

DIAGNOSTICO DE UN SUELO NO PRODUCTIVO DE BUENOS AIRES,
PROVINCIA DE PUNTARENAS, COSTA RICA

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Jorge Edwin Pacheco Lampson

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica

Junio, 1970

DIAGNOSTICO DE UN SUELO NO PRODUCTIVO DE BUENOS AIRES,
PROVINCIA DE PUNTARENAS, COSTA RICA

Tesis

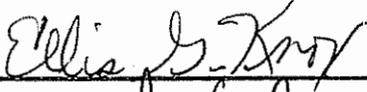
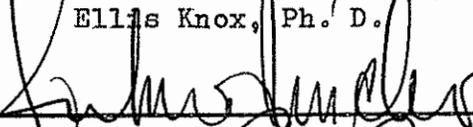
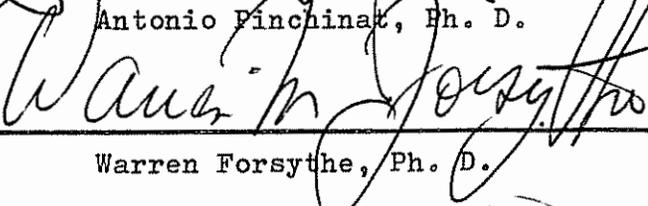
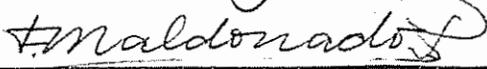
Sometida al Consejo de la Escuela para Graduados como
requisito parcial para optar el grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

	Consejero
Ellis Knox, Ph. D.	
	Comité
Antonio Finchinat, Ph. D.	
	Comité
Warren Forsythe, Ph. D.	
	Comité
Fausto Maldonado, Ing. Agr.	

A mis padres

A mis hermanos

A María del Socorro
con profundo cariño

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento:

Al Dr. Ellis Knox, Consejero Principal por su orientación acertada.

Al Comité Consejero, Dres. Warren Forsythe, Antonio Pinchinat y al Ing. Fausto Maldonado por sus rigurosos juicios críticos que le dieron solidéz al trabajo.

A los Dres. Kozen Igue y Hans Fassbender, quienes colaboraron desinteresadamente en todo momento.

Al Dr. Gilberto Páez, por su hábil dirección en el análisis estadístico e interpretación de los resultados.

Al Dr. Dr. José A. Martini quien colaboró en la fase inicial del estudio.

A los Dres. Leslie Holdridge y Michel Montoya quienes orientaron el estudio climático.

A todos los profesores, colegas y amigos, que en una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Bluefields, Nicaragua en 1941. Realizó sus estudios universitarios en la Escuela Nacional de Agricultura de Managua, graduándose como Ingeniero Agrónomo en 1965.

A partir de 1966, trabajó en el Departamento de Suelos del Programa de Catastro Fiscal, como jefe de grupo de clasificación y levantamiento de suelos.

Ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en setiembre de 1968, finalizando sus estudios en junio, 1970.

	Página
2.2.2.12 Molibdeno.....	14
2.2.3 Algunos aspectos del encalamiento.....	14
2.2.4 Propiedades físicas del suelo.....	15
2.2.4.1 Densidad aparente.....	16
2.2.4.2 Densidad de partícula.....	16
2.2.4.3 Porosidad.....	16
2.2.4.4 Aereación.....	17
2.2.4.5 Retención de agua.....	17
2.2.4.6 Efecto del agua en el suelo.....	18
3. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1 Selección de la muestra para el estudio.....	20
3.2 Estudios físicos de los cinco puntos escogidos.....	22
3.2.1 Prueba de infiltración.....	22
3.2.2 Densidad aparente.....	22
3.2.3 Densidad de partícula.....	22
3.2.4 Retención de agua.....	23
3.3 Estudios de la muestra seleccionada.....	23
3.3.1 Oxidos libres de hierro.....	23
3.3.2 Nitrógeno total.....	24
3.3.3 Fraccionamiento de fósforo.....	24
3.3.4 Mn cambiabile.....	24
3.4 Análisis químico de la muestra incubada.....	24
3.5 Ensayos de invernadero.....	25
3.5.1 Primer ensayo de invernadero.....	25
3.5.2 Segundo ensayo de invernadero.....	26
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	32

4.1	Selección de la muestra.....	32
4.1.1	Descripción de perfil.....	32
4.1.1.1	La textura.....	32
4.1.1.2	El color.....	32
4.1.1.3	La estructura.....	33
4.1.1.4	La consistencia.....	33
4.1.1.5	Las cantidades de raíces.....	33
4.1.2	Análisis químico.....	33
4.2	Estudio climático y algunas propiedades físicas del suelo.....	34
4.2.1	Estudio climático.....	34
4.2.1.1	Estudio general.....	34
4.2.1.2	Estudio detallado.....	37
4.2.2	Estudios físicos.....	38
4.2.2.1	Densidad aparente.....	38
4.2.2.2	Densidad de partícula.....	38
4.2.2.3	Porosidad y aereación.....	38
4.2.2.4	Retención de agua.....	42
4.2.2.5	Prueba de infiltración.....	42
4.3	Análisis químico.....	45
4.3.1	pH.....	48
4.3.2	Complejo de adsorción.....	49
4.3.3	Aluminio cambiante.....	49
4.3.4	Hierro libre.....	49
4.3.5	Fraccionamiento de fósforo.....	51
4.4	Ensayos de invernadero.....	53

	Página
4.4.1 Primer ensayo de invernadero.....	53
4.4.2 Segundo ensayo de invernadero.....	53
5. CONCLUSIONES.....	57
6. RESUMEN.....	58
7. SUMMARY.....	60
8. LITERATURA CITADA.....	62
9. APENDICE.....	66

LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		Página
1	Algunos datos climáticos de Buenos Aires.....	19
2	Diseño de tratamiento de superficie de respuesta....	27
3	Niveles, fuentes y fecha de aplicación de los diferen- tes nutrimentos del primer ensayo de invernadero....	28
4	Diseño de tratamientos (Factorial 2^5).....	30
5	Nutrimentos, niveles, fuentes y algunos cálculos para el ensayo de invernadero.....	31
6	Profundidad de las muestras.....	35B
7	Resultados preliminares del análisis de laboratorio..	36A
8	Balance hídrico.....	36B
9	Datos de densidad aparente y densidad de partícula del primer y segundo horizontes.....	40
10	Retención de humedad.....	41
11	Lecturas acumulativas de las pruebas de infiltración.	43
12	Ritmo de infiltración.....	44
13	pH obtenido con las aplicaciones de diferentes dosis de Ca.....	46
14	pH, complejo de adsorción, aluminio cambiabile y óxidos libres de hierro para el primer horizonte.....	47
15	pH, complejo de adsorción, aluminio cambiabile y óxidos libres de hierro para el segundo horizonte.....	50
16	Fraccionamiento de fósforo del primer y segundo hori- zontes.....	52

Cuadro Nº		Página
17	Pesos de materia seca de la planta de tomate por efecto de los tratamientos.....	54
18	Análisis de variación del efecto de los tratamientos expresados en términos de materia seca.....	56
19	Prueba de significancia de los coeficientes de regresión parcial correspondientes a cada uno de los factores.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura N°		Página
1	Precipitación <u>vs</u> temperatura	36A
2	Evapotranspiración potencial <u>vs</u> evapotranspiración actual	39

1. I N T R O D U C C I O N

La productividad de los suelos depende de las condiciones del medio ambiente, de la planta y del suelo, mientras que su fertilidad está más ligada a las cantidades balanceadas de los diferentes nutrimentos presentes en forma asimilable para las plantas.

El área de Buenos Aires, en la provincia de Puntarenas, Costa Rica, comprende en su mayoría los suelos de sabana, caracterizado por una vegetación homogénea y definida. Actualmente gran parte de esa extensión se dedica al cultivo de la piña, porque aparentemente éste es el único cultivo que llega a producirse satisfactoriamente, mediante la aplicación de fuertes dosis de fertilizantes.

El presente trabajo tiene por objeto, mediante una serie de estudios físicos y químicos, conocer los posibles factores que están limitando tan drásticamente a los diferentes cultivos y formular eventualmente las recomendaciones apropiadas para mejorar la productividad de los suelos de la zona.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Descripción agroecológica de la zona

2.1.1 Historia del cultivo:

Las diferentes pláticas sostenidas con los agricultores de la zona, indican que antes había una vegetación arbórea de buen desarrollo, pero que poco a poco se ha estado sustituyendo mediante quemas con la intención de aprovechar el suelo para los cultivos. Una vez que se haya sustituido esa vegetación arbórea, nacen tres tipos dominantes de gramíneas, lo que actualmente se aprecia en todos los lugares de sabana que no están bajo cultivo.

Los cultivos que se han probado en esa zona son los siguientes: tomate, frijol, yuca, arroz y maní. A pesar de que todos nacieron normalmente, el frijol y el arroz presentaron una quema de abajo hacia arriba y luego murieron. La yuca se secó y el maní echó raíces, floreció pero no fructificó. Cabe añadir que el pasto Jaragua (Hypparrhenia rufa), a pesar de que también fue probado (encalando el suelo con tres toneladas de CaCO_3 por ha.), no logró prosperar. Lo expuesto anteriormente, explicaría la causa de que actualmente se está dedicando esos suelos para el cultivo de la piña, porque es el único cultivo que llega a producirse económicamente.

Gurdián (25) efectuó en esta área un ensayo de abonamiento en el cultivo de la piña con tres niveles de N, P y K. De

los resultados obtenidos se dedujo que:

- a. hubo un efecto principal marcado en orden descendente para K, P y N;
- b. el efecto simultáneo de los tres factores era beneficioso.

Manix* llevó a cabo un ensayo de invernadero con muestras de suelo de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm de profundidad tratados con 300 Kg/ha de cada elemento N, P, K, Mg, S y 800 Kg/ha de Ca. Concluyó que los rendimientos con los tratamientos de N, P y K resultaron ser todavía bajos debido a la poca cantidad de Ca, Mg y S presentes en el suelo; por lo tanto, se hace necesario suplir siempre el Ca, Mg y S cuando se aplican N, P y K.

2.1.2 Datos climáticos (18)

Los datos climáticos son muy limitados debido a que la instalación de la estación meteorológica de la zona es muy reciente. No obstante, se tiene información de: precipitación, temperatura ambiental, evaporación, horas sol y humedad relativa, la cual se resume en el cuadro 1.

2.2 Factores de producción

2.2.1 pH del suelo:

La acidez del suelo es controlada en su mayor parte por el intercambio iónico y por otras reacciones de absorción que a la vez dependen de los materiales de adsorción. Estos materiales pueden dividirse arbitrariamente en dos categorías: inorgánicas y orgánicas. Las sustancias inorgá-

* Manix, J. Macronutrientes requeridos por los suelos de Costa Rica, 1970. Comunicación personal.

nicas que más influyen las propiedades ácidas de los suelos son los filosilicatos y los óxidos minerales (incluyendo la alófana). Los filosilicatos tienen con frecuencia un revestimiento superficial de una capa delgada de óxidos o de hidróxidos de aluminio y hierro unido electrostáticamente. Los óxidos e hidróxidos de Fe y Al ocurren como cristales bien definidos, con revestimientos de los filosilicatos u otros minerales y como geles mezclados con incorporación de sílice, fosfato y algunas veces coloides orgánicos. Los geles mezclados que contienen sílice y alúmina en relación molecular .5 a 1.3 se denominan alófanas. Dentro de los óxidos minerales probablemente, sólo la alófana juega un papel importante en la capacidad amortiguadora de los suelos y es la que más llega a influenciar sus propiedades químicas. La materia orgánica ejerce influencia en la acidez del suelo, principalmente por su grupo carboxílico. Este grupo no obstante, se vuelve más débil cuando se combina con los iones metálicos de Al y Fe como suele suceder con frecuencia en los suelos ácidos. Los ácidos solubles que se forman a través de la actividad biológica producen fluctuaciones muy significantes en el pH del suelo. Los cambios producidos son temporales y localizados, por lo tanto sólo en ciertas situaciones se evalúa su influencia (15).

Bear (5) menciona que la ionización de los grupos silícicos SiOH contribuyen a la acidez de los suelos. Coleman (15) mejora esta versión porque señala que estos radicales

son tan débiles que no llegan a ionizarse en el rango de pH del suelo.

Los suelos ácidos raras veces tienen un pH menor de 4. Los valores menores de 4 sólo se obtienen cuando están presentes ácidos libres (como H_2SO_4 , sapropel). Aunque el pH es un buen índice, todavía no ha sido completamente comprendido, por lo tanto su uso resulta todavía empírico. Además no se sabe con exactitud cual medida de pH significa en términos de H su actividad iónica.

Bornemisza (10) sugiere que aunque el concepto moderno de la acidez considera el H, Al y Mn como contribuyente a la acidez, el pH puede usarse como factor indirecto para señalar algunos problemas potenciales. Por ejemplo, a pH bajo, podría esperarse: desbalances de cationes, alta fijación de P, toxicidad de Al y Mn, nitrificación pobre y deficiencia de elementos menores.

2.2.1.1 Relación de algunos factores con el pH del suelo:

Según Ayres (2) en las zonas templadas existe una relación entre el pH y el porcentaje de saturación de bases y los requerimientos de cal; no obstante, en suelos tropicales y sub-tropicales esta relación esperada no ocurre debido a que en los suelos ácidos predomina el aluminio y no el calcio.

Venema (45) menciona que existe un contenido de calcio bajo, por lo cual el pH ya no sufre mayor descenso porque parece ser que a pH 4.0, las sales

de aluminio actúan como "buffer", por lo tanto, en estos casos no debe utilizarse el pH para evaluar los requerimientos de cal.

Bear (5) sostiene que la capacidad de absorción de bases de un suelo no tiene que estar necesariamente relacionada con su pH, porque estará determinado por la cantidad de arcilla y materia orgánica presentes en el suelo.

Popenoe (36) afirma que el contenido de aluminio cambiante está muy relacionado con el pH especialmente en los suelos más ácidos. En suelos de pH de 5 a menor, el aluminio cambiante es alto.

Según Collings (16) el pH 5.5 se considera como un punto de transición en los suelos en cuanto a la asimilabilidad o solubilidad de los compuestos del suelo.

2.2.1.2 Productividad de los suelos ácidos:

Bear (5) menciona que la causa de la pérdida de productividad de un suelo ácido reside en el desarrollo de concentraciones tóxicas de iones de hidrógeno, aluminio, hierro y manganeso.

Jackson (26) no obstante, sostiene que el hidrógeno no es tóxico para las plantas.

Según Aslander citado por Collings (16) la improductividad del suelo a menudo se debe a la falta

de nutrimentos y no a la reacción del suelo.

2.2.2 Disponibilidad de nutrimentos en relación con el pH:

El factor más importante que afecta la productividad de los suelos ácidos es la disponibilidad de los nutrimentos, los cuales han sido ampliamente revisados por Collings (16).

2.2.2.1 Nitrógeno:

Las plantas cultivadas en condiciones corrientes parecen absorber la mayor parte de su nitrógeno en forma de nitrato. La asimilabilidad de NO_3^- por las plantas depende de las condiciones normales del suelo y no del pH. Si se aplica el nitrógeno en otra forma que no sea nitrato (como se acostumbra a hacer), el nitrógeno entonces tiene que convertirse en nitratos, por la intervención de organismos amonificantes o nitrificantes. Como los organismos resultan ser perjudicados por la acidez, es de esperar que se obtendrán las mejores cosechas cuando se aplican abonos a suelos previamente encalados.

Según Cook (17) el efecto del pH sobre la disponibilidad del nitrógeno es indirecta, porque los microorganismos no funcionan en suelos muy ácidos.

2.2.2.2 Fósforo:

En el suelo se consideran dos grandes fracciones de fósforo, el orgánico y el inorgánico. Chang y Jackson citados por Molina (31) sostienen que la

disponibilidad de fósforo depende de la cantidad de fosfatos adsorbidos en la superficie de los coloides del suelo y de la solubilidad de los compuestos fosfatados cristalinos.

Según Cook (17), las plantas prefieren el fósforo en forma iónica de H_2PO_4^- en vez de HPO_4^{2-} . Esta forma iónica proviene de la ionización del H_2PO_4^- y sólo ocurre en suelos con pH mayor de 7.0.

El fósforo es más asimilable a pH de 6.0 a 7.0 y si la reacción excede o no alcanza ese límite, el fósforo se torna menos asimilable.

Cuando el pH es de 5.5 comienza a aparecer los compuestos solubles de Fe y Al de los compuestos insolubles metales y entonces el fósforo se combina con el Fe y Al.

Los fosfatos se combinan particularmente, con el aluminio y precipitan en forma de compuestos fosfáticos insolubles. Por eso, las plantas desarrolladas en suelos ácidos presentan a menudo deficiencia de fósforo.

Si el pH desciende hasta 4.8 habrá más Al y Fe y como consecuencia resultarán combinaciones en mayores cantidades con el fósforo. A medida que desciende el pH de 5.5 la solubilidad de los fosfatos también disminuye llegando al extremo de una mínima so-

lubilidad que aproximadamente está alrededor de un pH de 3.0 a 4.0.

