee collection area having variable topography.

The area (about 0.5 acre) was divided into four sites according to topography. Sites I and II occupy the highest elevation and consist of fairly flat land. Site III occurs in the middle of a slope and site IV is situated at the lowest part of the land.

The following characteristics of the soil and the site were determined.

### 1. Physical and chemical characteristics

- a) Description of the soil profile, 0-36 ins. deep.
- b) Determination of sand content, sticky point, index of texture, apparent and true specific gravity, organic matter content and pH value of the soil sampled in successive 6 ins. layers.

The data obtained were used to evaluate root room and also total, capillary and non-capillary pore space. Profile diagrams were constructed from the data.

### 2. Water table level

Measurements of the depth of the water table were made almost daily in metal tubes, 2 ins. diameter and 48 ins. long, inserted into the soil at numerous points within the area, including points along a line running up the slope.

The data obtained were correlated with daily rainfalls obtained

at the IAIAS meteorological station.

### 3. Infiltration and percolation

The rate of infiltration was measured at each site by the infiltrometer ring method. In addition to surface infiltration, infiltration and percolation rates at 6, 18 and 36 ins. depth were also determined.

### 4. Carbon-dioxide diffusion rate

This was measured by a simple absorption method employing standard sodium hydroxide solution contained in a plastic dish exposed under an inverted basin pressed into the soil for a fixed period. Measurements were made at depths 6, 18 and 36 ins. by excavating the soil at each site as required.

The rate obtained, expressed as volume of carbon-dioxide which diffused out of the soil surface per square meter per day, were compared with those obtained by other investigators.

### 5. Soil air composition

Samples of soil air were collected at depths 6, 12, 18, 24, and 30 ins. (three repetitions at each site) by the well method of Boynton and Reuther and analysed for oxygen and carbon dioxide contents by means of a portable Haldane apparatus and a Beckman D2 oxygen analyzer.

The data obtained were compared with those obtained in other soil air investigations.

## 6. Soil air content

The volume of soil air contained in the pore spaces was estimated on several occasions by determining soil moisture content at successive depths at points within each site corresponding with the depths of soil air sampling. The volume of soil air on each sampling occasion was derived by subtracting the volume of water from that of the pore space.

From the analysis of the data, the following main conclusions were drawn:

- a) The soil down to the full depth of the profile (36 ins.) at each of the four sites except N<sup>o</sup> IV, the lowest site where the depth of the soil was only 12 ins., showed no significance difference in the following characteristics. 1) root room, 2) infiltration and percolation rates, 3) soil air composition and 4) surface diffusion of carbon dioxide which were all satisfactory and would be regarded as adequate for the normal growth of the coffee plant.
- b) The four sites differed in regard to degree of drainage which was free at sites I and II, restricted or imperfect at site III and impeded at site IV.
- c) The differences in degree of drainage were reflected in soil air content which was adequate at sites I and II, not quite adequate at site III and inadequate at site IV below the top 12 ins. layer where the soil was permanently waterlogged.
- d) The fluctuations of the water table were closely correlated with the daily rainfall.

- e) It is supposed that drainage impedance is a consequence of:
- 1) the depressed topography and
  - 2) the presence of a dense layer of accumulation of fine material (clay particles).

LITERATURA CITADA

1. BAVER, L. D. Soil physics. 3rd. ed. New York, Wiley, 1956. 489 p.
2. BERMUDEZ, S. Distribución del sistema radicular del Coffea arabica var. typica en cinco tipos de suelos. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1954. 60 p.
3. BOINCOURT, A. W. y ALLEN, R. C. Effect of aeration on growth of hybrid tea roses. Proceedings American Society Horticultural Science 39:423-425. 1941.
4. BOYNTON, D. Concerning the pore space in two orchard soils of different productivity. Proceedings American Society Horticultural Science 35:315-319. 1939.
5. \_\_\_\_\_ Soil atmosphere and the production of new rootlets by apple tree root systems. Proceedings American Society Horticultural Science 37:19-26. 1940.
6. \_\_\_\_\_ Soils in relation to fruit growing in New York. XV. Seasonal and soils influences on oxygen and carbon-dioxide levels of New York orchard soils. Cornell University Agricultural Experiment Station Bulletin 763. 1941. 37 p.
7. \_\_\_\_\_ y COMPTON, O. C. Effect of oxygen pressure in aerated nutrient solution on production of new roots and on growth of roots and tops by fruit trees. Proceedings American Society Horticultural Science 42:53-58. 1943.
8. \_\_\_\_\_, DE VILLIERS, J. I. y REUTHER, W. Are there different critical oxygen concentration for the different phases of root activity? Science 88:569-570. 1938.
9. \_\_\_\_\_ y REUTHER, W. A way of sampling soils gases in dense subsoil and some of its advantages and limitations. Proceedings American Society Horticultural Science 3:37-42. 1938.
10. \_\_\_\_\_ y REUTHER, W. Seasonal variations of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in three different orchards soils during 1938 and its possible significances. Proceedings American Society Horticultural Science 36:1-6. 1939.
11. \_\_\_\_\_ y SAVAGE, E. F. Soils in relation to fruit growing in New York. XIII. Seasonal fluctuations of soil moisture in some important New York orchards soils types. Cornell University Agricultural Experiment Station Bulletin 706. 1938. 36 p.

