

INFLUENCIA DE LA IMPERMEABILIZACION PARCIAL DEL
SUELO SOBRE LA AIREACION Y LA MOVILIDAD
DE NUTRIMENTOS

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Pedro Antonio Romero Sandoval



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica
Enero, 1972

INFLUENCIA DE LA IMPERMEABILIZACION PARCIAL DEL
SUELO SOBRE LA AIREACION Y LA
MOVILIDAD DE NUTRIMENTOS

Tesis

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

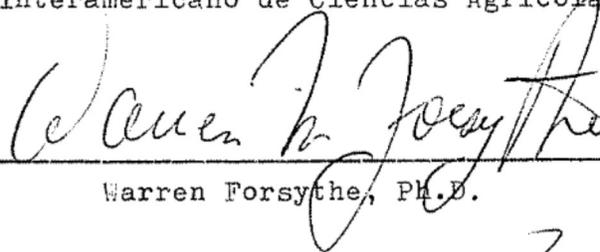
de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



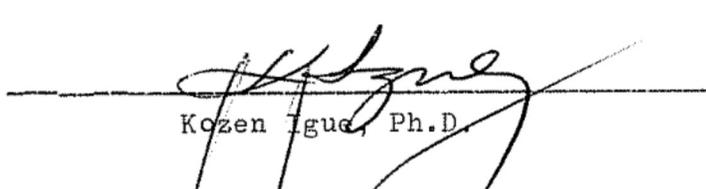
Consejero

Warren Forsythe, Ph.D.



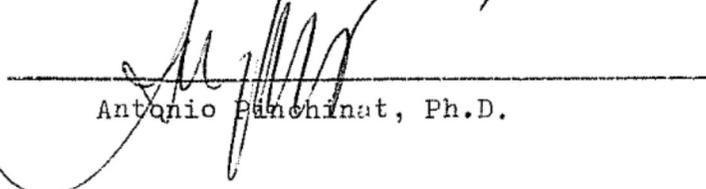
Comité

Gilberto Páez, Ph.D.



Comité

Kozen Igua, Ph.D.



Comité

Antonio Panchinat, Ph.D.

Enero, 1972

A mis padres

A mis hermanos

A Olga con todo mi cariño

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. Warren Forsythe, Consejero Principal, por su acertada orientación.

A los restantes miembros del Comité Consejero, por su colaboración.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la elaboración de este trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Carazo (Nicaragua) el 13 de mayo de 1943. Comenzó sus estudios universitarios en 1961 en la Escuela Nacional de Agricultura y Ganadería de Managua, Nicaragua, habiéndose graduado como Ingeniero Agrónomo en el año de 1965.

Prestó sus servicios profesionales al Departamento de Estudios de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Nicaragua entre los años 1965 y 1967. En 1967 ingresó a la Sección de Estudios de Suelos y Uso de la Tierra dentro del Proyecto de Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua, en calidad de Coordinador Regional de mapeo, clasificación de suelos y uso de la tierra, desempeñándose en ese cargo hasta 1970.

En setiembre de 1970 ingresó a la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, habiendo obtenido el grado de Magister Scientiae en enero de 1972.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Humedad y aireación del suelo	3
2.1.1. Formas de expresar la humedad del suelo .	4
2.1.2. Medida de la aireación del suelo	4
2.2. Movimiento del agua en el suelo	5
2.3. Angulo de contacto	6
2.4. Movimiento de nutrimentos	7
2.4.1. Movilidad del nitrógeno	8
2.4.2. Movilidad de fósforo y potasio	9
2.5. Suelos hidrofóbicos naturales	11
2.5.1. Efectos producidos por la repelencia al agua	12
2.6. Suelos hidrofóbicos artificiales	14
2.6.1. Sustancias hidrofóbicas artificiales	14
2.6.2. Evaluación de suelos hidrofóbicos	16
2.6.3. Usos de los suelos hidrofóbicos artifi- ciales	18
3. MATERIALES Y METODOS	19
3.1. Area de estudio, localización y características .	19
3.2. Materiales y aparatos	19
3.3. Trabajos de campo	21
3.3.1. Siembra y fertilización	21
3.3.2. Forma de aplicación del impermeabilizante	21
3.3.3. Ubicación de tensiómetros y microelectro- dos de platino	23
3.3.4. Muestreo	25
3.3.5. Recolección de datos	26
3.4. Trabajos de laboratorio	27
3.4.1. Análisis físicos	27
3.4.2. Análisis químicos	28