2.2.2.3 Potasio:

La asimilabilidad de K no parece influenciada por la reacción del suelo, porque con frecuencia se ha obtenido buenos resultados de las cosechas mediante la aplicación de K a suelos muy ácidos. En ciertas ocasiones en los suelos ácidos, los perjuicios causados por el Fe, Al y Mn pueden ser tales que no obtienen resultados evidentes de la aplicación de K, aún existiendo necesidad de este elemento. Sin embargo, cuando se hacen aplicaciones de K a suelos encañados en exceso, se obtiene una respuesta positiva marcada en la cosecha, esto se explica como debido a un aumento de pH del suelo por el cual es posible el ingreso de mayor cantidad de K en el complejo coloide y no tanto por la influencia del calcio. No obstante, las conclusiones de los experimentos de lisimetría indican que el encañado disminuye la solubilidad del K del suelo. En suelos bien encañados, el K no suele ser lixiviado con tanta facilidad como en los suelos ácidos.

2. 2.2.4 Calcio y Magnesio:

El calcio es un factor determinante en la precipitación del fósforo soluble. A pH mayor de 6.0

comienzan a predominar los fosfatos cálcicos. La acidez del suelo se relaciona con la falta de bases en el complejo coloidal. Por esta razón en suelos ácidos únicamente, puede esperarse una cantidad reducida de Ca y Mg asimilables. La cantidad de calcio aumenta en relación directa con la elevación del pH hasta 8.0 y más arriba y la absorción de dicho calcio por las plantas se eleva asimismo hasta alrededor de un pH 6.0. Existen trabajos que indican que en suelos ácidos la planta parece necesitar una mayor proporción de Ca que a reacciones cercanas a la neutralidad; no obstante, otros trabajos señalan que la acidez alta provoca una disminución de la capacidad de las plantas para absorber y retener el calcio soluble. Se ha comprobado también que a pH muy bajo se produce una pérdida de Ca de las raíces a la solución del suelo. Se ha demostrado que con la falta de saturación de bases disminuye la asimilabilidad del Ca, por lo tanto, los suelos pueden responder al encalado cuando los materiales de cambio iónico tienen una saturación del 40 al 50% de Ca.

La cantidad de Mg asimilable generalmente nunca es tan grande como el Ca; no obstante, su forma asimilable aumenta con la elevación del pH hasta 7.5; luego disminuye.

2.2.2.5 Azufre:

Cuando están los compuestos de azufre presentes en el suelo, se encuentran solubles a cualquier pH, aunque la cantidad suele ser menor con pH bajo debido a la pérdida por lixiviación.

Según Coleman (15) la absorción del ión SO_4 puede contribuir significativamente en el poder "buffer" de los suelos. El encalado con $CaCO_3$ reduce la cantidad de sulfatos absorbidos porque provoca la formación de $CaSO_4$.

2.2.2.6 Aluminio:

El aluminio no es esencial para las plantas, pero tiende a acumularse en los tejidos vegetales cuando la planta crece en suelos ácidos. La alteración por este elemento puede interpretarse como debido a la toxicidad o a la sustitución del aluminio por un elemento esencial semejante y a su acción precipitante sobre los fosfatos (5).

A pH inferior a 5.5 y superior a 8.0 se encuentra a menudo el aluminio en forma soluble. Esta forma soluble es tóxica para las plantas, pero puede en el suelo ser precipitado mediante aplicaciones de cal o fosfatos solubles. El Al se absorbe en mayor o menor cantidad por las plantas a cualquier pH.

2.2.2.7 Hierro:

Según Meyer (30) la deficiencia del Fe se presen-

ta muy raro en los suelos, pero cuando las plantas exhiben tal carencia, es más bien debido a su insolubilidad que a su inexistencia.

Meyer (30) y Cook (17) sostienen que las plantas absorben con preferencia el Fe en forma ferrosa que férrica.

Según Cook (17) de pH 5.5 a 7.0 existe suficiente cantidad de Fe en forma ferrosa, pero si el pH desciende de 5.5 pueden encontrarse cantidades excesivas de Fe (ferrosa) dando lugar a efectos tóxicos sobre el desarrollo de las plantas.

El Fe tiene efecto antagónico en las plantas con el Mg (5) con el B (4D) y con el Mn (5, 17).

2.2.2.8 Manganeso:

Las plantas según Meyer (30) y Cook (17) prefieren el manganeso en forma reducida (manganosa).

En el suelo existe suficiente Mn en forma manganosa en los rangos de pH de 5.5 a 7.0 debajo de 5.5 puede haber efectos tóxicos para las plantas. Posiblemente, la toxicidad del Mn aparece antes de que se solubiliza el Fe y Al para producir asimismo toxicidad en las plantas.

2.2.2.9 Boro:

La mayor disponibilidad del B se encuentra entre los rangos de pH de 5 a 6.5 (17).

La deficiencia de este elemento puede deberse muchas veces al exceso del Fe del suelo.

El boro suele ser deficiente en suelos muy ácidos debido a la alta solubilidad de sus sales y a la pérdida por lixiviación (5).

La asimilabilidad del B se reduce progresivamente cuando la reacción del suelo se eleva por encima de pH 7.0 hasta que alcanza un pH de 8.5. No existen pruebas de que el encalado precipite apreciablemente el B del suelo, pero de una forma u otra, estorba su emigración hacia la planta.

El empleo continuo de fosfatos solubles causa a menudo la falta de asimilación del B.

2.2.2.10 Zinc:

Se encuentra deficiencia de este elemento en suelos muy ácidos debido a la alta solubilidad de sus sales (5). Los suelos encalados a pH 6.5 o superior, desarrollan con frecuencia deficiencia de Zn.

La asimilabilidad del Zn comienza a reducirse de pH 7.0 a 7.5 resultando ser bastante bajo a pH 8.5 o superior. Se ha visto también que la falta de asimilación es debida muchas veces al empleo continuo de fosfatos solubles.

2.2.2.11 Cobre:

Es deficiente en suelos muy ácidos por la gran

solubilidad de sus sales. Los suelos encalados a pH 6.5 o superior, desarrollan con frecuencia deficiencia de Cu. Su elemento antagónico es el Mo (5).

2.2.2.12 Molibdeno:

Según Meyer (30) el molibdeno es el microelemento que las plantas requieren en menor cantidad.

Jackson (26) menciona que el suelo absorbe mejor el Mo en condiciones ácidas; por otra parte, el encalado aumenta su solubilidad en agua.

Según Bear (5) el Mo logra precipitarse con el Fe y Al a valores bajos de pH.

2.2.3 Algunos aspectos del encalamiento:

El calcio es un elemento esencial para la vida vegetal y animal y continuamente está siendo removido por las raíces de las plantas, lixiviación y erosión. La influencia del calcio afecta la disponibilidad de varios elementos y frecuentemente previene la acumulación de materiales que de otra forma serían tóxicos para el crecimiento de las plantas (16, 38, 5,22).

Siempre se ha relacionado el encalado con la corrección del pH del suelo; sin embargo, es de suma importancia entender que la cal mejora la disponibilidad de los elementos nutritivos mediante un nuevo balance y al mismo tiempo como reduce las concentraciones tóxicas de Fe, Al y Mn (13).

Todo parece indicar que la aplicación moderada de cal con

la intención de corregir el aspecto nutritivo o el pH del suelo, dará siempre buenos resultados; tal actitud debe considerarse sin embargo, para evitar un gasto inútil y un sobre-encalamiento. En ciertos suelos pesados es probable que la aplicación en dosis moderadas no produzca ningún daño sobre el cultivo; no obstante, en suelos arenosos pobres en materia orgánica y por lo tanto con escaso poder regulador, es fácil dañar seriamente algunos cultivos aún con la aplicación de pequeñas cantidades de cal (13).

Russell (38) informa que la aplicación de calcio en suelos tropicales y sub-tropicales solamente mejora la cosecha en suelos muy ácidos, según él, el encalado en los suelos tropicales debe ser menos crítico porque los cultivos por lo general se desarrollan bien en suelos más ácidos que en las zonas templadas.

2.2.4 Propiedades físicas del suelo:

2.2.4.1 Densidad aparente:

Se utiliza ampliamente para convertir la humedad gravimétrica a volumétrica, para calcular la porosidad cuando se conoce la densidad de partícula y para estimar la masa de la capa arable del suelo por hectárea (8).

Cook (17) menciona que la densidad aparente depende de la naturaleza del material orgánico, de la cantidad de materiales minerales y del contenido de

la humedad de la muestra.

2.2.4.2 Densidad de partícula:

Se refiere a la densidad de las partículas sólidas. Se expresa como la relación de la masa de partículas sólidas a su volumen. La porosidad, densidad aparente, espacio aéreo y ritmo de sedimentación dependen de la densidad de partícula (9).

2.2.4.3 Porosidad:

La porosidad de un suelo depende del tamaño de las partículas, su distribución y de su estructura. En suelos de textura fina es muy importante la distribución del tamaño de las partículas. La estructura granular es la más deseable y adecuada para la penetración de las raíces (29).

En los suelos vírgenes la porosidad varía poco por lo tanto constituye una característica del suelo. La porosidad disminuye con la profundidad, abajo de la capa arable su variación es menor. Un buen suelo bajo producción agrícola debe tener una porosidad arriba de 45% con la mitad correspondiente a macroporos (19).

La porosidad afecta el movimiento de agua, su succión por las plantas y sirve en muchas ocasiones como índice de pronóstico de la compactación. Cuando la porosidad del suelo es menor de 40% el creci-

miento de las raíces se ve impedido por la resistencia mecánica (43).

2.2.4.4 Aereación:

La composición del aire del suelo depende de las velocidades relativas de dos procesos opuestos: la producción de CO_2 y su velocidad de eliminación y la entrada de O_2 en el perfil por la difusión. El sistema radicular de la mayor parte de las plantas crece vigorosamente en suelos bien aereados. Las plantas tienen ordinariamente un sistema radicular más ramificado y más fino cuando se desarrollan en suelos arenosos que en uno arcilloso (38).

2.2.4.5 Retención de agua:

Puede medirse por centrifugación, crioscopia y con platos porosos de cerámica (en olla de presión).

La determinación de una curva de desorción o curva de retención de agua por el suelo tiene mucha importancia agrícola. Es posible determinar mediante la curva, la cantidad de agua disponible de un suelo dentro los límites dados de tensión. La tensión baja (1/3 a 5 bars) proporciona el agua fácilmente disponible y la tensión alta (1/3-15 bars) representa el agua disponible. Indudablemente el agua de la tensión alta exige un mayor es-

fuerzo de las plantas para extraer el agua. La tensión $1/3$ bars corresponde a la capacidad de campo, mientras 15 bars al punto de marchitez permanente (23). Los datos de retención de agua del suelo son de gran utilidad cuando se desea elaborar un balance hídrico.

2.2.4.6 Efecto del agua en el suelo:

La infiltración o entrada vertical del agua en el suelo es influenciado grandemente por el contenido de humedad presente y por la condición de su superficie (7).

Tschapek (43) menciona que el movimiento de agua en el suelo es de suma importancia para el crecimiento de las plantas, porque las raíces no pueden obtener los nutrimentos necesarios sino están en disolución. Estudios demuestran que las plantas se marchitan cuando crecen en suelos con velocidades de movimiento de agua de 2 cm por hora.

En suelos de condiciones físicas adecuadas y con cantidades normales de nutrimentos, la humedad es uno de los factores más importantes para determinar la profundidad que alcanzan las raíces durante su crecimiento, de manera que un bajo contenido de humedad en el suelo en las primeras fases del crecimiento de las plantas puede provocar un buen desarrollo de sus raíces (6).

Cuadro 1 Algunos datos climáticos de Buenos Aires^{1/}

Año	Meses	Precipitación (mm)	Temperatura (centígrados)		Oscilación Promedio	Evaporación (mm) ^{2/}	Promedio de horas sol	% de humedad relativa va (Promedio) ^{3/}
			Máxima Promedio	Mínima Promedio				
1969	Enero	----	33.0	20.3	12.7	54.6	7.5	---
"	Febrero	20.9	35.0	20.4	14.6	121.8	7.3	---
"	Marzo	94.2	34.9	21.1	13.8	137.0	5.8	---
"	Abril	229.9	24.5	19.7	4.8	92.0	5.7	---
"	Mayo	151.1	24.4	19.6	4.8	112.6	3.6	---
"	Junio	284.8	25.0	20.0	4.9	41.5	3.0	---
"	Julio	75.9	34.4	20.5	13.9	83.4	3.3	---
"	Agosto	323.7	33.7	20.0	13.7	81.5	3.5	---
"	Setiembre	385.5	34.1	19.5	14.6	66.8	3.5	86.7
"	Octubre	575.7	33.8	19.4	14.4	36.7	3.1	86.9
"	Noviembre	464.2	34.6	19.5	15.1	34.7	3.1	87.6
"	Diciembre	214.6	34.7	19.6	15.1	93.9	5.6	83.7
1970	Enero	70.8	34.7	19.3	15.4	153.1	5.9	87.6
"	Febrero	36.2	34.4	19.4	15.0	97.7	7.1	76.6

1/ Fuente: estación meteorológica de Buenos Aires, Costa Rica

2/ Evaporímetro = 26 cm de diámetro

3/ Sólo existen datos de humedad relativa desde el mes de setiembre, 1969 hasta febrero, 1970

3. MATERIALES Y METODOS

El lugar de estudio comprende la parte plana de los terrenos de sabana que cubre aproximadamente una área de 3.000 hectáreas. Está localizado a unos 40 km de San Isidro del General, provincia de Puntarenas, Costa Rica a 9^o 9' N y 83^o 20' O, aproximadamente (28).

Los suelos se han desarrollado de terrazas aluvionales del período plioleistoceno (21). Son terrenos planos a ligeramente ondulados (3% de pendiente), con una elevación de unos 500 metros sobre el nivel del mar. Los suelos son bien drenados y no muestran evidencia de erosión. El material parental es de origen sedimentario y está altamente meteorizado. Según la séptima aproximación (44) los suelos se pueden clasificar como Orthoxic Palehumults, dentro de la familia de Clayey, kaolinitic, isohyperthermic.

El clima es clasificado como tropical húmedo; con precipitaciones pluviales de 2.000 a 4.000 mm anuales y una temperatura media anual superior a 24°C (42).

Los diferentes análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA-CEI), Turrialba, Costa Rica.

Los pasos seguidos durante la investigación se resumen en los siguientes:

3.1 Selección de la muestra para el estudio

Con el objeto de obtener una muestra representativa, para efectuar los diferentes estudios, se procedió a seleccionar cinco puntos en el campo. En cada lugar escogido, se hizo una descrip-

ción del perfil, para observar las posibles variaciones morfológicas que pudieran presentar estos suelos. A continuación se tomaron dos muestras de cada perfil procurando siempre que fueran lo más similares entre sí. El cuadro 6 indica las profundidades de las muestras. Las muestras así obtenidas, fueron sometidas a los análisis de laboratorio para la determinación de:

- a. pH en H_2O y $CaCl_2$ por el método de Peech (34).
- b. Materia orgánica por el método de Saiz del Río y Bornemisza (39), que consiste en pesar 1 gm de suelo seco al aire (tamizado en malla de .125 mm), el cual se coloca en matraz erlenmeyer de 200 ml y se agrega 20 ml de dicromato de potasio IN, y se agita bien. Luego se añade lentamente con agitación constante 20 ml de H_2SO_4 concentrado, y después se agita por 1 minuto más. Se deja en reposo 30 minutos y luego se transfiere a un volumétrico de 250 ml y se enrasa con agua. Se toma una alicuota de 25 ml (de la solución enfriada) y se regresa al erlenmeyer original, se le añade 3 ml de H_3PO_4 y 5 gotas de difenilamina. La solución se titula con la sal de Mohr valorada. El cálculo se hace con la siguiente fórmula:

$$\% M.O = (N \times ml Cr_2O_7K_2 - N \times ml \text{ sal de Mohr} \times 10).67$$

- c. Aluminio extraíble o cambiabile por el método de Mc Lean (27).
- d. Capacidad de intercambio catiónico y bases cambiabiles por el método de Díaz Romeu y F. Balerdi (20). Las bases cambiabiles se obtuvieron al hacer 3 extracciones con 33 ml de acetato de amonio $pH^{7.0}$ a 5 gm de suelo seco al aire; los tres extractos se colectaron en un volumétrico de 100 ml y se aforaron con la

solución extractora. La lectura se hace en el aparato de absorción atómica. La CIC se obtiene lavando primero la muestra de suelo con etanol al 95% y luego haciendo 3 extracciones de 33 ml con NaCl o KCl al 10% pH 2.5, se recoge en un volumétrico de 100 ml y se afora con la solución extractora, luego se toma una alícuota de 10 ml y se coloca en matraz Kjeldahl de 100 ml, se destila por 10 minutos y se recoge en 20 ml de ácido bórico al 2%.