12. BUDOWSKI, G. y SCHREUDER, G. F. The climate at Turrialba. Turrialba, Costa Rica, IAIAS, Department of Forestry. Commun. 68. 1963. 36 p.
13. COMPTON, O. C. y BOYNTON, D. Normal seasonal changes of oxygen and carbon-dioxide percentages in gas from the larger pores of three orchard subsoils. Soil Science 57:107-117. 1944.
14. CHANG, H. T. y LOOMIS, W. E. Effect of carbon dioxide on absorption of water and nutrients by the roots. Plant Physiology 20:221-232. 1945.
15. DONDOLI, C. y TORRES M., J. A. Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. San José, C. R., Ministerio de Agricultura e Industrias, 1954. pp. 172-173.
16. ERICKSON, L. C. Growth of tomato roots as influenced by oxygen in the nutrient solution. American Journal Botany 33: 551-561. 1946.
17. FRANCO, C. M. Influence of temperature on growth of coffee plant (with special emphasis on root temperature). I.B.E.C. Research Institute Bulletin 16. 1958. 21 p.
18. GEHRKE V., M. R. Distribution of absorbing roots of coffee (Coffea arabica L.) and rubber (Hevea brasiliensis Muell. Arg.) in mixed plantings in two ecological zones of Costa Rica. Thesis Mag. Agr. Turrialba, C. R., IICA, 1962. 105 p.
19. HARDY, F. Studies on aeration and water supply in some cacao soils of Trinidad. Tropical Agriculture 20(5):89-103. 1943.
20. \_\_\_\_\_ Manual de cacao. Ed. en español. Turrialba, C. R., IICA, 1961. p. 56.
21. \_\_\_\_\_ y BAZAN, R. Studies in Costa Rican soils. Fertility status of some IAIAS soils. II. Turrialba, C. R., IICA, 1963. 28 p.
22. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods. Plant Physiology 11:471-507. 1936.
23. JOHNSON, A. I. A field method for measurements of infiltration. Washington, D. C., U.S. Government Printing Office, 1963. 27 p. (Geological Survey Water-Supply Paper 1544-F)
24. LEONARD, O. A. y PINCKARD, J. A. Effect of various oxygen and carbon dioxide concentrations on cotton root development. Plant Physiology 21:18-36. 1946.

25. LUNDERGARDH, H. Carbon-dioxide evolution of soil and crop growth. *Soil Science* 23:417-454. 1929.
26. MC FARLENE, L. Some factors affecting growth and yield of coffee. Thesis Mag. Agr. Turrialba, C. R., IICA, 1949. 47 p.
27. MAKAROV, B. N. Air content and aeration of humus-pest soil. *Soviet Soil Science* 21:194-199. 1962.
28. NOVIKOV, M. A. Composition of soil air in peat-bog soils. *Soviet Soil Science* 2:171-179. 1962.
29. RODE, A. A. Soil science. Trad. de ed. rusa. Washington, D. C., National Science Foundation, 1962. p. 156.
- \ 30. ROGERS, W. S. Fruit plant roots and their environment. In International Horticultural Congress, 13th., London, Sept. 8-15, 1953. Report. London, The Royal Horticultural Society, 1953. v. I, pp. 288-292.
- \ 31. SAIZ DEL RIO, J. F., FERNANDEZ, C. E. y BELLAVITA, O. Distribution of absorbing capacity of coffee roots determined by radioactive tracers. *American Society Horticultural Science Proceedings* 77:240-244. 1961.
32. STEPHENSON, R. y SCHUSTER, C. E. Physical properties of soils that affect plant nutrition. *Soil Science* 44:23-36. 1960.
33. SUAREZ DE CASTRO, F. Relationships between rainfall and coffee production. *Coffee (Costa Rica)* 2(7):85-90. 1960.
34. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Handbook 18. 1951. p. 168.
35. VEIHMEYER, F. J. y HENDRICKSON, A. H. Soil density and root penetration. *Soil Science* 65(6):487-495. 1948.
36. VINE, H., THOMPSON, H. A. y HARDY, F. Studies on aeration of cacao soils in Trinidad. I-III. *Tropical Agriculture* 19(9):175-180; (11):215-223. 1942. 20(1):13-24. 1943.