	<u>Página</u>
3.5. Esquema experimental	29
3.6. Métodos de análisis	30
4. RESULTADOS	33
4.1. Infiltración y escurrimiento	33
4.2. Capacidad de retención de humedad	33
4.3. Succión del agua del suelo	40
4.4. Diferencias de succión	40
4.5. Difusión de oxígeno	45
4.6. Movilidad de nitrógeno	45
4.7. Movilidad de fósforo	50
4.8. Movilidad de potasio	50
4.9. Rendimiento del frijol	51
4.10. Uso de techos de madera y plástico	51
5. DISCUSION	53
6. CONCLUSIONES	57
7. RESUMEN	58
7a. SUMMARY	60
8. LITERATURA CITADA	61
APENDICES	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro N ^o		<u>Página</u>
1	Precipitación y evaporación diaria y fechas de cobertura del cultivo con techos de madera y plástico	23a
2	Succión del agua del suelo, correspondiente a 12 determinaciones realizadas durante el período de cultivo del frijol	43
3	Diferencias observadas entre las succiones de la zona fertilizada y las succiones de la zona no fertilizada en parcelas de frijol	44
4	Ratas de difusión de oxígeno (O.D.R.) correspondientes a 6 determinaciones realizadas durante el período de cultivo del frijol	46
5	Coefficiente de penetrabilidad β_1 para nitrógeno, fósforo y potasio, según modelo $Y_i = \beta_0 \beta_1^{X_1}$	47
6	Nitrógeno, fósforo y potasio total, en el momento de la siembra en suelos de la serie Instituto, fase normal	48
7	Nitrógeno, fósforo y potasio total, en el momento de la cosecha, en suelos de la serie Instituto, fase normal	49
8	Rendimiento de frijol, número de vainas por planta y número de semillas por vaina	52

LISTA DE FIGURAS

Figura N ^o		<u>Página</u>
1	Equipo aplicador y forma de aplicación del R-20	22
2	Esquema de los techos de madera y plástico, usados para proteger el frijol durante las épocas más lluviosas. El esquema corresponde a tres techos individuales colocados uno al lado del otro, cubriendo cada uno, una parcela de 2 x 6 metros	23
3	Infiltración por inundación. Efecto de la impermeabilización con R-20 (2 gr/m ²) en suelos de la serie Instituto, fase normal	34
4	Infiltración por precipitación. Efecto de la impermeabilización con R-20 (2 gr/m ²) en suelos de la serie Instituto, fase normal. Los datos corresponden a la mitad de los valores encontrados para infiltración por inundación	35
5	Infiltración y escurrimiento, calculado a partir de lluvias máximas y mínimas en suelos no impermeabilizados	36
6	Infiltración y escurrimiento calculado a partir de lluvias máximas y mínimas en suelos impermeabilizados con 2 gr/m ² de R-20	37
7	Capacidad de retención de humedad (desorción) en el horizonte superficial, 0-23 cm, de los suelos de la serie Instituto, fase normal.....	38
8	Capacidad de retención de humedad (desorción) en el horizonte subsuperficial, 23-42 cm, de los suelos de la serie Instituto, fase normal .	39
9	Capacidad de retención de humedad (adsorción) en el horizonte subsuperficial, 23-42 cm de los suelos de la serie Instituto, fase normal	41
10	Capacidad de retención de humedad (adsorción) en el horizonte superficial, 0-23 cm de los suelos de la serie Instituto, fase normal	42

1. INTRODUCCION

Actualmente se considera que la erosión, el lavado, las cosechas y la volatilización, son las 4 vías principales por las cuales son removidos del suelo los elementos nutritivos.