3.2 Estudios físicos en los cinco puntos escogidos

3.2.1 Prueba de infiltración: (7)

Se escogieron en el campo 3 puntos alrededor de cada perfil, en forma más o menos de triángulo equilátero de 10 a 15 metros entre sí. En cada punto se instaló los dos cilindros de 12 y 16 pulgadas respectivamente. A continuación se echó agua entre los dos cilindros y luego en el central y se tomaron lecturas del cilindro central en intervalos de tiempo de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos.

3.2.2 Densidad aparente:

Se siguió la técnica de Blake (8) usando un cilindro de metal de 7 cm de diámetro por 7.5 cm de altura (aproximadamente).

3.2.3 Densidad de partícula:

La determinación se basó en la técnica original de Blake (9) usando el kerosene.

Los datos de densidad aparente y de partícula servirán para calcular el porcentaje de porosidad y aereación del suelo.

3.2.4 Retención de agua:

Para esta determinación se usó la técnica de Forsythe* que es una modificación de la de Richards (37), únicamente se utiliza una muestra no disturbada. Los datos físicos serán relacionados con las informaciones meteorológicas obtenidas, para deducir tentativamente, si el agua o algún otro factor físico, limita o no el desarrollo de los cultivos.

3.3 Estudio de la muestra seleccionada

Se investiga primeramente si los macroelementos son los factores limitantes o no del desarrollo de los cultivos; para este propósito se hicieron algunos análisis químicos, aplicación en invernadero de N, P, K, Ca y Mg, análisis de la muestra incubada y la siembra de un ensayo de invernadero.

Las determinaciones químicas fueron:

3.3.1 Oxidos libres de hierro por el método de E. Bornemisza y K. Igue (12), pero adaptado para el espectro-fotómetro de absorción atómica. Esta modificación consiste en pesar 4 gm de ditionito de sodio y 74 ml de agua destilada. Se agitó por 12 horas, luego se centrifugó y se filtró en balones de 250 ml, se ajustó el pH a 3.5 y después se aforó. La lectura se hizo después en el espectro-fotómetro de ab-

* Forsythe, comunicación personal

sorción atómica.

3.3.2 Nitrógeno total por el método semicro de Kjeldahl de Bremmer (19) modificado por Díaz Romeu en el que a 1 gm de suelo tamizado (.125 mm) se le agrega 1.8 gm de mezcla catalizadora (100 gm de K_2SO_4 , 10 gm de $CuSO_4$ y 1 gm de selenio) en un balon de 100 ml, se agrega 5 ml de H_2SO_4 concentrado y se deja en reposo por 12 horas, luego se digiere por 2 horas, se deja enfriar y se le agrega 30 ml de agua destilada y 12 ml de NaOH 1:1, se destila durante 10 minutos y se recoge el destilado en 20 ml de H_3BO_3 al 2%, se titula con H_2SO_4 .02 N.

3.3.3 Fraccionamiento de fósforo por el método de Chang y Jackson (14).

3.3.4 Mn cambiable se obtiene con las bases en el método de Díaz Romeu y F. Balerdi (20), ya descrito.

Los análisis de la muestra seleccionada incluyen entonces: pH, materia orgánica, aluminio extraíble, o cambiable, CIC, bases cambiables, óxidos libres de hierro, nitrógeno total, fraccionamiento de fósforo y manganeso cambiable.

3.4 Análisis químico de la muestra incubada

Antes de efectuar la siembra del primer ensayo de invernadero, se escogió una muestra de cada tratamiento para someterla a los siguientes análisis de laboratorio: pH, aluminio extraíble o cambiable, CIC, bases cambiables, óxidos libres de hierro, fraccionamiento de fósforo y manganeso cambiable. Todos los análisis fueron hechos con la misma metodología antes mencionada.

3.5 Ensayos de invernadero

Estos ensayos se hicieron en los invernaderos del IICA-CEI, Turrialba, Costa Rica.

Se alcanzan temperaturas máxima de 35°C al medio día y mínima de 15°C a las 5:00 horas am. La humedad relativa varía de 40 a 100%, siendo la mínima al mediodía y la máxima a media noche (29).

Las macetas fueron de latas de 1/4 de galón de aceite de automóvil. Después de quitar la tapa, se limpió con aserrín y se abrieron cinco huecos en el fondo. Luego se pintó por dentro con una pintura asfáltica y afuera con una pintura verde. Una vez listas las macetas se agregó grava lavada y encima la cantidad de suelo pesado que para el primer horizonte fue 805 y para el segundo, 840 gm.

La planta escogida como indicadora, fue el tomate, porque sus síntomas de deficiencia y toxicidad son bien conocidos, además es neutral al foto-periodismo y muy exigente en nutrimentos.

El riego se hizo con agua destilada en la frecuencia necesaria para el desarrollo normal de la planta.

3.5.1 Primer ensayo de invernadero:

Este ensayo fue previamente planeado con el diseño de tratamiento de superficies de respuesta y mediante el diseño de experimento de parcelas irrestrictamente al azar. El diseño de tratamiento permite detectar los efectos principales de cada elemento y las posibles interacciones entre sí. En total existieron 32 tratamientos y las diferentes combinaciones están en el cuadro 2.

Una vez escogidos los 5 niveles de cada elemento, se procedió a la aplicación de Ca y Mg para permitirles un tiempo de incubación adecuado (2 meses). Una semana antes de la siembra se aplicaron los otros elementos, (N, P y K). Cabe mencionar que no se aplicó microelementos. Los niveles, fuentes y fecha de aplicación pueden verse en el cuadro 3.

Antes de la siembra fue necesario mezclar las tres repeticiones de cada tratamiento, con el objeto de obtener una muestra representativa para los diferentes análisis químicos a efectuarse. Después se regresó a cada maceta sus respectivas cantidades de suelo. La siembra se hizo el 9 de enero, 1970 con la variedad de tomate, J. Morán. Cuatro semanas después de la germinación, las plantas no mostraban todavía ninguna respuesta a los tratamientos, por esa razón se escogió los seis últimos tratamientos del diseño y se aplicaron Cu, Fe, Zn, Mo, Mn y B. Se pudo observar que donde no estaba el Cu y el Fe, las plantas presentaban un aspecto un poco mejor.

3.5.2 Segundo ensayo de invernadero:

Los resultados visuales obtenidos del primer ensayo de invernadero revelaron que era necesario efectuar otro ensayo, con mayor énfasis, en la presencia u ausencia de los microelementos. Para tal propósito se escogió el diseño de tratamiento de factorial 2^5 porque permite reducir el número de tratamientos.

Cuadro 2 Diseño de tratamiento de superficies de respuesta

1	$N_1P_1K_1Ca_1Mg_3$	17	$N_0P_2K_2Ca_2Mg_2$
2	$N_2P_1K_1Ca_1Mg_1$	18	$N_4P_2K_2Ca_2Mg_2$
3	$N_1P_3K_1Ca_1Mg_1$	19	$N_2P_0K_2Ca_2Mg_2$
4	$N_3P_3K_1Ca_1Mg_3$	20	$N_2P_4K_2Ca_2Mg_2$
5	$N_1P_1K_3Ca_1Mg_1$	21	$N_2P_2K_0Ca_2Mg_2$
6	$N_3P_1K_3Ca_1Mg_3$	22	$N_2P_2K_4Ca_2Mg_2$
7	$N_1P_3K_3Ca_1Mg_3$	23	$N_2P_2K_2Ca_0Mg_2$
8	$N_3P_3K_3Ca_1Mg_1$	24	$N_2P_2K_2Ca_4Mg_2$
9	$N_1P_1K_1Ca_3Mg_1$	25	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_0$
10	$N_3P_1K_1Ca_3Mg_3$	26	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_4$
11	$N_1P_3K_1Ca_3Mg_3$	27	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_2$
12	$N_3P_3K_1Ca_3Mg_1$	28	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_2$
13	$N_1P_1K_3Ca_3Mg_3$	29	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_2$
14	$N_3P_1K_3Ca_3Mg_1$	30	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_2$
15	$N_1P_3K_3Ca_3Mg_1$	31	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_2$
16	$N_3P_3K_3Ca_3Mg_3$	32	$N_2P_2K_2Ca_2Mg_2$

Cuadro 3 Niveles, Fuentes y Fecha de Aplicación de los diferentes
Nutrimientos del Primer Ensayo de Invernadero

Nutrimento	Niveles de los elementos Kg/ha	Fuente	Fecha
1. Ca	0, 940, 1880, 2820 y 3760	Ca(OH) ₂	Nov. 6, 1969
2. Mg	0, 146, 292, 438 y 584	MgO	Nov. 6, 1969
3. N	14.5 58.0 101.4 144.9 y 188.4	NH ₄ NO ₃	Ener. 6, 1970
4. p	114, 171, 228, 285 y 342	H ₃ PO ₄	Ener. 6, 1970
5. K	0, 27, 81, 135 y 189	K ₂ SO ₄	Ener. 6, 1970

NOTA: 1 hectárea a 15 cm de profundidad pesa 1425000 Kilogramos

Se aplicó una fórmula básica igual de N, P, K, Ca y Mg, a los 32 tratamientos.

Los tratamientos pueden apreciarse en el cuadro 4 y los niveles, así como sus fuentes en el cuadro 5. La siembra de la misma variedad de tomate se efectuó el 17 de marzo, 1970.

La cosecha de este ensayo se realizó a las siete semanas después de la germinación. Los tejidos verdes fueron puestos al horno a 60°C por 36 horas para obtener la materia seca. Luego se tabularon los coeficientes de contraste con los pesos correspondientes de materia seca y se analizaron los datos en la computadora IBM 16-20 de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Cuadro 4 Diseño de tratamientos (Factorial 2⁵) (10)

Tratamiento	S	Zn	Mn	Mo	B	Tratamiento	S	Zn	Mn	Mo	B
1	0	0	0	0	0	17	+	0	0	0	0
2	0	0	0	0	+	18	+	0	0	0	+
3	0	0	0	+	0	19	+	0	0	+	0
4	0	0	0	+	+	20	+	0	0	+	+
5	0	0	+	0	0	21	+	0	+	0	0
6	0	0	+	0	+	22	+	0	+	0	+
7	0	0	+	+	0	23	+	0	+	+	0
8	0	0	+	+	+	24	+	0	+	+	+
9	0	+	0	0	0	25	+	+	0	0	0
10	0	+	0	0	+	26	+	+	0	0	+
11	0	+	0	+	0	27	+	+	0	+	0
12	0	+	0	+	+	28	+	+	0	+	+
13	0	+	+	0	0	29	+	+	+	0	0
14	0	+	+	0	+	30	+	+	+	0	+
15	0	+	+	+	0	31	+	+	+	+	0
16	0	+	+	+	+	32	+	+	+	+	+

NOTA: Los signos + indican presencia del elemento

Cuadro 5 Nutrientes, Niveles, Fuentes y algunos cálculos
para el ensayo de invernadero

Nutrientes	Kg/ha compuesto - elemento -	Por maceta gm compuesto	Por 32 macetas gm	Volumen de mezcla H ₂ O ml	Alícuota/ maceta ml	Fuente	% del elemento
N	414.0	.228	7.3	100	3.2	NH ₄ NO ₃	32
P	828.0	.425	13.6	" 200	6.4	H ₃ PO ₃	37.7
K	414.0	.153	4.9	100	3.2	KCl	52
Ca	828.0	.4	12.8	200	6.4	CaCO ₃	40
Mg	414.0	.276	8.83	200	6.4	MgCO ₃	29
S	207.0	.17	5.6	100	3.2	Na ₂ SO ₄	23
Zn	82.8	.033	1.04	100	3.2	ZnCl ₂	48
Mn	82.8	.057	1.82	100	3.2	MnCl ₂ ·4H ₂ O	28
Mo	20.7	.01	.32	100	3.2	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	40
B	20.7	.03	.96	100	3.2	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	12

NOTA: El peso del suelo por maceta fue 840 gm (7% de humedad) equivalente a 785 gm seco al horno

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Selección de la muestra

Para la selección de la muestra representativa de trabajo se presentan los resultados de la descripción del perfil y de los análisis químicos realizados en los cinco puntos escogidos en el campo.

4.1.1 Descripción de perfil se pudo observar en el campo que los cinco perfiles descritos presentaron semejanza morfológica entre sí. Los datos de la descripción detallada de campo de los perfiles están en los cuadros S1 a S5 del apéndice.

4.1.1.1 La textura determinada al tacto en el campo de todos los horizontes de los cinco perfiles resultó arcillosa.

4.1.1.2 El color fue determinado en húmedo con la tabla de colores de Munsell (32). La coloración de los horizontes superficiales tuvieron los siguientes valores:

5YR para el perfil #3; 7YR para el #1, #2 y #5; 10YR para el #4. Los demás horizontes de los cinco perfiles presentaron coloraciones de 2.5YR, salvo el caso de B₂₂ del perfil#4 que presentó una mezcla de 4 colores en la siguiente proporción: 40% de 5YR4/8; 35% de 2.5YR4/6; 15% de 2.5YR; 10% de 10YR5/6-8.

Las variaciones de color antes mencionadas se deben probablemente a los distintos materiales orgánicos

presentes. La mezcla de colores del perfil #4 quizá podría atribuirse a la presencia de diferentes tipos de gravas que fueron completamente meteorizadas.

4.1.1.3 La estructura de los horizontes de los cinco perfiles está generalmente dentro del ámbito de bloques subangulares muy finos, hacia el estado granular muy fino al deshacerse.

4.1.1.4 La consistencia en húmedo y mojado es muy similar para todos los horizontes de los cinco perfiles.

4.1.1.5 Las cantidades de raíces y porosidad observados presentan bastante semejanza entre los horizontes de los perfiles.

Las condiciones morfológicas antes descritas, testimonian la homogeneidad morfológica de los cinco perfiles estudiados. Queda entonces, determinar químicamente algunas propiedades del suelo para así escoger la muestra de trabajo que represente mejor el área de estudio.

4.1.2 Análisis químico:

El cuadro 6 señala la profundidad y el espesor de cada muestra y cuadro 7 presenta los datos de las determinaciones químicas obtenidas.

Si se observa el cuadro 7 se puede deducir que el segundo horizonte de cada perfil presentó homogeneidad química. No obstante, el primer horizonte en varias ocasiones presentó algunas variaciones quizá debido al estado actual de manejo

del suelo, los perfiles #2 y #3 eran suelos ya cultivados, mientras los perfiles #1, #4 y #5 pertenecen a áreas con vegetación de sabana.

Los perfiles que mostraron mayor similitud química son los siguientes:

- a. pH similar para los perfiles #1, #2 y #4
- b. Aluminio cambiante para los perfiles #3, #4 y #5
- c. Materia orgánica para los perfiles #1, #2, #3 y #4
- d. Complejo de adsorción para los perfiles #1, #2, #3 y #4.

Tomando en cuenta las propiedades morfológicas antes discutidas y las propiedades químicas analizadas, se decidió escoger el perfil #4 como muestra representativa de trabajo.

4.2 Estudio climático y de algunas propiedades físicas del suelo

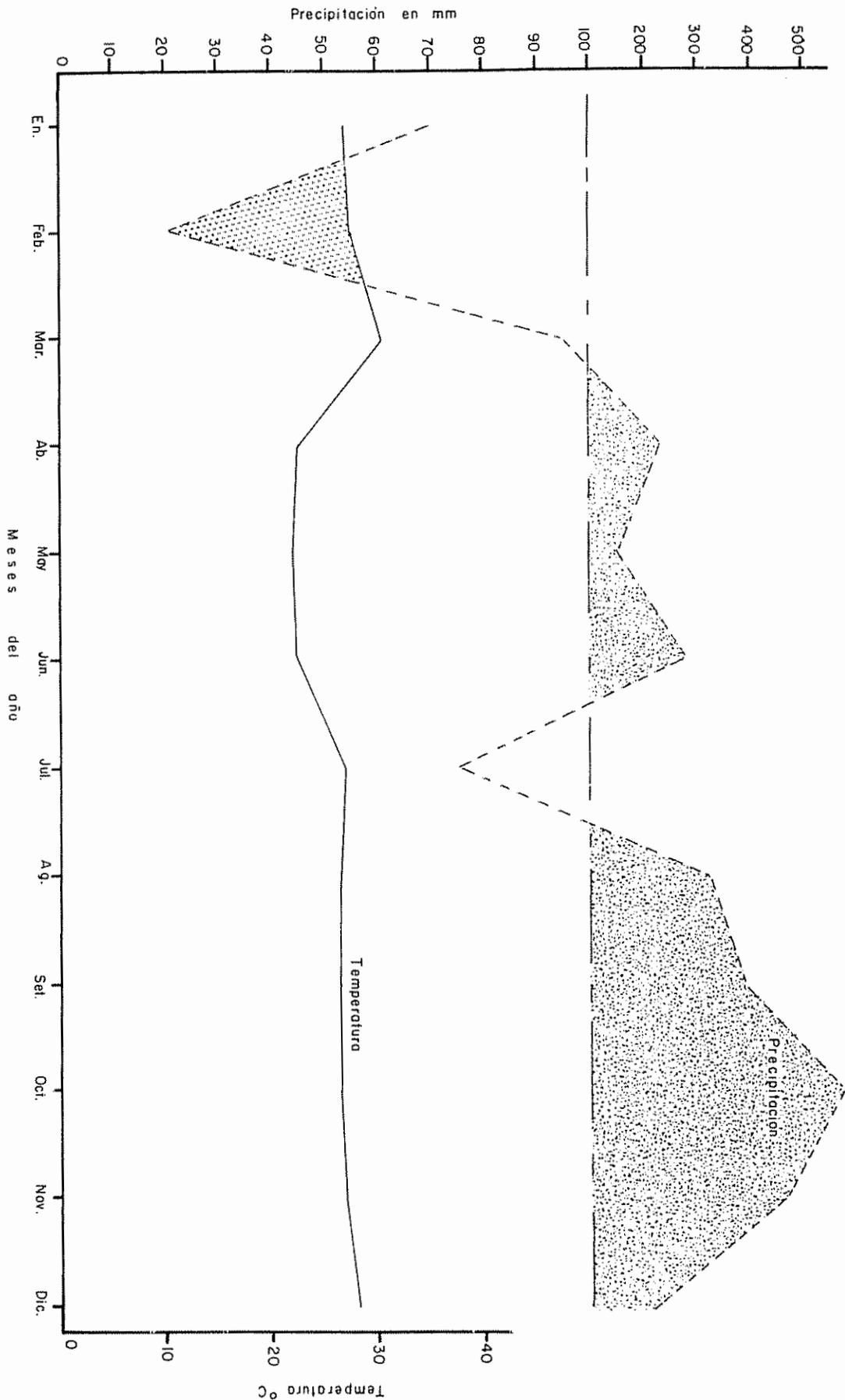
4.2.1 Estudio climático:

El presente estudio tiene por finalidad determinar si las condiciones climáticas limitan o no el desarrollo de los cultivos. Con tal propósito se hicieron dos estudios, uno general y otro detallado.