A P E N D I C E

Cuadro 16. Constantes físicas de cuatro diferentes sitios de cacao en Trinidad.

Profundidad	Contenido de arena fina y gruesa (%)	Indice de Textura	Espacio poroso total (vol.%)	Espacio poroso capilar (vol.%)	Espacio poroso no-capilar (vol.%)
<b>Sitio (A): College</b>					
0-6 pulg.	47	19	47	28	19
6-12 "	47	21	46	30	16
12-18 "	49	16	40	24	16
18-24 "	54	14	39	23	16
27-36 "	61	11	38	18	20
<b>Sitio (B): River Estate</b>					
0-6 pulg.	53	19	49	26	23
6-12 "	51	20	44	31	13
12-18 "	49	20	36	30	6
18-24 "	54	15	36	26	10
24-36 "	51	17	41	28	13
<b>Sitio (C): La Reconnaissance Estate</b>					
0-6 pulg.	55	26	47	36	11
6-12 "	51	18	40	30	10
12-18 "	54	20	40	32	8
18-24 "	59	12	38	20	18
24-36 "	62	8	40	18	22
<b>Sitio (D): Las Hermanas Estate</b>					
0-6 pulg.	0	50	57	50	7
6-12 "	0	44	55	50	5
12-18 "	0	42	49	49	0
18-24 "	0	38	46	46	0
24-36 "	0	36	44	44	0

Fuente: (36)

Cuadro 17. Materia orgánica y acidez de cuatro sitios de cacao, en Trinidad.

Sitio	Profundidad (pulg.)	Materia orgánica %	Nitrógeno total %	Relación C/N %	pH
(A) COLLEGE	0-3	4.9	0.26	11.0	4.8
	3-6	2.3	0.17	7.7	4.5
	6-12	1.5	0.12	7.1	4.3
	12-18	1.1	0.10	6.3	4.6
	18-24	0.6	0.09	3.9	4.7
(B) RIVER ESTATE	0-3	2.3	0.15	8.7	6.6
	3-6	1.5	0.11	7.8	6.9
	6-12	1.1	0.10	6.3	7.0
	12-18	0.9	0.09	5.7	6.4
	18-24	0.8	0.07	4.2	6.0
(C) L.R.C. ESTATE	0-3	2.1	0.14	8.8	6.0
	3-6	3.0	0.20	8.5	6.3
	6-12	1.2	0.10	6.9	6.4
	12-18	0.6	0.07	4.9	5.8
	18-24	0.5	0.06	4.9	5.6
(D) LAS HERMANAS ESTATE	0-3	5.4	0.33	9.4	6.7
	3-6	2.5	0.22	6.5	5.8
	6-12	1.2	0.14	4.9	4.9
	12-18	0.9	0.12	4.3	4.9
	18-24	0.8	0.11	4.2	4.8

Nota: Extraído de (36)

Cuadro 18. Composición del aire del suelo en cuatro diferentes sitios de cacao, en Trinidad (según Vine y Thompson).