Entre estas vías mencionadas, el lavado o lixiviación de nutrientes adquiere particular importancia en las zonas tropicales húmedas, en las cuales un régimen de lluvias intenso y abundante hace que el agua se mueva rápidamente através del suelo, ejerciendo un efecto de solubilización y arrestre sobre los nutrimentos del suelo.

Cuando la precipitación es excesiva, los elementos suelen movilizarse hasta fuera del alcance de las raíces de las plantas, lo que provoca una disminución en el rendimiento de los cultivos e inversamente la necesidad de aplicar cantidades mayores de fertilizante. Además en el suelo se desarrollan condiciones físicas desfavorables para el crecimiento de las plantas, principalmente una restricción de la aireación en la zona de desarrollo radical.

En vista de ello, se considera actualmente de suma importancia el desarrollo de nuevas prácticas que permitan aumentar el espacio aéreo disponible para las raíces y disminuir el porcentaje de nutrimentos movilizados por el agua através del perfil del suelo.

Los objetivos de esta investigación fueron los siguientes:

Estudiar el efecto producido por la impermeabilización parcial del suelo y el sistema de siembra en camellones sobre:

- a) La aireación y el movimiento del agua en la zona radicular
- b) El movimiento del nitrógeno, fósforo y potasio através del perfil del suelo.
- c) El rendimiento del frijol

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Humedad y aireación del suelo

La humedad del suelo está relacionada con el crecimiento de las plantas en forma directa e indirecta (57). La forma directa se refiere a un suministro adecuado de agua, ó a la facilidad con que la humedad que se encuentra en la cercanía de las raíces puede entrar a la planta a través de su sistema radical. Indirectamente la humedad del suelo influencia el crecimiento de las plantas a través de su efecto en las propiedades del suelo relacionadas con dicho crecimiento.

La mayoría de las plantas cultivadas requieren una adecuada aireación del suelo para un desarrollo normal de su sistema radical (32). Este suministro de aire en el suelo, está casi totalmente reducido a los espacios porosos totales, considerándose que cuando el volumen de espacio poroso total es menor de 10%, las raíces sufren síntomas de asfixia, debido a la escasez de oxígeno (64).

Esta condición de aireación pobre en un suelo, puede deberse entre otras causas, a un régimen de lluvias intenso y abundante que hace que la cantidad de agua que penetra en el suelo sea ^{mayor} menor que la que éste puede eliminar por percolación y drenaje (33).

En condiciones de aireación deficiente, se produce una disminución de la absorción superficial en el complejo radical que puede conducir a una reducción del crecimiento (32).

Los factores humedad y aireación del suelo, están inversamente relacionados, ya que a medida que aumenta el agua que ocupa los espacios porosos totales, disminuye la rata de difusión del aire (46, 60).

En vista de ello se puede afirmar que si los poros retienen grandes cantidades de agua por un tiempo considerable, el suelo estará sometido a condiciones de aireación deficiente.

La difusión de gases en el suelo depende fundamentalmente del contenido de humedad, ya que esta característica afecta todos los procesos físicos, químicos y biológicos relacionados con la aireación del suelo (57).

2.1.1. Formas de expresar la humedad del suelo

Existen dos conceptos fundamentales en cuanto a la forma de expresar la humedad del suelo, que son: cantidad de agua en el suelo en un momento dado y la fuerza o tensión con que el agua está retenida por el suelo (40). Estos dos conceptos pueden ser unidos o relacionados a través de curvas de retención de humedad que consideran precisamente cantidad de agua y fuerza con que está retenida el agua en el suelo.

La humedad del suelo en un momento dado puede ser medida por diversos métodos, tales como: métodos gravimétricos, rayos gamma, dispersión de neutrones y otros (40). La fuerza con que está retenida el agua por el suelo puede ser medida por medio de tensiómetro, mesa de tensión, platos de presión, centrífuga, depresión del punto de congelación, conductividad eléctrica y humedad relativa, según que el suelo esté en la condición mojada, húmeda o seca.