4.2.1.1 Estudio general:

El objetivo consiste en comparar el clima-diagrama de la zona con los de otras zonas similares y observar la presencia de cultivos.

El clima-diagrama se elaboró de acuerdo con el principio de Gaussen (24) y la técnica de representación de Walter y Lieth (46), que consiste en graficar la temperatura y precipitación mensual del año



Cuadro 6 Profundidad y espesor de las muestras

No. de perfil	Muestras *	Espesor (cm)	Profundidad (cm)
1	1	7	0-13
	2	20	33-75
2	3	7	0-9
	4	20	40-65
3	5	6	0-8
	6	20	25-50
4	7	8	0-10
	8	20	50-95
5	9	7	0-9
	10	20	35-65

* Número impar representa el primer horizonte y número par el segundo horizonte

Cuadro 7 Resultados preliminares del análisis de laboratorio

Muestras	pH		Aluminio extraíble	M.O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Saturación de bases
	H ₂ O	CaCl ₂	me/100 gm Suelo	%	me/100 gm Suelo	me/100 gm Suelo				%
1	4.9	4.4	5.05	10.6	23.0	.15	.08	.15	.12	2.17
2	5.4	5.0	1.85	2.4	14.5	.05	.04	.03	.13	1.72
3	4.9	4.5	2.77	9.9	20.0	.06	.05	.08	.10	1.45
4	5.4	4.8	2.33	2.8	10.2	.06	.05	.04	.16	3.02
5	5.4	4.4	3.83	8.5	17.0	.01	.04	.05	.10	1.17
6	5.0	4.4	2.24	3.4	14.0	.21	.08	.11	.12	3.70
7	4.9	4.7	3.94	10.2	14.0	.09	.06	.05	.15	2.50
8	5.4	5.0	1.80	2.4	10.5	.03	.04	.01	.12	2.85
9	5.4	4.9	3.71	19.3	38.0	2.9	.01	.29	.12	8.72
10	5.2	5.2	1.91	2.4	10.5	.05	.04	.09	.16	3.22

Los datos en miliequivalente y porcentaje de materia orgánica son para 100 gm de suelo seco al horno.

Cuadro 8 Balance hídrico de Buenos Aires *

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre.	Diciembre
Precipitación	70.8	28.5	94.2	229.9	151.1	284.8	75.9	323.7	385.0	575.7	464.2	214.6
Biotemperatura	24.6	24.9	25.5	22.1	22.0	22.5	25.2	25.0	24.7	24.7	24.7	24.8
Evapotranspiración potencial	110.0	110.0	113.8	97.0	97.0	98.0	110.2	108.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Exceso de agua	---	---	---	132.9	54.1	186.8	---	215.7	285.0	475.7	364.2	114.6
Déficit	29.2	81.5	19.6	---	---	---	34.3	---	---	---	---	---
Almacenamiento al final del mes	---	---	---	27.4	27.4	27.4	---	27.4	27.4	27.4	27.4	27.4
Evapotranspiración actual	98.2	28.5	94.2	97.0	97.0	98.0	103.3	108.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Almacenamiento al final del mes	26.8	---	---	56.0	56.0	56.0	21.7	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
Evapotranspiración actual	110.0	55.3	94.2	97.0	97.0	98.0	110.2	108.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Almacenamiento al final del mes	57.6	---	---	---	86.8	86.8	52.5	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8
Evapotranspiración actual	110.0	86.1	94.2	97.0	97.0	98.0	110.2	108.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* El balance hídrico es para el año 1969 (son datos calculados)

NOTA: Los cálculos están en B.1 del apéndice

(Fig. 1).

Los resultados indican que existe un mes ecológicamente seco. Al comparar el clima-diagrama resultó ser del tipo II(1) 1, parecido a Parrita y San Carlos (Costa Rica) donde actualmente se desarrollan bien los cultivos.

4.2.1.2 Estudio detallado:

Consiste en un balance hídrico (1) calculado para las profundidades de suelo de 30, 60 y 100 cm con datos meteorológicos obtenidos de un año (estación meteorológica reciente) y valores de humedad volumétrica del suelo entre .33 y 15 bars de succión.

Los resultados (cuadro 8) indican que para 30 cm de profundidad de suelo existen cuatro meses de déficit de agua, mientras que para profundidades de 60 y 100 cm sólo hay dos meses.

El gráfico 2 representa los datos mensuales de evapotranspiración potencial vs evapotranspiración actual para profundidades de suelo de 30, 60 y 100 cm. El mes de febrero resultó ser más seco que otros aunque en enero y marzo existen también déficit de agua. La intensidad del déficit indudablemente dependerá del cultivo y la profundidad de su sistema radicular.

Los otros meses tienen suficiente agua en el sue-

lo para permitir el desarrollo de los cultivos, por lo tanto, el clima no es el factor principal responsable de la improductividad de los suelos de Buenos Aires.

4.2.2 Estudios físicos:

En el cuadro 9 están los datos de densidad aparente, densidad de partícula y los cálculos de porosidad y aereación para los dos horizontes de los cinco perfiles descritos.

4.2.2.1 Densidad aparente:

Los valores obtenidos para el primer horizonte de cada perfil son bastante similares entre sí. Los obtenidos para el segundo horizonte en cada caso mostraron asimismo similitud entre sí.

Los horizontes superficiales presentaron menor densidad aparente, lo cual se explica en parte por su mayor contenido de materia orgánica y al estado de porosidad dejado por las raíces.

4.2.2.2 Densidad de partícula:

Los horizontes superficiales de los 5 perfiles tuvieron valores de mayor variación entre sí que los segundos horizontes. Una evaluación cuantitativa señala una desviación típica de .12 para los horizontes superficiales y .04 para los segundos horizontes.

4.2.2.3 Porosidad y aereación:

Los valores obtenidos de porosidad y aerea-

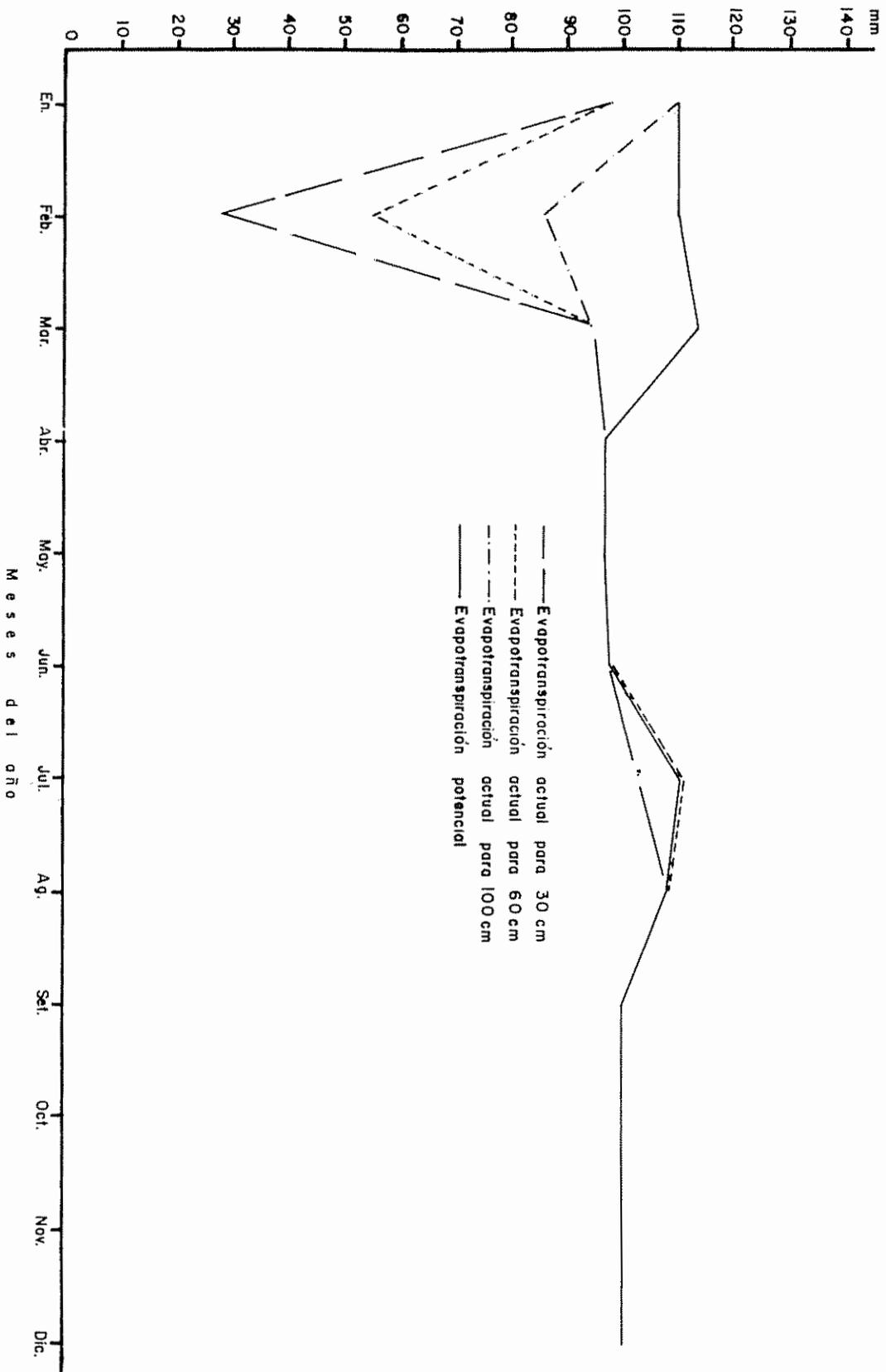


Fig. 2 Evapotranspiración potencial vs. evapotranspiración actual

Cuadro 9 Datos de densidad aparente y densidad de partículas del primer y segundo horizonte de Buenos Aires

Perfil	Muestra *	% de humedad gravimétrico	Densidad aparente	Densidad de partícula	Porosidad %	Espacio Aéreo %
1	1	48.8	.95	2.5	62.0	14.7
	2	41.2	1.24	2.6	52.0	10.0
2	3	52.0	.90	2.5	64.0	18.0
	4	40.5	1.21	2.7	55.0	6.0
3	5	40.0	.98	2.5	61.0	22.0
	6	37.4	1.30	2.6	50.0	1.4
4	7	47.4	.97	2.5	61.2	15.2
	8	---	1.20	2.6	54.0	---
5	9	50.8	.95	2.2	57.0	16.0
	10	36.8	1.30	2.6	50.0	2.0

* Números impares significan el horizonte superficial y números pares segundo horizonte

$$E = \text{porosidad} = \left[\frac{(\rho_p - \rho_a)}{\rho_p} \right] \times 100$$

$$E_a = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} - \frac{H \rho_a}{100 \rho_{\text{agua}}} \right) \times 100$$

ρ_a = densidad aparente gm/cc

ρ_p = densidad de partícula gm/cc

E = porosidad

E_a = espacio aéreo

H = humedad

ρ_{agua} = densidad del agua

Cuadro 10 Retención de humedad

(Expresado en por-ciento de humedad volumétrica)

Perfil	Muestra*	TENSION EN BARS							
		.01	.05	.33	.5	1	2	5	15
1	A	55.0	53.4	50.1	49.3	48.0	45.1	43.0	38.0
	B	46.1	45.7	45.6	44.8	43.7	42.8	41.2	39.8
2	A	61.4	60.9	58.0	55.0	53.0	51.5	50.0	45.7
	B	45.9	45.3	44.2	43.9	42.9	42.3	41.2	38.0
3	A	52.0	51.3	50.1	49.2	47.3	46.2	42.3	38.0
	B	42.5	41.3	40.5	38.9	38.2	37.4	36.7	33.5
4	A	61.0	59.0	58.0	52.1	55.0	53.0	49.2	45.3
	B	49.0	48.1	47.7	47.1	46.3	45.1	44.0	41.5
5	A	67.0	63.0	61.0	58.1	55.7	51.2	48.0	45.0
	B	47.3	45.9	45.2	43.8	42.6	42.0	41.5	37.1

* Muestra A equivale al primer horizonte, B al segundo estudiado.

ción (%) a partir de los datos anteriores son similares a los mencionados por Bear (5) y Russell (38) de suelos productivos.

4.2.2.4 Retención de agua:

El cuadro 10 contiene los resultados expresados en porcentaje de humedad volumétrico del suelo para las tensiones .01, .05, .33, .5, 1, 2, 5 y 15 bars.

La cantidad de agua disponible (entre .33 y 15 bars para los horizontes superficiales de los 5 perfiles fue de 15.95% de humedad volumétrica (determinada por regresión), para los segundos horizontes 6.53%. Los gráficos M1 y M2 del apéndice señalan los resultados. La cantidad de agua disponible es moderada por lo tanto no limita el crecimiento de los cultivos.

4.2.2.5 Prueba de infiltración:

Los valores obtenidos (correspondientes a caperfil) señalan que no todos presentaron igual capacidad y ritmo de infiltración (cuadro 11 y 12). Esta variación de los resultados se atribuye a las distintas fechas de lectura y al estado actual de manejo del suelo (punto 2 y 3 son suelos que han sido arados, los otros no).

Baver (4) respalda los datos que indican que la capacidad de infiltración es una propiedad di-

Cuadro 11 Lecturas acumulativas de las pruebas de infiltración

Perfil	Cilindros	Tiempo en minutos					y Lecturas en cms							
		1	2	3	4	5	10	20	30	45	60	90	120	
1	A	.3	.5	.6	.9	1.3	1.6	2.4	3.3	4.7	5.9	7.1	9.1	
	B	.1	.5	.6	.8	1.0	1.8	2.9	4.1	5.4	6.4	8.4	10.0	
	C	0	.3	.5	.7	.9	1.5	2.4	3.3	4.8	6.0	7.9	9.9	
2	A	.6	1.3	1.6	2.0	2.2	2.7	5.4	7.5	9.7	11.9	14.7	17.5	
	B	1.5	2.7	3.5	4.5	5.4	9.5	13.3	17.0	21.5	31.1	37.2	51.7	
	C	2	3.2	5.1	7.2	8.2	9.2	12.0	20.0	34.8	46.6	70.6	114.6	
3	A	.5	1.0	1.5	1.9	2.3	3.7	7.5	10.1	14.0	17.5	21.6	27.4	
	B	1.3	1.7	2.4	2.6	3.2	4.7	7.5	9.7	11.7	13.6	21.6	25.4	
	C	1.1	2.4	3.2	4.0	4.6	7.7	12.6	17.3	22.2	27.3	39.4	46.4	
4	A	.2	.6	.6	.6	.6	1.2	1.8	2.3	2.8	--	--	--	
	B	.1	.2	.2	.2	.2	.2	.2	.4	.5	--	--	--	
	C	.2	.4	.4	.7	.7	1.2	1.2	1.7	2.2	--	--	--	
5	A	.6	1.1	1.2	1.8	2.3	4.5	10.0	12.2	15.2	19.2	25.6	30.8	
	B	0	0	.1	.1	.2	.6	1.5	2.0	2.7	3.5	4.7	6.2	
	C	.6	.8	1.0	1.3	1.4	2.4	4.2	5.9	8.0	9.6	12.9	17.4	

Cuadro 12

Ritmo de infiltración (cm/hora)

Perfil	Cilindros	1	2	3	4	5	10	20	30	45	60	90	120
1	A	18	12	6	18	24	3.6	4.8	5.4	5.6	4.8	2.4	4
	B	6	24	6	12	12	9.6	6.6	7.2	5.2	4.0	4.0	3.2
	C	0	18	12	12	12	7.2	5.4	5.4	6.0	4.8	3.8	4.0
2	A	36	24	36	34	12	6.0	16.2	12.6	8.8	8.8	5.6	5.6
	B	90	72	48	60	54	49.2	28.8	22.2	18.0	38.4	13.2	29.0
	C	120	72	114	126	60	12.0	16.8	48.0	59.2	47.2	60	88.0
3	A	30	30	30	24	24	16.8	28.8	15.6	15.6	14.0	8.2	11.0
	B	78	24	42	12	36	18.0	16.8	13.2	8.0	7.6	16.0	7.6
	C	66	78	48	48	36	37.2	29.4	28.2	19.6	20.4	24.2	14.2
4	A	12	24	0	0	0	7.2	3.6	3.0	1.2	--	--	--
	B	6	6	0	0	0	0	0	1.2	.4	--	--	--
	C	12	12	0	18	0	6.0	0	3.0	2.0	--	--	--
5	A	36	30	6	36	30	16.4	33	13.2	12	16.0	12.8	10.6
	B	0	0	6	0	6	4.8	5.4	3.0	2.8	3.2	2.4	3.0
	C	36	12	12	18	6	12.0	10.8	10.2	8.4	6.4	6.6	9.0

námica del suelo que varía con la estación, manejo e inclusive con la humedad.