Profundidad de muestreo (pulgadas)	Sitio (A)		Sitio (B)		Sitio (C)		Sitio (D)	
	Arenoso		Arenoso fino		Arenoso fino		Arcillo-limoso	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
	(vol. %)		(vol. %)		(vol. %)		(vol. %)	
(I) Concentración de oxígeno								
4	18.0	20.6	13.7	20.6	14.9	(20.8)	(15.9)	(18.7)
10	16.4	20.0	12.7	19.8	13.4	(20.0)	(17.8)	(19.4)
18	15.3	19.5	12.2	18.8	11.1	(19.4)	(12.2)	(18.8)
36	14.3	18.5	7.6	17.3	6.0	(17.0)	?	(8.6)
48	14.1	17.7	7.8	16.4	5.7	(15.8)	(3.1)	-
(II) Concentración de CO <sub>2</sub>								
4	2.8	0.5	6.5	0.5	4.2	(0.2)	(3.6)	0.8
10	3.0	1.1	8.8	1.6	5.5	(0.8)	(3.0)	1.7
18	4.2	1.7	9.7	3.2	6.3	(1.4)	(5.3)	3.8
36	4.3	3.4	10.0	5.2	7.3	(3.4)	(14.3)	7.6
48	5.5	3.7	9.6	6.8	3.6	(4.2)	(17.5)	-
Contenidos promedios de humedad aprovechable durante los períodos de muestreo								
0-6	13.0	2.5	16.8	11.3	21.1	(9.5)	(6.6)	(2.7)
6-12	12.4	4.6	15.6	11.2	26.7	(10.1)	(6.1)	(2.0)

Nota: Los números entre paréntesis son promedios de 2-4 determinaciones; los otros son promedios de 6-9 determinaciones. Las muestras fueron extraídas siguiendo el método de Boynton y Reuther.

Cuadro 19. Difusión superficial de CO<sub>2</sub> en cuatro tipos de suelos de cacao en Trinidad.

Tipo de suelo	Difusión de CO <sub>2</sub> (l/m <sup>2</sup> /día)	Espacio poroso ocupado por	
		agua	aire
(A) COLLEGE	4.66	22	25
	1.90	19	17
(B) RIVER ESTATE	8.1	41	8
	5.7	41	8
	7.15	35	14
	7.93	32	17
	15.10	31	18
	20.40	29	20
	3.8	29	20
(C) LA RECONNAISSANCE ESTATE	6.98	42	5
	7.25	36	11
	6.94	35	12
	14.80	29	18
	21.70	27	20
(D) LAS HERMANAS ESTATE	5.72	35	22
	5.30	29	28

Fuente: (36)

Cuadro 20. Mediciones de altura de napa freática durante los meses de setiembre, octubre y noviembre de 1964 y enero de 1965.

Mes	Día	Ppción	T u b o s								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Se- tiem bre	1	30.7	21.0	23	23	29.5	34.0	36.5	36	38	
	2	10.8	16.0	19	19	25	30.0	38	37	37	
	3	1.0	17.0	20	20.5	25.5	31.0	38	38	39	
	4	0.8	18.5	21	20.5	26.5	32.0	41	42	38	
	5	3.7	-								
	6	0	20.5	22	22.7	27	33.0	41.7	42	39	
	7	21.5	20.67	22	23	28.5	34.0	41	42.5	37	
	8	15.0	18.5	21	22	27	32.0	40	39	38	
	9	3.7	17.0	20	20	26	30.5	39	38	38.5	
	10	12.5	18.0	20.7	21.5	27	32.0	41	41.5	41	
	11	2.0	17.0	19	20	26.5	31.0	39	42.5	36.5	
	12	0.5	18.5	21	25.2	27.3	32.25	39.3	44.5	37	
	13	0	20.0	23	22.5	28.5	33.5	41	43.5	40	
	14	32.7	20.5	22.5	23	28.3	35.0	41	42.5	40	
	15	16.5	17.0	20	20.5	25	30.0	39	38.5	38.5	
	16	0.5	16.0	18.5	19.5	24.7	29.5	39	29.5	40	
	17	0	17.5	20	21	26.5	31.5	40	41.3	40	
	18	11.0	16.5	21	21.7	27.5	32.5	41.5	42	40	
	19	21.3	16.67	21.3	22	27.5	33.0	40.5	42	40	
	20	0	17.0	20	20.7	26	31.33	39.5	39	40	
	21	0	18.0	21	21.5	27	32.33	40.5	41.5	39.5	
	22	31.5	19.30	21.5	22	28	33.0	40.3	41.5	40	
	23	0	14.5	17.5	17.7	24.5	28.0	40.3	38.5	38	
	24	8.5	17.5	20.5	20.3	26.3	31.5	37	42	38	25
	25	8.5	17.67	20.7	21.3	27.5	32.5	40	40	39	27.5
	26	0.5	18.0	21	21.5	27.5	32.5	40.3	41	39.5	26.5
	27	0	19.5	21.5	22	28	33.33	41.0	42	38.0	29.5
	28	32.7	20	22	22.7	28.5	33.67	41	42	38	32.5
	29	26.9	15.67	18.5	19.5	24.5	29.5	37	36	39	28.3
	30	1.6	10.5	14.3	14.5	19.5	24.0	34	38.3	37	20.3
Oc-	1	0	16	18.7	19.5	25	30	39	40	38	24.3
	2	2.8	17.5	19.5	20.5	26	31.5	40	41	39	28
	3	58.6	18.5	20.7	21.3	27	32.5	40	42.3	38	31
	4	0	7	9.5	9.7	15.3	19.5	30.5	38	37	27
	5	1.0	14	17	17	22.5	27	37	40.5	39	23.5
	6	0	16	19	19.5	24.5	30	38	41	38	26
	7	28.7	17.5	20	20.5	26.5	32.67	40.5	41	40	28
	8	0	16	18.5	19	25	29.5	38	39	37.5	27.5
	9	0.5	17	19	20	26.5	31	30	40	37.5	24.5
	10	16.6	17.5	19.5	20.5	27	33	39	41	37.5	25
	11	4.0	17	20	20.5	26.5	31.33	38	38	37.5	24.5
	12	3.9	18	20.5	21.5	27	32	40	41	39.5	26
	13	38.8	18.5	21	21.5	27.5	32.67	39	38.7	37	27.5