2.1.2. Medida de la aireación del suelo

El uso de la rata de difusión de oxígeno (R.D.O) para evaluar la aireación del suelo ha alcanzado últimamente gran popularidad. Este método introducido por Lemon y Erickson (43) consiste en medir la

rata de difusión de oxígeno en un electrodo de platino que se inserta en el suelo. Esta medida se considera válida ya que los factores que influyen la difusión de oxígeno hacia el electrodo, también afectan la difusión hacia las raíces (32).

El método se basa en la aplicación de cierto potencial eléctrico negativo en el electrodo de platino que está en el suelo en comparación con un electrodo de referencia, lo que provoca una reducción del oxígeno en la superficie del platino. Los resultados se expresan corrientemente en gramos de oxígeno por centímetro cuadrado por minuto (43).

2.2. Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua a través del suelo, generalmente ocurre por dos procesos: flujo saturado y flujo no saturado (24). El flujo saturado ocurre cuando todo el espacio poroso del suelo está lleno de agua, estando regulado dicho flujo principalmente por la geometría de los poros saturados y por las propiedades de la solución que pasa a través del suelo. En este caso, el agua fluye debido a diferencias de potencial hidráulico.

En suelos no saturados, el flujo del agua se debe a las fuerzas de atracción entre las partículas de suelo y las moléculas de agua. Termodinámicamente, el agua del suelo se mueve de las regiones de alta energía libre a aquellas de baja energía libre, lo que equivale a decir, una diferencia de potencial hidráulico.

Infiltración

El agua se infiltra en el suelo bajo la influencia de las fuerzas

gravitacionales y capilares que provocan una fuerte atracción entre la fase líquida y las partículas del suelo. La película de agua y las partículas de suelo se atraen mutuamente en el punto donde se encuentran agua, aire y suelo (23). Esta atracción puede ilustrarse fácilmente si se visualiza el suelo como un haz de pequeños tubos capilares de vidrio. Cuando los extremos de los tubos están sumergidos en agua, ésta puede ascender porque hay atracción entre las moléculas de agua y las paredes del tubo, la tensión superficial en el menisco, mueve el agua que no está en contacto con las paredes. Esta atracción puede considerarse análoga a la que existe entre las moléculas de agua y la superficie de las partículas del suelo.

2.3. Angulo de contacto

Cuando una gota de agua entra en contacto con una superficie sólida, se forma entre ambos cierto ángulo, llamado ángulo de humedecimiento o ángulo de contacto líquido sólido (1), que se usa para caracterizar suelos "no mojables" (hidrofóbicos). La formación de este ángulo de contacto se puede observar cuando el agua se mueve en un tubo capilar, ya que se forma un ángulo definido entre el menisco y la pared. Si la pared está hecha de vidrio limpio el ángulo es pequeño y casi igual a cero. En este caso, la altura a que puede ascender el agua en el capilar está directamente relacionada con la tensión superficial y es inversamente proporcional al radio del tubo (23).

La altura que alcanza el agua en el tubo, está dada por la ecuación de ascenso capilar (23).

$$h = \frac{2\gamma}{r\rho g} \cos \theta \quad [1]$$

en la cual:

h = altura de ascenso

γ = tensión superficial

r = radio del capilar

ρ = densidad del líquido

g = fuerza gravitacional

θ = ángulo entre el menisco de agua y la pared

2.4. Movimiento de nutrimentos

El movimiento de nutrimentos a través del perfil del suelo es un hecho que se relaciona estrechamente con la cantidad de agua que se infiltra a través del suelo (12, 19) y con factores tales como: textura y temperatura del suelo, naturaleza de los elementos nutritivos y otros de menor importancia (5, 41, 45).

Actualmente se da mucho énfasis a los datos de precipitación y evapotranspiración en relación con la lixiviación, ya que se considera que cuando la precipitación excede a la evapotranspiración, el lavado puede ocurrir después que el suelo haya alcanzado el grado de humedad correspondiente a capacidad de campo (3).