Los puntos 2 y 3 (suelos arados) no presentaron estabilidad hasta los 120 minutos.

Los 3 cilindros del punto 1 se estabilizaron a los 90, 60 y 60 minutos con 2.4, 4.0 y 4.8 cm/hora.

Los cilindros del punto 4 se estabilizaron a los 30 minutos con valores de 3.0, 1.2 y 3.0 cm/hora.

En el punto 5 sólo llegaron a estabilizarse 2 cilindros a los 60 minutos con valores de 3.2 y 6.4 cm/hora.

Los datos obtenidos señalan, una rata de infiltración rápida, por lo tanto no existen problemas de estancamiento o mal drenaje que pueden limitar el crecimiento de los cultivos.

La variación de los datos y su curva determinados por regresión pueden apreciarse en los gráficos J1a y J5.

4.3 Análisis químico

Mediante el análisis químico se pretende conocer las propiedades químicas del suelo y observar los posibles cambios causados por la aplicación de los tratamientos de Ca, Mg, K, P y N en sus cinco niveles antes mencionados (cuadro 3).

Los cuadros 13 a 15, contienen los datos obtenidos de los

pH promedio obtenido con las aplicaciones de diferentes dosis de Ca

Cuadro 13

Niveles de Ca aplicado me/100 gm de suelo secado al horno para el primer y segundo horizontes	pH(promedio) obtenido			
	1er. horizonte		2º horizonte	
	H ₂ O	CaCl ₂	H ₂ O	CaCl ₂
0	4.9	4.7	5.4	5.0
3.3	5.6	5.6	6.8	6.7
6.6	6.0	5.8	7.1	7.2
9.9	6.3	6.3	7.3	7.4
13.2	6.6	6.5	7.5	7.6

pH, Complejo de adsorción, aluminio cambiabile y oxidos
libres de hierro para el primer horizonte

- 47 -

Cuadro 14

Tratamientos	pH		Miliequivalentes por 100gm de suelo seco al horno a 105°C						Porcentaje	
	H ₂ O	CaCl ₂	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio CIC	% Saturación	Aluminio extraíble	Hierro libre	
1	6.1	5.9	3.4	5.1	.20	.16	19.5	44.5	1.8	2.5
2	5.3	5.3	3.4	1.7	.17	.18	19.5	27.4	2.2	2.6
3	5.5	5.4	3.4	1.7	.20	.21	20.7	26.5	2.2	2.5
4	5.7	5.7	3.4	5.1	.18	.18	19.4	45.5	2.2	2.6
5	5.4	5.4	3.4	1.7	.32	.15	19.2	29.0	2.2	2.5
6	5.8	5.7	3.4	5.3	.32	.14	19.5	46.0	2.1	2.6
7	5.8	5.7	3.4	5.1	.32	.15	19.4	46.0	2.1	2.5
8	5.3	5.2	3.4	1.7	.28	.15	19.4	28.5	1.7	2.5
9	6.3	6.2	7.9	1.5	.20	.22	20.0	49.0	1.7	2.6
10	6.4	6.3	8.1	4.2	.20	.13	20.0	63.0	2.2	2.5
11	6.5	6.5	7.5	4.2	.20	.18	19.5	61.5	2.0	2.5
12	6.2	6.1	7.6	1.5	.20	.14	21.0	45.5	1.9	2.5
13	6.6	6.5	7.6	3.9	.34	.15	19.5	60.5	1.5	2.5
14	6.0	6.0	7.6	1.5	.28	.18	21.0	45.0	1.8	2.5
15	6.2	6.2	8.0	1.7	.32	.16	20.0	50.5	2.0	2.5
16	6.4	6.4	7.9	3.3	.37	.16	20.0	58.5	1.9	2.5
17	6.2	6.1	5.3	3.3	.26	.16	19.4	46.3	1.7	2.5
18	5.9	5.9	5.3	3.3	.26	.16	20.7	43.2	2.0	2.5
19	6.2	6.1	5.1	3.1	.27	.16	20.5	41.5	1.9	2.5
20	5.8	5.8	5.3	3.3	.24	.21	20.0	45.0	2.0	2.5
21	5.9	5.8	5.2	3.2	.11	.21	21.0	41.0	1.9	2.5
22	5.9	5.8	5.3	3.5	.37	.18	21.0	44.0	1.9	2.5
23	5.2	5.0	6.4	2.5	.26	.21	20.6	17.4	2.2	2.6
24	6.6	6.5	9.4	3.3	.26	.19	22.0	60.0	2.2	2.5
25	5.6	5.4	5.3	2.0	.24	.13	20.0	29.5	2.2	2.5
26	6.4	6.2	5.3	6.0	.26	.13	20.0	59.2	2.0	2.6
27	6.0	5.8	5.3	3.3	.24	.13	21.0	42.5	2.0	2.6
28	6.0	5.8	5.3	3.1	.26	.16	20.0	38.8	1.9	2.5
29	6.0	5.8	5.2	3.7	.25	.13	18.0	51.3	2.0	2.5
30	6.1	5.9	5.2	2.9	.25	.13	20.0	43.0	1.9	2.6
31	6.0	5.8	5.3	3.0	.27	.13	16.0	54.0	2.2	2.6
32	5.9	5.8	5.3	3.0	.27	.14	18.0	48.5	2.2	2.6
1er. horizonte sin tratam.	4.9	4.7	.09	.06	.05	.15	14.0	2.5	3.94	2.93

diferentes análisis realizados del primer y segundo horizonte escogidos del perfil representativo del trabajo. Las determinaciones fueron las siguientes:

4.3.1 pH (suelo):

El pH original del primer horizonte era 4.9 en agua y 4.7 en CaCl_2 .01M. Las diferentes dosis de calcio aplicadas en forma de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aumentaron el pH original (cuadro 13). El efecto de la dosis y el incremento de pH obtenido tiene una tendencia lineal, por esa razón se pensó que sería conveniente someter los datos a la ecuación de regresión con la finalidad de expresar cuantitativamente esos incrementos.

Usando la ecuación $\text{pH} = b_0 + b_1 \text{ca}$ se pudo determinar el coeficiente b_1 y se llegó a la siguiente conclusión: que por cada miliequivalente de Ca aplicado, el pH aumenta .12.

Segundo horizonte: el pH original fue 5.4 en H_2O y 5.0 en CaCl_2 . Aunque se usaron las mismas dosis se obtuvieron $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ más altos (cuadro 13). El cálculo cuantitativo dió un incremento de .148 en el pH original por cada miliequivalente de Ca aplicado.

Los resultados obtenidos indican que cuando se aplican las mismas dosis de Ca, el primer horizonte ofrece mayor oposición o amortiguación al incremento de pH que el segundo horizonte. Se cree que el efecto exhibido por el primer horizonte se debe a su mayor contenido de materia orgánica y a los óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro.

4.3.2 Complejo de adsorción:

La CIC del primer horizonte aumentó de 14 me a valores de 18 a 21 me/100 gm de suelo seco al horno (105°C), mientras los valores de CIC para el segundo horizonte permanecieron prácticamente lo mismo.

Aunque el encalado aumentó la CIC del primero y segundo horizontes del suelo, sus valores no muestran incrementos progresivos con las dosis ascendentes de Ca aplicado, ni con el pH obtenido en cada caso.

El porcentaje de saturación de bases aumentó para el primer y segundo horizonte. El primer horizonte con valor original de 2.5% resultó después de los tratamientos con valores de 16 a 21%, mientras que el segundo horizonte cuyo valor original era de 2.06%, logró en muchos casos exhibir valores mayores de 100%. Los valores de 100% o más, se deben al exceso de calcio que había, lo cual no fue eliminado al hacer los análisis químicos correspondientes.

4.3.3 Aluminio cambiabile:

El encalado afectó la cantidad de aluminio cambiabile del primer horizonte en forma descendente. El valor original de 3.94 me fue reducido a valores de 1.4 a 2.1 me/100 gm de suelo secado al horno (105°C). El segundo horizonte en cambio, no presentó mucha variación en su contenido original de aluminio.

4.3.4 Hierro libre:

La cantidad de hierro libre del primer horizonte dis-

Cuadro 15 pH, complejo de adsorción, aluminio cambiabile y óxidos libres de hierro para el segundo horizonte

Tratamiento	pH		Miliequivalentes por 100 gm de suelo seco al horno a 105°C						%Saturación	Al extraí- ble	Fe libre
	H ₂ O	CaCl ₂ .01M	Ca	Mg	K	Na	CIC				
1	7.1	7.1	2.7	4.1	.13	.17	12.4	58.0	19.50	4.5	
2	6.6	6.5	3.2	1.4	.13	.14	13.2	37.0	1.81	4.0	
3	6.8	6.7	2.7	1.4	.14	.11	11.4	38.0	1.80	4.0	
4	6.7	6.7	2.5	4.1	.17	.13	11.2	61.5	1.80	4.0	
5	6.6	6.6	2.7	1.4	.25	.14	11.4	39.0	1.88	3.7	
6	6.8	6.7	3.7	4.8	.25	.17	10.6	84.0	1.94	3.6	
7	7.0	7.0	3.2	5.0	.25	.14	11.2	76.5	2.10	3.6	
8	6.5	6.4	3.2	1.6	.25	.30	10.6	50.0	1.76	3.6	
9	7.4	7.3	9.0	1.7	.16	.17	10.3	110.0	2.06	3.6	
10	7.3	7.4	8.8	4.6	.10	.14	12.4	110.0	2.14	4.0	
11	7.6	7.6	8.9	5.4	.10	.14	9.8	148.0	2.38	3.7	
12	7.1	7.2	7.4	1.4	.09	.18	10.2	89.0	1.91	4.5	
13	7.5	7.5	6.4	4.1	.25	.17	10.3	102.0	1.90	4.5	
14	7.2	7.2	8.0	1.6	.25	.18	10.6	98.0	2.06	4.1	
15	7.5	7.5	8.0	1.4	.28	.15	13.5	72.5	2.00	4.5	
16	7.2	7.2	7.5	3.6	.24	.13	10.9	106.0	2.14	4.7	
17	7.5	7.5	5.6	2.8	.21	.09	10.7	81.2	1.90	4.1	
18	6.7	6.9	5.0	3.2	.19	.08	10.0	84.7	1.98	4.1	
19	7.1	7.3	5.9	3.2	.20	.11	10.9	86.3	2.04	4.5	
20	7.3	7.3	5.6	3.2	.19	.14	11.0	82.0	1.94	4.5	
21	7.0	7.1	5.6	2.8	.03	.24	10.7	81.0	2.05	4.1	
22	7.2	7.2	6.1	2.0	.35	.15	10.2	84.0	1.88	4.0	
23	6.2	6.1	1.2	1.6	.17	.23	11.2	28.6	1.88	4.0	
24	7.5	7.6	8.8	3.8	.21	.41	11.6	114.0	2.18	4.0	
25	6.7	6.8	4.9	.2	.19	.22	11.0	46.0	1.88	4.1	
26	7.5	7.4	6.1	6.2	.19	.21	11.2	122.0	2.06	4.1	
27	7.2	7.1	5.6	2.8	.19	.17	11.4	76.7	1.86	4.0	
28	7.2	7.2	5.0	3.7	.24	.88	10.6	92.8	1.94	4.0	
29	7.0	7.0	4.2	2.3	.19	.28	9.5	150.0	1.95	4.0	
30	7.4	7.4	6.6	3.8	.17	.28	11.6	94.0	2.06	4.0	
31	7.2	7.2	4.9	2.6	.14	.24	11.4	69.0	1.40	3.4	
32	7.2	7.2	5.0	2.8	.17	.21	13.7	59.5	1.72	3.6	
2do. horizon- te sin tratam.	5.4	5.0	.03	.04	.03	.12	10.5	2.06	1.8	5.13	

minuyó con los tratamientos aplicados. El valor original de 2.93% fue reducido hasta 2.5 y 2.6%. Esta disminución no muestra ninguna correlación con los tratamientos y dosis aplicados. Los resultados del segundo también mostró descenso de su porcentaje original (de 5.13 a 3.4 a 4.5%).

4.3.5 Fraccionamiento de fósforo: (cuadro 16)

Primer horizonte: Los datos indican que las muestras tratadas disminuyeron en su contenido de fosfatos de aluminio y en los solubles en agua, no obstante, tuvieron un aumento en los fosfatos de Ca y Fe.

Segundo horizonte: En este horizonte se encontraron también menos cantidades de fosfatos solubles en agua, de Al y de Ca, sin embargo, su contenido en fosfatos de hierro aumentó.

Se observa también que en el primer horizonte se obtuvo más fosfatos de Fe, cuando el fósforo fue aplicado en sus dosis más altas. Las otras dosis de fósforo aplicado no muestran ninguna correlación con la cantidad de fosfato de Fe obtenido.

Los resultados obtenidos de fosfatos solubles en reductantes no están de acuerdo con los obtenidos por Chang y Jackson (14). Estos autores han demostrado que el contenido de los fosfatos solubles en reductantes, no se altera con el encalado. No obstante, en los suelos del presente experimento, se obtuvieron valores hasta de 10 veces

Cuadro 16

Fraccionamiento de fósforo del primer y segundohorizonte

Tratamientos	ppm de fosfatos					
	Primer horizonte			Segundo horizonte		
	Al	Fe	Ca	Al	Fe	Ca
1	30	25	40	15	30	12.5
2	35	25	47	20	30	12.5
3	40	25	50	15	35	12.5
4	35	40	50	20	40	12.5
5	25	25	57	15	35	12.5
6	25	35	62	15	40	12.5
7	35	40	45	15	35	17.5
8	35	40	70	10	30	7.5
9	25	40	77	10	35	7.5
10	20	35	52	10	40	12.5
11	25	50	57	15	40	6.2
12	35	45	70	20	40	10.0
13	20	45	52	15	30	12.5
14	35	35	57	10	30	7.5
15	25	90	82	10	40	17.5
16	25	90	72	20	35	12.5
17	25	45	85	10	30	17.5
18	25	40	52	20	35	17.5
19	20	35	90	20	40	17.5
20	25	100	106	15	30	10.0
21	25	45	72	10	35	3.7
22	25	40	62	10	30	12.5
23	25	50	47	15	35	12.5
24	35	45	72	20	30	12.5
25	25	40	45	20	50	25.0
26	25	40	70	15	40	12.5
27	25	50	70	15	40	12.5
28	35	50	52	20	40	10.0
29	25	45	92	15	35	12.5
30	25	35	87	10	40	10.0
31	25	40	82	10	35	12.5
32	20	45	100	15	35	12.5
sin tratamien- to	65	25	24	22	52	22

Los fosfatos solubles en H₂O para el primer y segundo horizonte sin tratamiento fue 4.0 y 3.0 ppm respectivamente. Todos los suelos tratados presentaron trazas de fosfatos solubles en agua.

mayores en contenido. En muchos casos el contenido de fosfatos ocluidos fue menor.

4.4 Ensayos de invernadero

4.4.1 Primer ensayo de invernadero:

No se cosechó el primer ensayo de invernadero porque las plantas no mostraron ninguna respuesta a los tratamientos aplicados (no se desarrollaron), de lo cual se deduce que los macroelementos no están limitando drásticamente el desarrollo de los cultivos.

4.4.2 Segundo ensayo de invernadero:

Las observaciones visuales que se hicieron durante el crecimiento de las plantas, indicaron claramente, el efecto limitante por la ausencia de B. Los otros elementos no llegaron a expresar tal evidencia visual. Los pesos obtenidos de materia seca para cada tratamiento están en el cuadro 17.

El análisis estadístico de los datos reveló una diferencia altamente significativa entre los diversos tratamientos (cuadro 18).