Cont. Cuadro 20

Mes	Día	Ppción	T u b o s									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Oc- tu- bre	14	0.4	11	13	13.5	19.5	24	34.3	38	36.5	20.5	
	15	2.2	16.5	19	19.5	25.5	30.5	38.3	41	37	25.5	
	16	26.6	17.5	20	20.5	26.5	31.5	38.3	41	37.5	27.5	
	17	0.2	16	18.5	19	25	29.5	37	39.5	37	24	
	18	5.5	17	19.5	20.3	26	31	38	40.5	39	25.5	
	19	36.0	17.3	20	21	26.5	31.3	40.7	41	37	26.5	
	20	15.3	4	7.7	8.5	13.5	18	26	32.5	33.5	16	
	21	3.4	8.5	11.5	11.7	17.5	22	32.5	38.3	37.3	19.5	
	22	0	15.5	17.5	17.5	23.5	28.5	37	41	37	23.3	
	23	20.9	16.5	19.5	19.5	25.5	30.5	38	40.5	37.3	26	
	24	11.6	14.5	17	17	24	27.5	36	38	37.5	23	
	25	5.5										
	26	0	16.5	19	19.5	25	30	37.5	41	37.5	24.5	
	27	0	17.5	20.3	20.3	26.7	31.5	28.5	41	39.5	27	
	28	0	18	20.5	21	27	32	39	41	38	28	
	29	2.1										
	30	4.1	19.5	21.5	22	28	32.7	40	43	39.5	29.5	
	31	0	20.3	22.3	26.5	28.5	33.5	41	43.5	40.5	30	
	No- viem bre	1	0									
		2	37.8	20	22	22.5	32	33.5	39	44	38.5	28.5
		3	21.7	9.5	12	12.5	18.5	22.5	37	34.5	36.5	19
		4	0	10	12.7	19	23.5	23.5	33	37.5	37	20
		5	1.5	14	17	19.7	25	26.5	36	38	37	25
		6	0.5	17	19.5	20.5	26	31	37	40.5	37	27
		7	0	18.3	21	21.5	28.5	32	38	42.5	37	28.3
		8	0.5									
		9	0.5	20	22	22	31	34	40	s/ag.	37	29
		10	0	20.5	22.5	23	29	34	40	"	37.5	30
		11	8.8									
		12	0	21	23.5	24	30	35.5	40.5	"	37	32
		13	4.0	21.5	24	24.5	31	36	41	"	37.5	32
14		0	21	24	24	30.7	36.7	41	"	37.5	32.5	
15		8.0	23	26	26.5	32	38.5	41	"	38.5	33.5	
16		0	22.5	25	26	32	38.5	41.3	"	38.5	32.5	
17		0	23.5	26.5	27.5	33.3	39.0	41.0	"	38	32.5	
18		0.6	24.5	27.5	28.5	34.5	40.5	41.5	"	38	33	
19		1.5	25.7	27.7	29	35.3	40.5	42.3	"	38.5	33.5	
20		11.7	26.5	28	29.5	36	40.5	44	"	38.5	33.5	
21		0.2										
22		0.8	23.5	26.5	27.5	33.5	41	s/ag.	"	37.7	31.7	
23		23.8	24	27	28.7	35	41	"	"	38	33	
24		0	20	22	22.7	28.3	33	41.5	39.5	38.5	26	
25		0										
26		1.2										
27		0	23	26	27.5	34	38	41	41	37.7	29.5	