Contenido de N, P, K en el suelo

De los tres elementos mayores, nitrógeno, fósforo y potasio, este último parece ser el más abundante en los suelos, predominando considerablemente sobre el fósforo, el cual ocupa el último lugar. Según Lipman y Conybeare (44) en la capa arable de los suelos de los Estados

Unidos de Norte América existe en promedio 0,14% de nitrógeno, 0,83% de potasio y solo 0,062% de fósforo. Esta proporción es muy variable y depende de muchos factores tales como: clima, topografía, material parental y actividad del hombre (7).

2.4.1. Movilidad del nitrógeno

El nitrógeno en sus diversas formas parece ser el elemento nutritivo más susceptible de movilización a través del suelo (21, 27), ya que tanto en experimentos de laboratorio como de campo, se han encontrado pérdidas considerables de este elemento, principalmente bajo la forma nítrica (6, 35).

Krause y Batsch (41) aplicando NH_4NO_3 , encontraron que a pesar de la textura gruesa del suelo, el nitrógeno amoniacal (N-NH_4) fue muy estable contra el lavado, ya que después de 3 meses las pérdidas de nitrógeno, correspondieron casi enteramente a la forma nítrica.

Según Allison (3) la lixiviación de los nitratos está determinada principalmente por el movimiento del agua, variando marcadamente las características del movimiento descendente en suelos de diferente textura y estructura.

Burns y Dean (18) consideran que los factores más importantes que afectan el movimiento de los nitratos añadidos al suelo son: porosidad del suelo, cantidad y movimiento del agua, cationes asociados con los nitratos, ubicación del fertilizante, cantidad añadida, temperatura y actividad microbial.

La intensidad de la precipitación es un factor que aumenta notablemente la movilidad de los elementos nutritivos; se ha comprobado

que precipitaciones ligeras que no produjeron percolación profunda dentro del suelo, no disminuyeron notablemente la concentración de nitratos en los horizontes superficiales del suelo, mientras que precipitaciones que provocaron una percolación de unos 20 cm redujeron los nitratos a niveles muy bajos (19).

Boswell y Anderson (13) evidenciaron la relación directa existente entre precipitación y pérdida de nutrimentos estudiando el porcentaje y movimiento del nitrógeno aplicado como NO_3K en dos suelos en barbecho, en los cuales observaron mayor movilización a medida que aumentaba la precipitación, mientras que Millington (47) considera que la disminución en la producción durante estaciones excesivamente húmedas, puede atribuirse a una pobre condición física del suelo y no predominantemente a un lavado de elementos nutritivos.

Según los resultados obtenidos por Drover (27), durante 8 años de experiencias en suelos arenosos y francos, las pérdidas de nitrógeno, calcio, potasio y magnesio por lixiviación, fueron siempre mayores en suelos arenosos en comparación con suelos francos, lo que aparentemente indica cierta relación entre estos dos factores.

2.4.2. Movilidad de fósforo y potasio

La movilidad de P y K es aparentemente menor que la de N, (5, 12, 27, 45) con excepción de porcentajes relativamente altos de pérdidas de P (17-81%) reportadas por Ozzanne et al (53) que parecen más bien atribuibles a las grandes cantidades de P aplicadas, la textura arenosa de los suelos y la profundidad de 10 centímetros a que se midió el efecto del lavado.

La experiencia parece demostrar que tanto el P como el K, en aplicaciones normales no se lavan más allá de la zona de raíces de los cultivos (12, 27), siempre que no ocurran condiciones de drenaje excesivamente rápido (6). Estas aseveraciones son válidas en el caso de precipitaciones no muy abundantes, que fluctuaron aproximadamente entre 50 y 75 mm mensuales para los experimentos de Boswell y Anderson (12) y de 457 milímetros anuales en el caso de las experiencias de Drover (27), disponiéndose de muy poca información en cuanto a las variaciones provocadas por precipitaciones más abundantes.

Como en los casos anteriores, la precipitación juega un papel importante en la cantidad de lavado. Wild (65), reporta pérdidas de P de 50% como promedio en suelos arenosos derivados de granito con precipitaciones de 460 a 830 mm; no observándose movilización de P en las zonas de precipitación más baja. Allison et al (4) comparando las pérdidas de N, P y K, encontraron que tanto en suelos fertilizados como en no fertilizados, el lavado menos considerable (0,2 a 0,1 Kg/Ha) correspondió a fósforo.