Los efectos principales determinados por el análisis de variación mostró que el B produjo un efecto positivo altamente significativo. Asimismo el efecto particular de este elemento fue dramáticamente manifiesta comparado con los otros elementos aplicados. La presencia de Zn exhibió un efecto positivo estadísticamente significativa (cuadro 19).

Los efectos de los demás elementos (Mn, Mo y S) aplicados,

Cuadro 17 Pesos de materia seca de la planta de tomate
por efecto de los tratamientos

Tratamientos *	Rendimientos (gm)	Tratamientos	Rendimientos (gm)
1) Testigo **	1.15	17) S	1.15
2) B	2.10	18) S, B	2.27
3) Mo	.82	19) S, Mo	.90
4) Mo, B	2.02	20) S, Mo, B	1.72
5) Mn	.90	21) S, Mn	.90
6) Mn, B	2.31	22) S, Mn, B	1.42
7) Mn, Mo	.48	23) S, Mn, Mo	1.6 ⁰
8) Mn, Mo, B	2.58	24) S, Mn, Mo, B	1.95
9) Zn	.68	25) S, Zn	.9 ⁰
10) Zn, B	2.38	26) S, Zn, B	2.00
11) Zn, Mo	2.11	27) S, Zn, Mo	1.20
12) Zn, Mo, B	2.43	28) S, Zn, Mo, B	2.25
13) Zn, Mn	1.30	29) S, Zn, Mn	1.20
14) Zn, Mn, B	2.03	30) S, Zn, Mn, B	3.00
15) Zn, Mn, Mo	.77	31) S, Zn, Mn, Mo	2.75
16) Zn, Mn, Mo, B	2.27	32) S, Zn, Mn, Mo, B	2.90

* Todos los tratamientos tuvieron una aplicación base de N, P, K, Ca y Mg

** Sólo con tratamiento base

no fueron significativos. Por otra parte, un análisis de los efectos conjuntos de todos los elementos, no reveló la existencia de interacción de factores.

Cuadro 18 Análisis de variancia del efecto de los tratamientos,
expresados en términos de materia seca

Fuente	gl	Sc	CM	F
Debido a Regresión	5	10.482905	2.096581	9.703878 **
Desviación de Regresión	26	5.617456	.216056	
Total	31			

Cuadro 19 Prueba de significancia de los coeficientes de regresión
parcial correspondiente a cada uno de los factores

Fuente	gl	Coefficientes	F
S	1	.055625	.458273
Zn	1	.184375	5.034867*
Mn	1	.071250	.751889
Mo	1	.095625	1.354337
B	1	.525625	40.920033**

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se deduce que:

1. los suelos estudiados en el invernadero mostraron que la deficiencia de B y Zn son los factores que limitan drásticamente el cultivo de tomate;
2. fue necesario un suministro adecuado de N, P, K, Ca y Mg, las cuales se encontraron en cantidades bajas en el suelo;
3. es necesario efectuar pruebas experimentales en el campo para comprobar el presente diagnóstico y para determinar las dosis más apropiadas de los macroelementos N, P, K, Ca, Mg y la de los microelementos B y Zn.

6. RESUMEN

El presente estudio tuvo por objeto determinar la causa de la improductividad de los suelos de sabana de Buenos Aires (provincia de Puntarenas, Costa Rica), donde sólo el cultivo de la piña se produce económicamente cuando recibe fuertes dosis de fertilizantes.

Para tal propósito, se hizo un estudio de los diferentes factores relacionados con la producción, con la finalidad de hacer una eliminación de aquellos que aparentemente no están limitando tan drásticamente el desarrollo normal de los cultivos.

Los factores físicos estudiados en el campo y laboratorio del IICA-CEI y los climáticos, no resultaron ser limitantes.

Las propiedades morfológicas de los suelos y algunas propiedades químicas sirvieron para la selección de la muestra representativa de trabajo. Con esta muestra se hicieron dos ensayos de invernaderos, uno de macroelementos (superficies de respuesta) y el otro de microelementos (factorial 2^5).

El ensayo de macroelementos consistió en un enclamiento con cinco dosis de calcio incubado por dos meses y acompañado con N, P, K y Mg en cinco niveles.

Las determinaciones químicas realizadas antes y después de la aplicación de tratamientos, fueron hechas con el propósito de correlacionar la producción con algunas características del suelo. No obstante, los resultados de invernadero indicaron que los macroelementos no eran los factores limitantes, porque las plantas no lograron desarrollarse con las aplicaciones hechas.

En el ensayo con microelementos se aplicaron dos dosis de S, Zn, Mn, Mo y B, y una fertilización base de N, P, K, Ca y Mg (cuadro 5). Durante el crecimiento del tomate se pudo apreciar visualmente el efecto del B. No obstante, los análisis estadísticos realizados indicaron que además del B, el Zn también es limitante.

7. SUMMARY

The objective of this study was to determine the cause for the lack of productivity of savanah soils near Buenos Aires (Province of Puntarenas, Costa Rica, where pineapple with large application of fertilizer, is the only economic crop. The various factors that control production were studied in order to eliminate those were not strongly limiting with respect to the normal growth of plants.

Climate and physical properties studied in the field were not found to be limiting.

Morphological and some chemistry properties served to select the representative profile for further works. This sample was used in two greenhouse experiment, one with macroelements (response surface) and other with microelements (factorial 2^5).

The study with macroelements consisted of incubation with lime, applied at 5 rates for two months and application of 5 rates of N, P, K and Mg.

Chemical determination were made before and after the treatments in order to correlate production with some soil characteristics. Nevertheless greenhouse results indicated that macroelements were not the principal limiting factor because none of the treatments produced normal plant growth.

In the study with microelements, S, Zn, Mn, Mo and B were applied at two levels with a basic application of N, P, K, Ca y Mg (table 5).

During the growth of plants it was possible to observe a response to B, moreover statistical analysis showed that both B and Zn were limiting.

8. LITERATURA CITADA

1. ARKLEY, R. J. y ULRICH, R. The use of calculated actual and potential evapotranspiration for estimating potential plant growth. *Hilgardia* 32(10):443-461.
2. AYRES, A. S. Soils of high-rainfall areas in the Hawaiian Island. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 1. 1943. 41 p.
3. AYRES, Q. C. La erosión del suelo y su control. Barcelona, Omega, 1960. 441 p.
4. BAVER, L. D. Soil physics. 3th. ed. New York, Wiley, 1956. 489 p.
5. BEAR, F. E. Suelos y fertilizantes. Trad. del inglés por Jorge Bozal. 4a. ed. Barcelona, Omega, 1963. 458 p.
6. _____. Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos. Trad. del inglés por José B. Veloso. Barcelona, Omega, 1969. 368 p.
7. BERTRAND, A. R. Rate of water intake in the field. In Black, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 202-208.
8. BLAKE, C. R. Bulk density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 374-390.
9. _____. Particle density. In Black, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 371-373.
10. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de acidez del suelo. *Turrialba* 15(1):20-24. 1965.
11. _____. y IGUE, K. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. *Turrialba* 17(1):23-30. 1967.
12. BREMMER, J. M. Total nitrogen. In Black, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1117-1175.
13. BUCKMAN, H. O. y BRADY, N. C. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. del inglés por R.S. Barceló. México, D.F., UTEHA, 1966. 590 p.
14. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* 84(2):133-144. 1957.

15. COLEMAN, N. T. y THOMAS, G. W. The basis chemistry of soil acidity. In Pearson, R. y Adams, F., eds. Soil acidity and liming. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1967. pp. 1-41.
16. COLLINGS, G. H. Reacción del suelo y su influencia sobre la asimilabilidad de los nutrimentos. In _____ Fertilizantes comerciales. Trad. del inglés por Eleuterio Sánchez. Barcelona, Salvat, 1958. pp. 428-436.
17. COOK, R. L. Soil management for conservation and production. New York, Wiley, 1962. 527 p.
18. COSTA RICA. UNIVERSIDAD, ESTACION METEOROLOGICA DE BUENOS AIRES. Datos meteorológicos de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, 1969. 1v., p. irr.
19. DEMOLON, A. Variaciones de porosidad. In _____. Dinámica del suelo. Trad. del inglés por J. P. Malla. Barcelona, Omega, 1965. pp. 184-185.
20. DIAZ ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, IICA, 1967. 3 p. (Mimeo).
21. DONDOLI, C. La región del General, condiciones geológicas y geográficas de la zona. Costa Rica. Departamento Nacional de Agricultura. Boletín Técnico 44. 6 p.
22. FASSBENDER, H. W. Influencia de la reacción sobre características físicas, químicas y biológicas del suelo. In _____. Química de suelos. Turrialba, IICA, 1969. pp. 157-161.
23. FORSYTHE, W. Física de suelos, apuntes de clase. Turrialba, IICA, 1969. 1 v., p. irr.
24. GAUSSEN, H. Theories et classification des climats et microclimats. In Congrès International de Botanique, 8ème, Paris, 1954. s.n.t. pp. 125-130.
25. GURDIAN, G. R. Ensayos de abonamiento de piña. Efecto de niveles crecientes de N, P, K sobre la producción de hijos basales, rendimiento de fruta y jugo de la piña en Buenos Aires de Puntarenas. Boletín Técnico (Costa Rica) 2(5):5-13. 1969.
26. JACKSON, W. A. Physiological effects of soil acidity. In Pearson, R. y Adams, F., eds. Soil acidity and liming. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1967. pp. 43-124.
27. Mc LEAN, E. O. Aluminium. In Black, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 978-998.

28. MACIAS, M. V. Información de sitio. In _____. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y clasificación de ocho "latosoles" de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1969. p. 87.
29. MARTINI, J. A. Caracterización del estado nutricional de los principales latosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. Turrialba 19(3): 394-408. 1963.
30. MEYER, B. S. Introducción a la fisiología vegetal. Trad. del inglés por Luis Gilbert y Roberto Pitterbarg. Buenos Aires, Eudeba, 1966. 579 p.
31. MOLINA, C. R. Formas del fósforo en el suelo. In _____. Efecto del encalado sobre las formas y disponibilidad del fósforo en seis suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1969. pp. 3-5.
32. MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland, 1954. 20 p.
33. NARAYANA, N. y SHAH, C. C. Physical properties of soils. Manaktalsos, Bombay, 1966. 218 p.
34. PEECH, M. et al. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. US Department of Agriculture. Circular no. 757. 1947. 25 p.
35. PENG, K. C. The design and analysis of scientific experiments. Massachusetts, Reading, 1967. 252 p.
36. POPENOE, H. Effects of shifting cultivation on natural constituents in Central America. Thesis Ph. D. Gainesville, University of Florida, 1960. 164 p.
37. RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In Black, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 128-152.
38. RUSSELL, E. W. Soil conditions and plant growth. 9th ed.. New York, Wiley, 1961. 688 p.
39. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, IICA, 1961. 107 p.
40. SELKE, W. Los abonos. Trad. de la 4a. ed. alemana por Ortwing Gunther. León, España, Editorial Academia, 1968. 441 p.
41. SHAW, B. T. Soil physical conditions and plant growth. New York, Academic Press, 1952. v.2, p. 75-105.

42. TOSI, J. A. Mapa ecológico de Costa Rica. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical, 1969. 1 p.
43. TSCHAPEK, M. W. El agua en el suelo. Madrid, Serrano, 1966. 517 p.
44. US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Supplement to soil classification system (7th approximation). Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1967. 204 p.
45. VENEMA, K. C. Some notes on pH lime status lime requirements and liming of sub-tropical and tropical soils. Potash Review Subject 5:16-17. 1961.
46. WALTER, H. y LIETH, H. Klimadiagram weltatlas. Jena, Germany, Gustav Fisher, Verlag, 1967, 1967, 1 v., p. irr.

A P E N D I C E

APENDICE

Descripción del perfil #1

- A₁ 0-13 cm Pardo oscuro (7.5YR3/2) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina, fuerte, adherente, plástico, friable en húmedo; muchos poros intersticiales muy finos; raíces finas comunes; límite claro, plano.
- A₃ 13-22 Pardo rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina, fuerte a granular, muy fina, moderada; muy adherente, muy plástico, friable en húmedo; muchos poros tubulares e intersticiales muy finos; frecuentes raíces finas; límite gradual, plano.
- B₁ 22-33 cm Pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina, moderada a granular muy fina, moderada, plástico, adherente, friable en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; pocas raíces finas; límite gradual, plano.
- B₂₁ 33-75 Rojo oscuro (2.5YR3/6) en húmedo; arcilloso, estructura en bloques subangulares, muy fina a fina, moderada a granular muy fina, moderada; adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros muy finos, pocas raíces muy finas; límite claro, plano.
- B₂₂₊ 75-125 Rojo oscuro (2.5YR3/6) en húmedo; arcilloso, estructura en bloques subangulares, muy fina, fuerte a granular muy fina, moderada; ligeramente plástico, friable en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces muy finas; revestimiento delgado; límite gradual plano.
- B_{23t} 125-150+ Rojo oscuro (2.5YR3/6) en húmedo; arcilloso, estructura en bloques subangulares, fina, fuerte a granular, muy fina, moderada, ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; sin raíces, revestimientos de arcilla delgados casi continuos; fragmentos o nódulos comunes (de 2 a 8 mm)

Descripción del perfil #2

- A_p 0-9 cm Pardo oscuro (7.5YR3/2) en húmedo; arcilloso, estructura granular muy fina, fuerte; adherente, plástico, friable en húmedo; muchos poros intersticiales muy finos, irregular, raíces finas comunes, límite abrupto.
- B₁₁ 9-26 cm Pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina y fina, moderada a granular, muy fina, débil; adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; pocas raíces finas, límite gradual, ondulado.
- B₁₂ 26-40 cm Pardo rojizo (5YR4/4) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina y fina, moderada a granular muy fina moderada; adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces, límite gradual, ondulado.
- B₂₁ 40-65 cm Rojo (5YR4/6) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina y fina, fuerte a granular, muy fina, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo; revestimientos muy delgados, muchos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces; límite claro, ondulado.
- B₂₂ 65-110+ Rojo (2.5YR4/6) en húmedo; arcilloso, estructura en bloques subangulares muy fina y fina, fuerte, a granular muy fina, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; revestimientos muy delgados; 5% de fragmentos meteorizados; muchos poros tubulares muy finos; sin raíces.

Descripción del perfil #3

- A_p 0-8 cm Pardo rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo; arcilloso; estructura granular muy fina, fuerte; adherente, plástico, muy friable en húmedo; muchos poros intersticiales muy finos; pocas raíces muy finas, límite abrupto, irregular.
- B₁ 8-25 cm Pardo rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques angulares, muy fina y fina, moderada a granular, muy fina, moderada; adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros tubulares muy finos, pocas raíces muy finas; límite gradual, ondulado.
- B₂₁ 25=50 Pardo rojizo oscuro (2.5YR3/4) en húmedo; arcilloso, estructura en bloques angulares muy fina y fina, fuerte a granular muy fina moderada; muy adherente, plástico, firme en húmedo; pocos revestimientos muy delgados; muchos poros tubulares muy finos; pocas raíces muy finas.
- B₂₂₊ 50-100+ Rojo oscuro (2.5YR3/6) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares muy fina y fina, fuerte a granular, muy fina, moderada, adherente, plástico, friable en húmedo; frecuentes revestimientos delgados de arcilla; muchos poros tubulares muy finos; sin raíces.

Descripción del perfil #4

- A₁ 0-10 cm Pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques sub-angulares, muy fina, fuerte; adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; raíces muy finas, comunes; límite gradual y ondulado.
- A₃ 10-30 cm Pardo a pardo oscuro (7.5YR4/4) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques angulares, fina a muy fina, moderada; muy adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; raíces muy finas comunes; límite gradual y ondulado.
- B₁ 30-50 cm Rojo amarillento (5YR4/8) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques sub-angulares muy fina, moderada hacia granular, muy fina, moderada; adherente, plástico, firme en húmedo; muchos poros tubulares muy finos; pocas raíces muy finas; límite gradual y ondulado.
- B_{21t} 50-95 cm Rojo (2.5YR4/6) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques sub-angulares, fina a muy fina, fuerte hacia granular, muy fina, moderada; ligeramente adherente, plástico, friable en húmedo; comunes revestimientos de arcilla; muchos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces muy finas; límite gradual y ondulado.
- B₂₂ 95-110 cm Mezcla de rojo amarillento en 40%, rojo en 35%, rojo oscuro en 15% y pardo amarillento en 10% (5YR4/8, 2.5YR4/6, 2.5YR3/6 y 10YR5/6-8 respectivamente) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques angulares, fina a muy fina, fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme en húmedo; pocos revestimientos de arcilla; muy pocas raíces.