Cont. Cuadro 20.

Mes	Día	Ppción	T u b o s								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
No-	28	2.1	24	27	29	34.7	39.7	41	41.5	37.7	30
viem	29	4.5	24.5	28	29.5	35	41	41.3	41.7	38	30.5
bre	30	6.3	25.5	28	29.5	35.5	41	42	43	38	31
Ene-	1	0									
ro/	2	0	28	31	32.5	38.5	44	44	s/ag	38	33
65	3	1.8									
	4	17.5									
	5	73.0									
	6	62.0	0	0	2	8	12	16	25	17	11
	7	24.7	2	5.5	6	10.5	14	22	34	28.5	14.5
	7	"	4	6.5	7	11.5	15.5	23.5	35	-	16
	8	2.2	4	6.5	11.5	15.5	15.5	23	33.7	29.5	16.5
	8	"	5	7.7	7.5	12.7	16.5	24.5	36.5	33.5	17
	9	0.6	12	14	14	18	23	35.3	40	37.7	21.5
	9	"	12.5	15	14.3	19.5	24	35.5	40.5	37	22.5
	9	"	13	15.7	14	20	24.5	36	40.5	37	23.5
	10	7.5	14	16.3	14.7	20.7	26	-	40.5	37	26
	10	"	13.5	16	14.5	20.5	25	37	40.7	36.7	24
	11	0	14.7	17	15.5	21.7	26.5	37	40	37	25.5
	11	"	15.3	17.5	17.5	22.5	27.3	37.8	40.3	37	26.5
	12	"	15	18.5	17.5	24	28.7	38	40.3	37.3	27.5
	13	3.7	17	19.5	19	25	30	38.5	40.7	37.3	28.5
	14	2.7	17.5	20	19.5	25.8	30.5	39	41.8	37.3	29
	15	23.8	18	20.5	20.5	26.5	31	-	-	-	29.5
	15	"	15.5	18.5	18	24	29	-	-	-	-
	16	7.2									
	17	45.0									
	18	21.5	3	6.3	6.3	11.5	15.3	23	32	30.5	14.5
	18	"	5	8	8	13.3	17.5	25	35.5	35.3	16.5
	19	42.6	4.6	7.5	7.5	12.7	16.7	24.7	36.8	37	16.8
	20	3.7	0	3	3	8.3	12.5	20	34.5	32.5	12.5
	21	1.9	8.5	10	9.5	15.5	19.5	30.3	40.8	37	19
	22	0	14.3	16.5	15.5	21.5	26.5	35.5	40.5	37	24.8
	23	3.1									
	24	4.5	17.3	19.5	9.3	25.5	30	38.5	41	37	28.5
	25	2.3	17.3	19.7	19.7	26	30.5	38.5	44	37	29
	26	5.4	18	20.5	20.5	26.5	31.3	39.5	s/ag	37.3	29.5
	27	0.5	18.3	20.8	20.8	27	31.8	41.3	"	37.3	29.5
	28	0	19.5	21.8	21.8	28	32.5	41.5	"	37	29.8
	29	0.6	20	22	22.3	28.5	33.5	40.3	"	37.2	30
	30	0	20.5	22.8	23	29.3	34.8	42	"	37.3	-
	31	0	21	23.5	24	30	35.5	42.8	"	37.8	-

Cuadro 21. Precipitación y evaporación diarias desde agosto/64 a febrero/65. Exceso o deficiencia de agua en ese período.  
(mm).