La pérdida de otros nutrimentos tales como Ca, Mg, SO_4 , han sido reportados por Drover (27), Cooper y Hogg (20) en proporciones siempre relacionadas con factores hídricos y edáficos.

Los esfuerzos realizados para reducir estas pérdidas de nutrimentos han consistido principalmente en el uso de fertilizantes bajo sus formas menos susceptibles de volatilización, solubilización y arrastre, ya sea debido a su naturaleza o por estar recubiertos por una película protectora (45). Otra forma de disminuir las cantidades de nutrimentos lixiviados ha sido la administración de la dosis total

en subdosis menores (21) y el uso de cubiertas plásticas alrededor de las plantas (26). Hayslip y Iley (34) cubriendo la zona fertilizada con fajas de plástico obtuvieron incrementos considerables en la producción de tomates, cebollas y repollos.

2.5. Suelos hidrofóbicos naturales

Los suelos repelentes al agua (hidrofóbicos) se encuentran en muchas partes del mundo, desde Australia hasta América del Norte (23). La presencia de estos suelos ha sido reportada en muchos lugares tales como Florida, Nueva Zelanda, Australia y Victoria (10).

Las causas de la repelencia al agua han sido atribuidas a diversos factores bióticos y edáficos tales como: a) Presencia de aceites esenciales en el suelo, b) Naturaleza de los coloides orgánicos del suelo, (38), c) Sustancias orgánicas producidas por microorganismos, principalmente Basidiomicetos (11), d) Asociación de suelo seco y Basidiomicetos, e) Combinación de ácidos orgánicos y constituyentes del suelo, tales como calcio y magnesio, para formar jabones repelentes al agua, distribuidos en forma de una delgada película alrededor de las partículas del suelo (63), f) Sustancias orgánicas que se encuentran en el suelo asociadas con ciertos tipos de vegetación, produciéndose una concentración de dichas sustancias en forma de una capa cerca de la superficie al elevarse la temperatura por causa de incendios (23).

Entre las propiedades del suelo que afectan la repelencia al agua se pueden mencionar: a) la superficie específica de las partículas individuales, hecho que está en relación directa con la cantidad de

material necesario para cubrir las partículas, b) naturaleza y fuerza de las cargas en la superficie de las partículas individuales, que probablemente influyen la forma en que son absorbidos los materiales orgánicos (23).

2.5.1. Efectos producidos por la repelencia al agua

Efecto sobre la infiltración: Se ha comprobado que si se cubren las paredes de tubos capilares con sustancias hidrofóbicas, disminuye la atracción entre el agua y la pared del tubo y el agua no puede ascender tan alto como en el tubo limpio (23).

Los ángulos de contacto calculados para los capilares tratados con sustancias hidrofóbicas son considerablemente mayores de cero y muchas veces superiores a 90°, aumentando la repelencia al agua a medida que crece dicho ángulo.

La fuerza capilar que hace que el agua se mueva dentro de los poros del suelo, es directamente proporcional al coseno del ángulo de contacto siendo máxima esta fuerza cuando el ángulo de contacto es cero, como sucede en la mayoría de los suelos hidrofílicos (52) en los cuales la penetración inicial del agua es grande y decrece exponencialmente con el tiempo.

En un suelo hidrofóbico natural no ocurre esta penetración rápida. El agua se infiltra muy lentamente al principio, debido a que las partículas resisten el humedecimiento. Sin embargo, a medida que se acumula agua en la capa superficial se comienza a desarrollar un "frente positivo" que empuja el agua dentro del suelo, incrementándose lentamente el porcentaje de la misma que se mueve dentro del suelo

(39). No obstante, a pesar de que la rata de entrada del agua en un suelo hidrofóbico continúa incrementándose lentamente en función del tiempo, esta rata es siempre menor que la que se observa en un suelo mojable o hidrofílico (23).