Descripción del perfil #5

- A₁ 0-9 cm Pardo oscuro (7.5YR3/2) en húmedo; arcilloso; estructura en bloques subangulares, muy fina, fuerte a granular muy fina, fuerte; adherente, plástico, friable en húmedo; muchos poros intersticiales muy finos; frecuentes raíces muy finas; límite claro, ondulado.
- A₃^{A3} 9-22 Pardo rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo; arcilloso, estructura granular y en bloques subangulares, muy fina, fuerte; adherente, muy plástico, friable en húmedo; muchos poros tubulares e intersticiales muy finos; frecuentes raíces muy finas; límite gradual, ondulado.
- B₁ 22-35 Pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en húmedo; arcilloso, estructura en bloques subangulares, muy fina y fina, moderada; adherente, muy plástico, firme en húmedo; frecuentes poros tubulares muy finos; pocas raíces muy finas; límite gradual, ondulado.
- B₂₁ 35-65 Rojo oscuro (2.5YR3/6) en húmedo; estructura en bloques subangulares muy fina y fina; fuerte; adherente, plástico, friable en húmedo; revestimientos delgados; muchos poros tubulares muy finos; pocas raíces muy finas; límite gradual, ondulado.
- B₂₂ 65-95 Rojo (2.5YR4/6) en húmedo; estructura en bloques subangulares, muy fina y fina fuerte a granular muy fina, moderada; ligeramente adherente, plástico, friable en húmedo; pocos revestimientos delgados; muchos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces muy finas; límite gradual, ondulado.
- B₂₃ 95-110+ Rojo (2.5YR4/6) en húmedo, con frecuentes manchas destacada de pardo amarillento (10YR5/6) en 30% y rojo (10YR4/8) en 10%; arcilloso; estructura en bloques subangulares fina a media, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; pocos revestimientos delgados; frecuentes poros tubulares muy finos; muy pocas raíces muy finas.

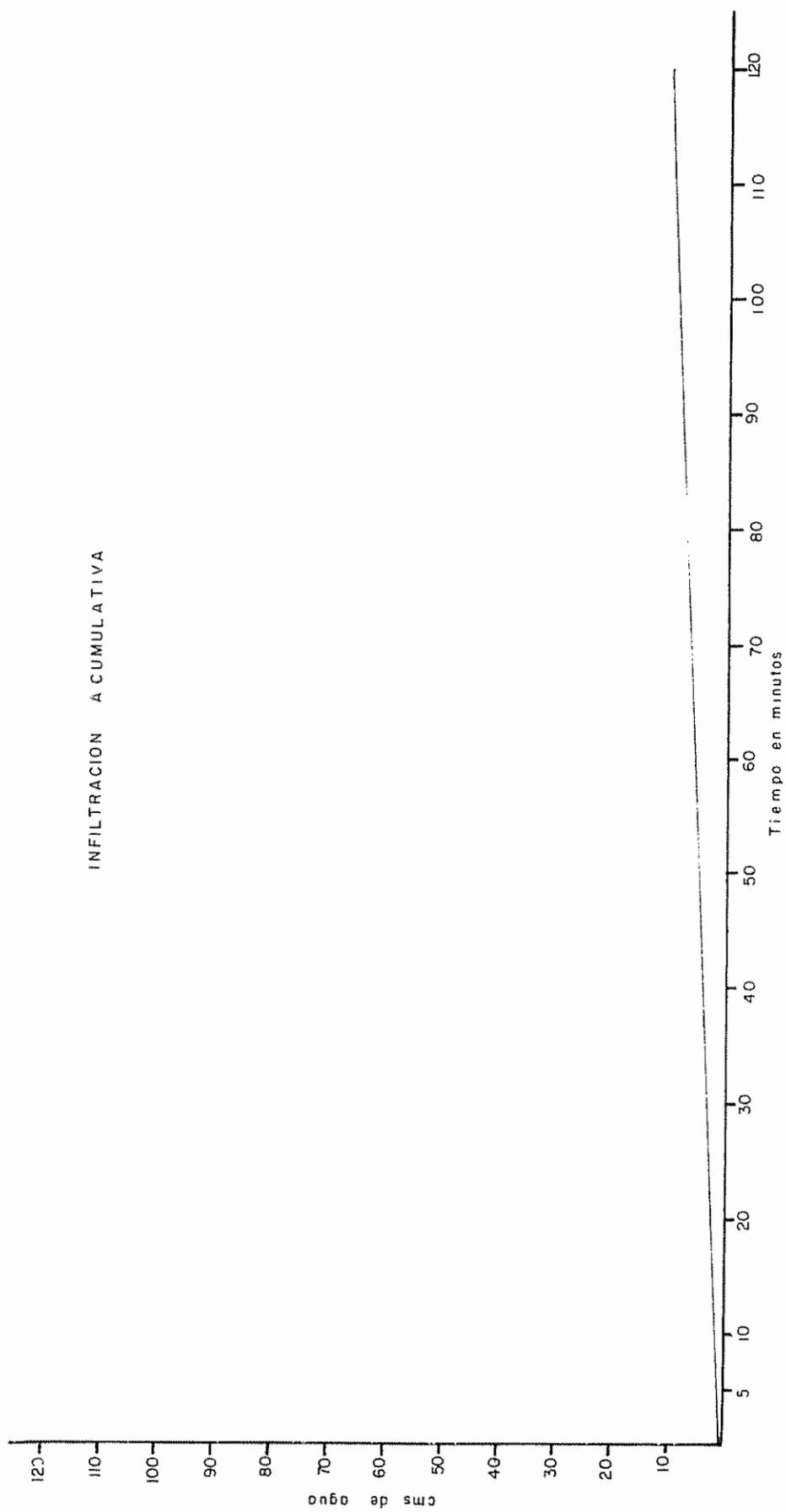


Fig. J 1 Representación del primer perfil

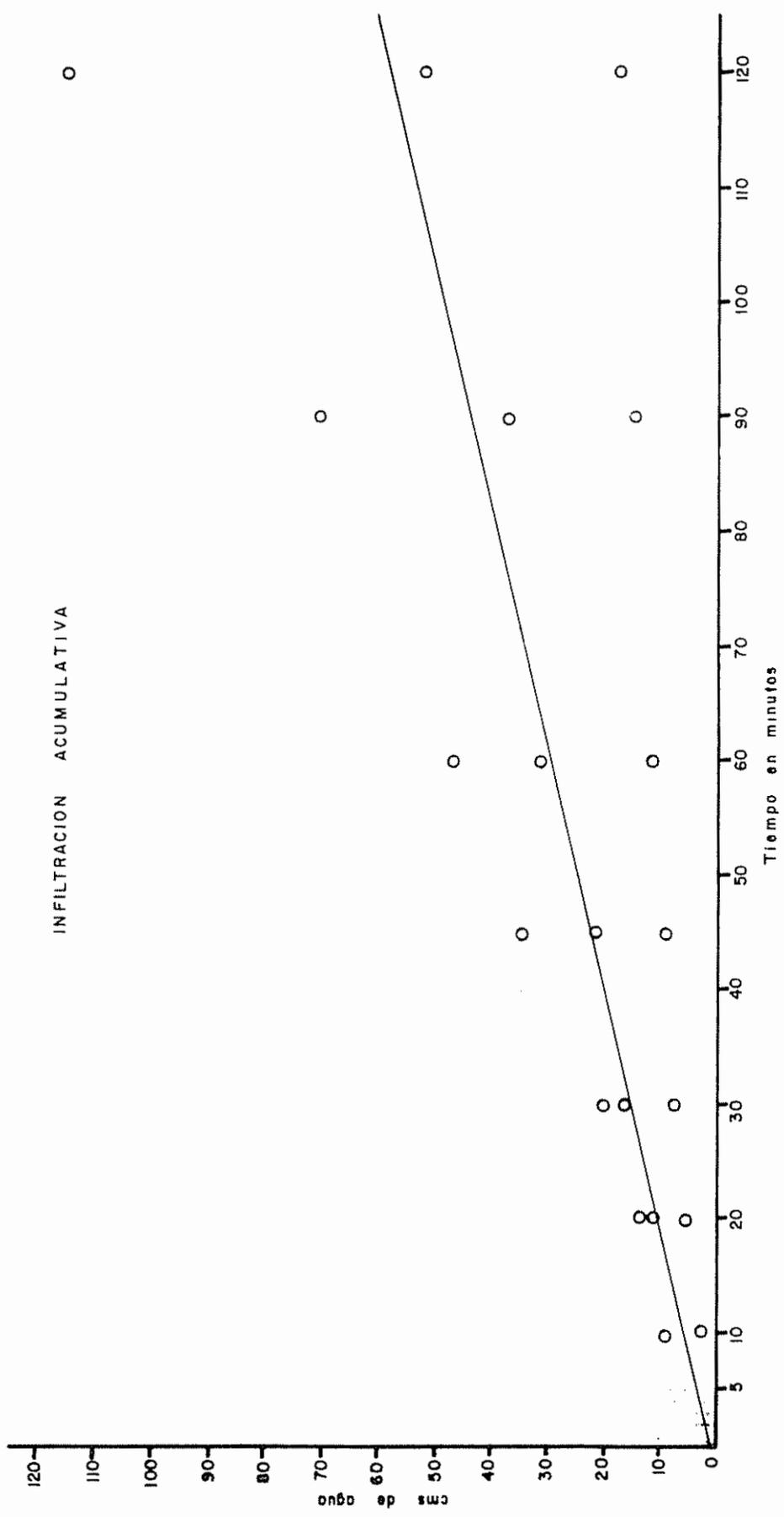


Fig. J.2 Representación del segundo perfil:

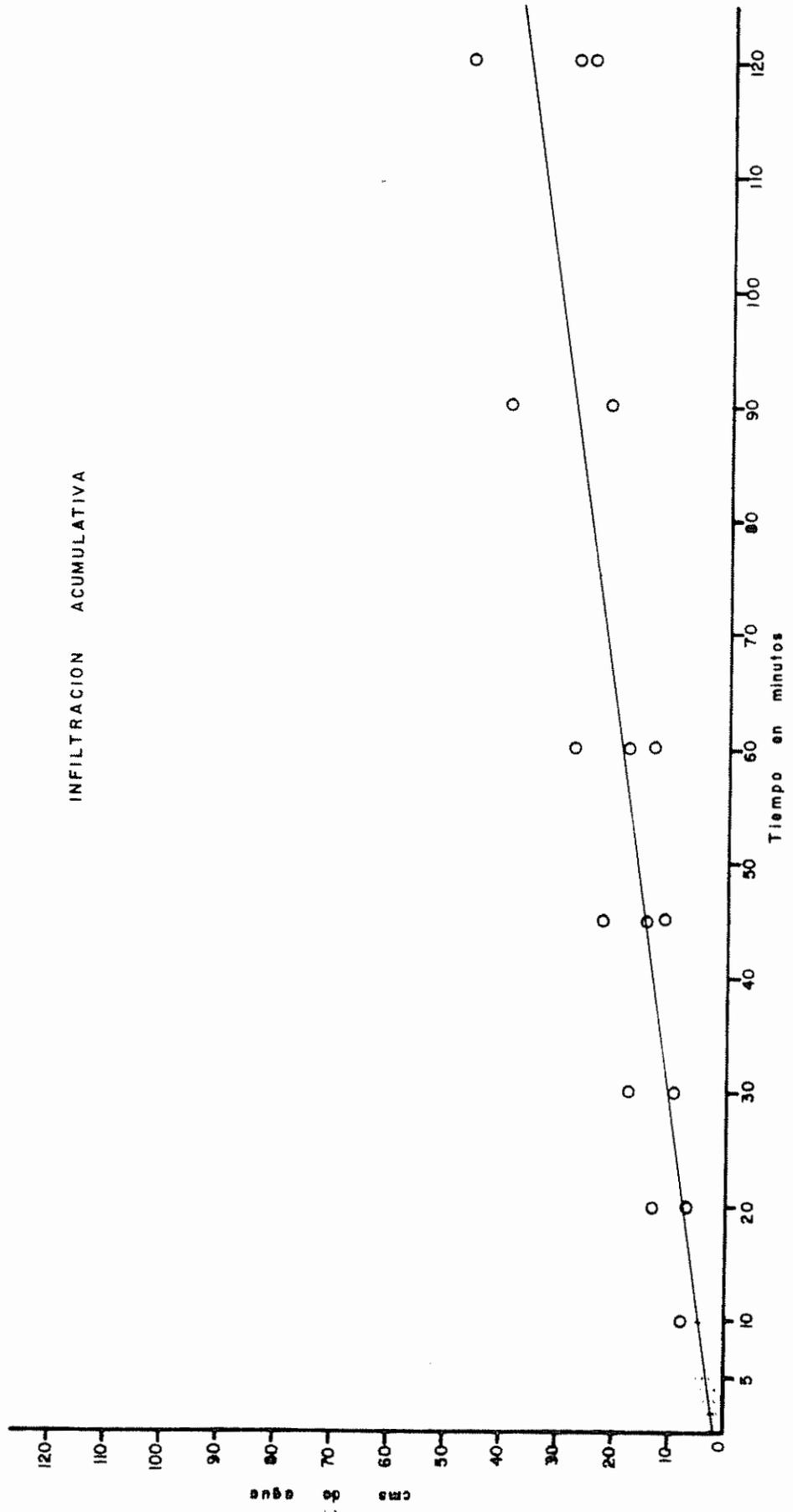


Fig. J 3 Representación del tercer perfil

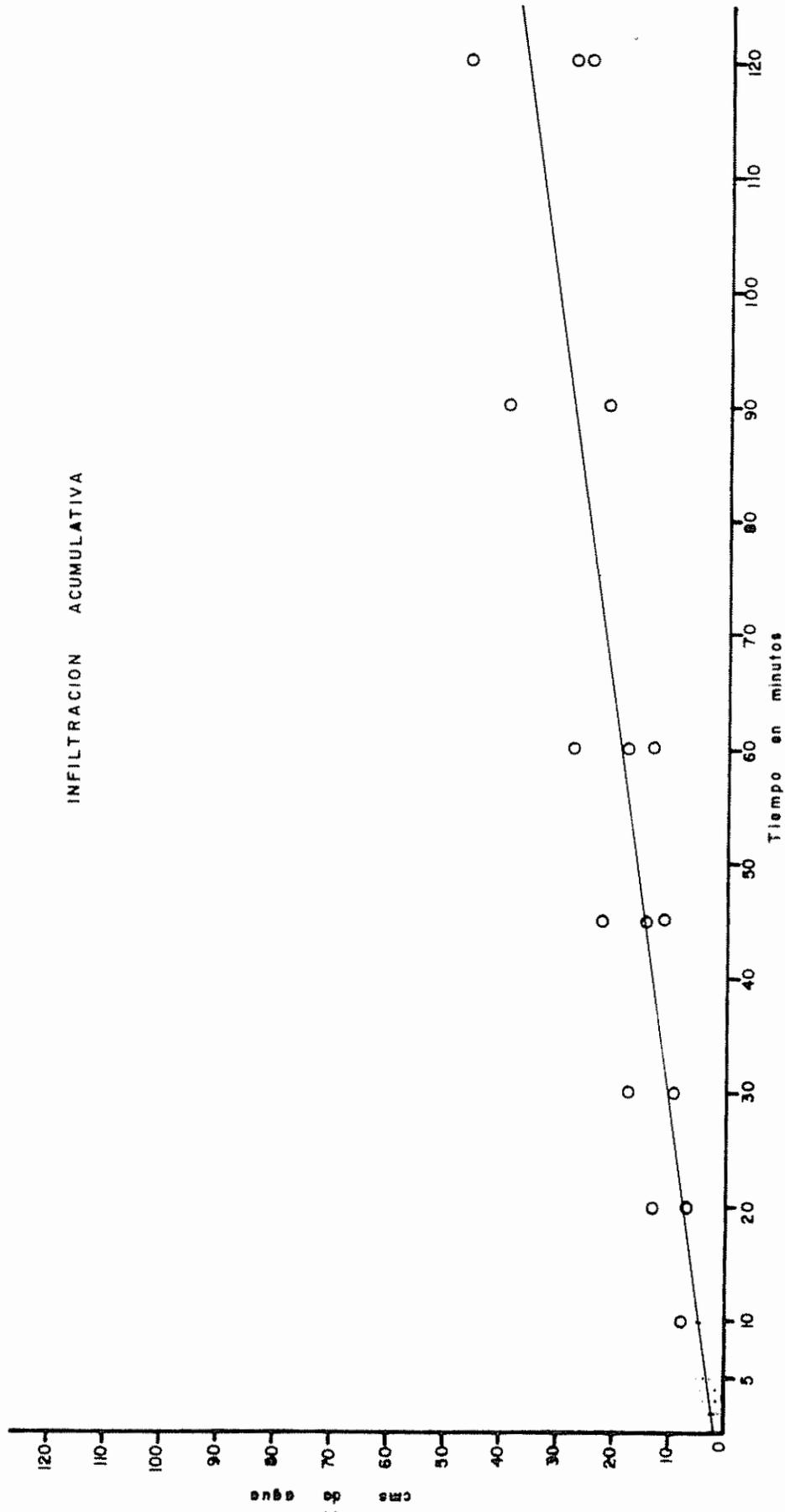


Fig. 3 Representación del tercer perfil

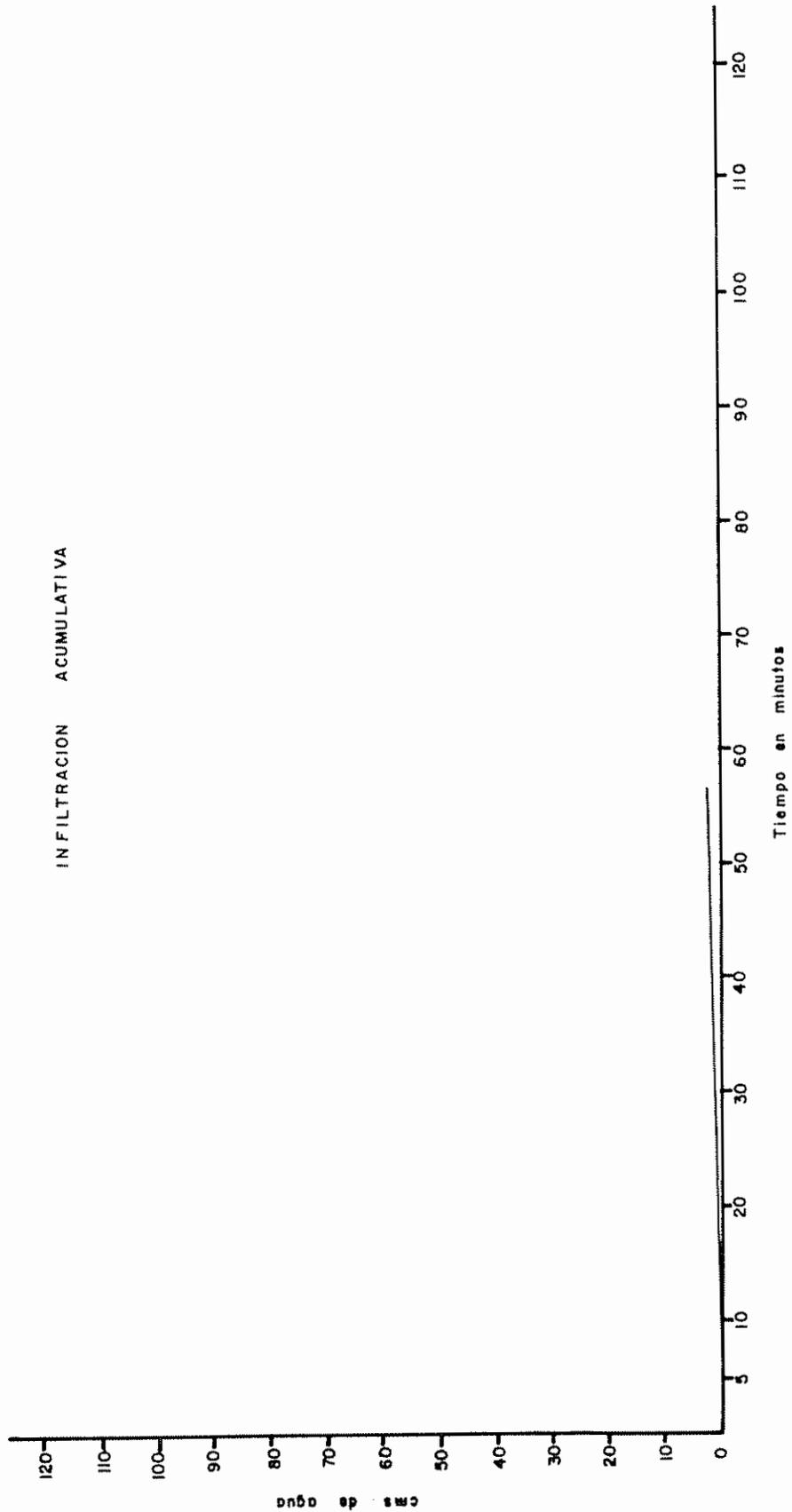


Fig. J.4 Representación del cuarto perfil

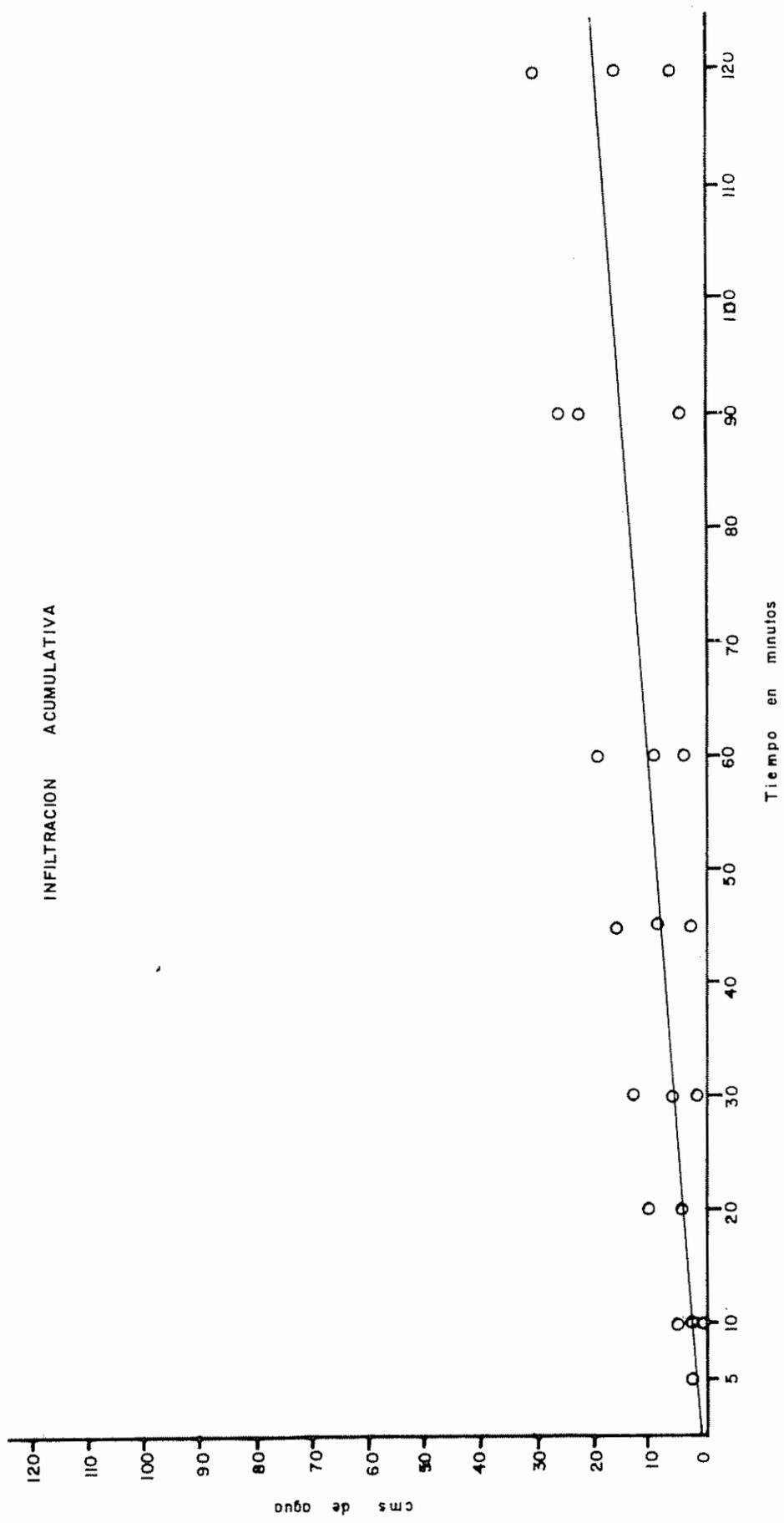


Fig. J 5 Representación del quinto perfil

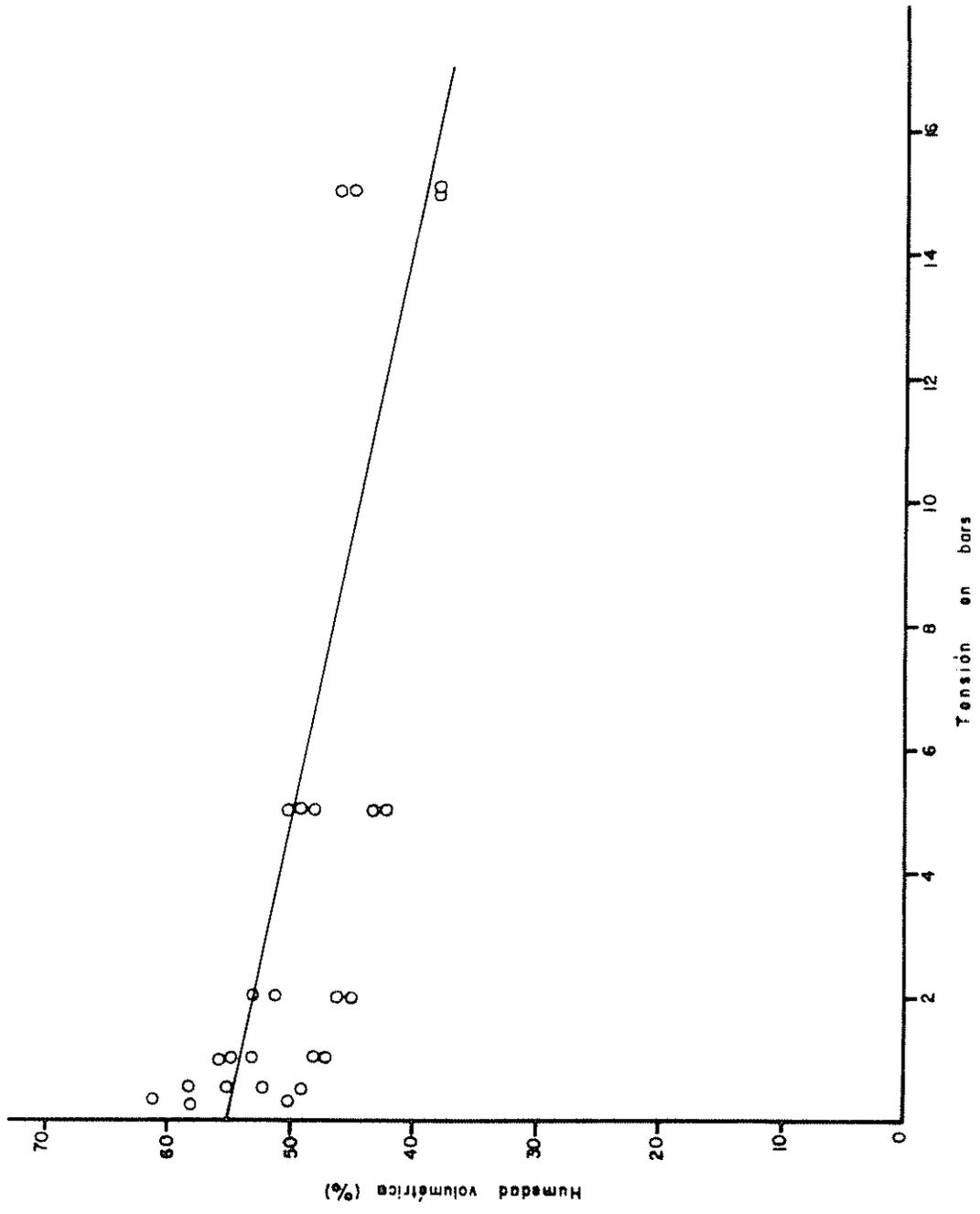


Fig. M1 Retención de agua del primer horizonte

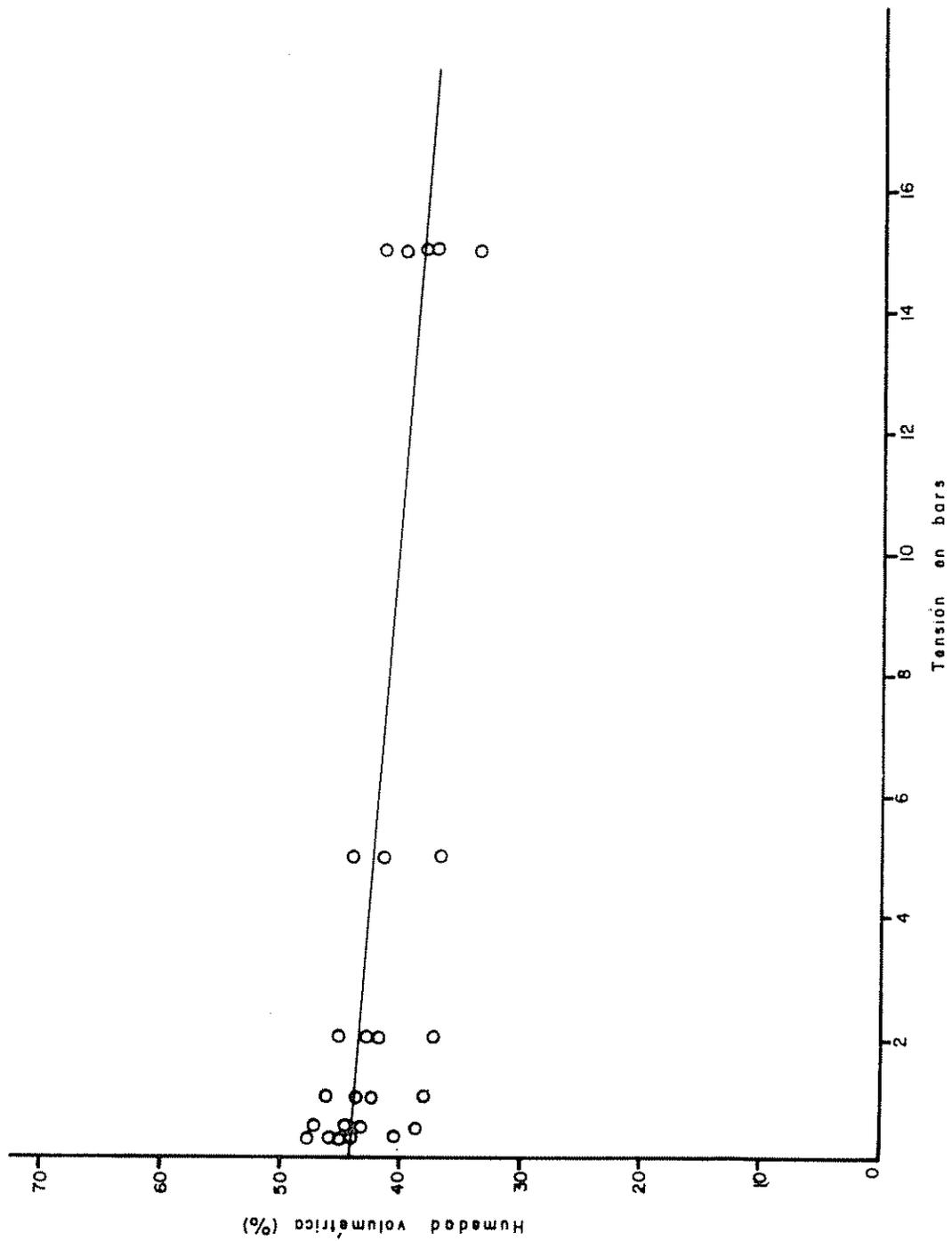


Fig. M 2 Retención de agua del segundo horizonte

Cálculo del balance hídrico

Las consideración tomadas para el cálculo fueron las siguientes:

- A. El valor de almacenamiento de agua disponible en el suelo resulta de la diferencia de humedad volumétrica de 1/3 a 15 bars.
- B. La evapotranspiración (ET) ocurre con el mismo ritmo entre 1/3 a 15 bars.
- C. A 15 bars no hay agua en el suelo disponible para la ET.
- D. No puede haber una evapotranspiración actual (ETa) mayor que la suma de la precipitación y la cantidad de agua disponible presente en el suelo.

La metodología usada consistió en:

1. Calcular la biotemperatura:

$$= \frac{\text{promedio mensual de temperatura máxima diaria} + \text{promedio mensual de temperatura mínima diaria}}{2}$$

cuando el valor máximo de temperatura era superior a 30° se utilizó 30°C.

2. Evapotranspiración potencial mensual para cultivo

$$2.1 \text{ ET}_p = \frac{\text{biotemperatura} \times 58.9}{12}$$

$$2.2 \text{ ET}_a = \text{ET}_p \times 0.9$$

La ET_a según Holdridge es la evapotranspiración actual, pero para el presente estudio se utilizó como la ET_p para los cultivos.

3. Déficit y exceso de agua

$$= \text{precipitación} - \text{ET}_p \text{ (para cultivos)}$$

4. Almacenamiento de agua disponible en el suelo al final del mes.

- a) Convertir la humedad volumétrica del almacenamiento a lámina de agua (multiplicando por la profundidad escogida del suelo).
- b) Comparar la lámina de almacenamiento con el exceso y déficit de agua calculado.

Donde existe exceso (cálculo), el suelo retendrá hasta la lámina que corresponde a su capacidad de almacenamiento, en cambio si existe déficit cuyo valor no excede a la cantidad almacenada, el déficit será cubierto por dicha cantidad de agua, el agua sobrante será el almacenamiento al final del mes.

5. Evapotranspiración actual:

ET_a = precipitación + el almacenamiento de agua en el suelo
Estos es válido cuando no excede a la ET_p , si excede se toma el valor de ET_p .

THORNTHWAITE, C.W. y MATHER, J.R. The water balance. Drexel Ins. Tech. Publ. in climatol. 8:(1), 104 pp.