Día	Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
1	1.8	5.6	30.7	4.0	0	5.3	16.0	0.0	1.2	3.6	0	5.4	0	6.1
2	22.5	3.8	10.8	4.2	2.8	5.0	37.8	4.9	0.0	4.2	0.0	2.8	20.7	5.0
3	4.8	0.0	1.0	5.0	58.6	4.3	21.7	2.4	0.1	5.6	1.8	3.3	1.1	1.7
4	11.6	2.0	0.8	2.0	0	2.5	0	3.1	0.0	5.6	17.5	0.0	0.0	3.3
5	0	6.3	3.7	3.0	1.0	6.0	1.5	4.8	15.0	3.6	73.0	0.0	1.0	2.1
6	10.9	0.0	0	2.0	0	6.2	0.5	3.8	6.9	0.0	62.0	0.0	0.0	6.2
7	0	5.0	21.5	3.2	28.7	0.3	0	5.6	1.2	2.1	24.7	0.7	1.4	2.0
8	0.3	4.8	15.0	1.9	0	2.5	0.5	2.1	0.0	4.3	2.2	1.5	0.2	4.2
9	0	6.3	3.7	3.1	0.5	2.7	0.5	5.7	0.0	5.4	0.6	4.2	0.7	6.2
10	1.0	6.3	12.5	5.3	16.6	2.5	0.0	3.0	0.0	5.2	7.5	0.0	0.0	5.3
11	17.0	2.6	2.0	6.3	4.0	3.2	8.8	5.2	0.0	5.2	0.0	5.0	0.5	2.7
12	0	4.2	0.5	5.3	3.9	4.6	0.0	4.4	0.8	3.7	0.0	5.8	0.0	6.5
13	2.0	3.4	0	6.6	38.8	2.5	4.0	2.6	10.2	2.4	3.7	1.9	0.0	6.5
14	29.2	5.0	32.7	3.4	0.4	3.8	0.0	3.4	9.8	1.4	2.7	2.2	0.0	6.2
15	13.7	5.2	16.5	5.3	2.2	1.1	8.0	2.9	0.0	2.9	23.8	0.0	0.0	4.9
16	0.2	4.3	0.5	3.4	26.6	2.1	0.0	6.4	0.0	5.9	7.2	0.2	0.0	3.5
17	3.3	2.9	0	4.5	0.6	4.2	0.0	5.7	0.1	1.5	45.0	0.0	0.0	5.5
18	4.5	4.1	11.0	4.6	5.5	4.0	0.6	5.4	2.1	3.5	21.5	0.2	3.5	3.6
19	0	5.3	21.3	4.5	36.0	4.0	1.5	4.0	2.2	4.7	42.6	0.0	28.0	3.4
20	4.5	5.8	0	6.8	15.3	1.6	11.7	3.8	15.7	0.6	3.7	2.8	3.4	1.1
21	0.8	5.5	0	4.4	3.4	2.2	0.2	2.1	1.0	2.3	1.9	3.9	0.6	6.0
22	2.5	3.6	31.5	5.2	0	3.4	0.8	1.5	12.5	0.0	0.0	5.5	0.1	5.8
23	1.8	2.2	0	4.3	20.9	0.7	23.8	1.8	0.1	4.7	3.1	4.3	0.0	4.3
24	6.8	3.4	8.5	4.2	11.6	3.7	0.0	4.1	2.0	3.6	4.5	3.3	0.0	6.0
25	2.0	3.6	8.5	2.9	5.5	3.4	0.0	3.1	0.0	5.1	2.3	2.6	29.7	3.4
26	11.6	5.4	0.5	3.9	0	4.9	1.2	4.8	0.0	5.2	5.4	5.6	51.0	0.6
27	0	6.5	0	4.5	0	4.2	0.0	2.4	1.2	5.4	0.5	4.0	3.8	0.0
28	20.6	3.6	32.7	3.2	0	4.9	2.1	5.5	0.0	4.5	0.0	3.6	0.0	6.1
29	1.6	5.9	26.9	4.5	2.1	3.5	4.5	0.9	0.1	5.2	0.6	4.0		
30	0.6	1.7	1.6	3.6	4.1	4.5	6.2	3.2	0.0	5.2	0.0	4.3		
31	14.3	5.6			0	4.2								

<u>Prec.:</u>	207.9	295.4	289.1	152.0	82.2	357.8	145.7
<u>Evap.:</u>	129.9	125.7	107.5	109.0	116.8	82.7	118.2
<u>Dif.:</u>	78.0	169.7	181.6	43.0	-34.6	275.1	27.5