El fenómeno de resistencia al humedecimiento se debe a que la atracción entre las moléculas de agua y las partículas de suelo es menor que entre moléculas de agua. Esta diferencia en el grado de atracción origina la formación de un ángulo de contacto entre agua y suelo mucho mayor que cero (muchas veces mayor que 90°) siendo siempre mayor el que se forma en una superficie hidrofóbica que en una hidrofílica (24).

Efecto sobre la evaporación: Las sustancias hidrofóbicas reducen la evaporación de los suelos. Experimentos llevados a cabo han demostrado que las pérdidas de agua por evaporación pueden ser de 15 a 35% menores en suelos repelentes al agua, en comparación con suelos de la misma textura, no repelentes al agua (25).

Efectos sobre el uso y manejo de los suelos: La repelencia al agua afecta la estabilidad y el uso de los suelos (23). Una repelencia severa al agua, puede alterar las relaciones agua-suelo e impedir severamente el crecimiento de la vegetación. La presencia de suelos hidrofóbicos naturales, puede ser un serio problema cuando la pendiente es fuerte, ya que se reduce notablemente la infiltración y se aumenta el peligro de erosión.

Recuperación de suelos hidrofóbicos

Los problemas que presentan los suelos hidrofóbicos se han tratado de solucionar por la adición de los llamados "agentes mojantes", que al mezclarse con el agua forman una solución que tiene una tensión superficial más baja que el agua inicial, y al entrar en contacto con un sólido hace que disminuya el ángulo de contacto líquido-sólido (54).

2.6. Suelos hidrofóbicos artificiales

Los suelos hidrofóbicos artificiales pueden ser creados añadiendo al suelo, sustancias que los hagan repelentes al agua (23). Esta "creación" de suelos repelentes al agua, ha sido ensayada con frecuencia en años recientes, sobre todo en zonas áridas, como una manera de aprovechar al máximo el agua de lluvia. El suelo impermeabilizado se usa como una estructura capaz de captar agua, que luego se almacena para usos domésticos y agrícolas (51).

2.6.1. Sustancias hidrofóbicas artificiales

Existe gran cantidad de materiales que pueden ser usados para cubrir el suelo e incrementar el almacenamiento de agua de lluvia. Además del uso de asfalto, plásticos y cauchos (42) se pueden mencionar como los más prometedores, los repelentes químicos al agua, debido a su bajo costo y a la posibilidad de aplicarlos en forma de rocío (51).

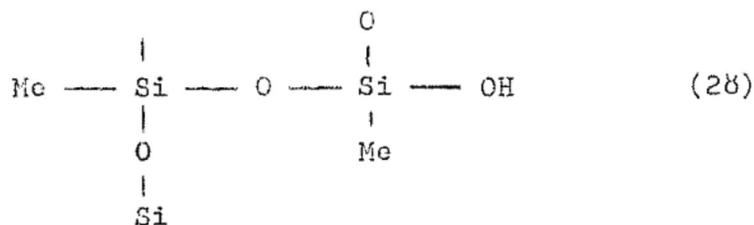
Entre las sustancias hidrofóbicas usadas actualmente para volver los suelos repelentes al agua, se pueden mencionar entre los más importantes las siguientes:

Rosinato de sodio (Sodium rosinate). Aplicado en proporción de 27 Kg/Ha, torna el suelo repelente al agua y estabiliza la superficie del mismo. Presenta la desventaja de ser destruído rápidamente por oxidación y de formar precipitados insolubles con las sales contenidas en el agua corriente (49, 52).

Cloruro de dialquil-amonio (Dialkyl quaternary ammonium chloride). En dosis de 5,2 Kg/Ha, puede detener completamente la infiltración en suelos arenosos, pero es extremadamente susceptible a la erosión, debido a que no penetra en el suelo (49, 52). Necesita además, agua destilada para su preparación.

Acetato lipo-amino (Fatty amine acetate). Este producto disuelto en agua destilada vuelve al suelo altamente repelente al agua, aplicado en forma de rocío a razón de 250 lb/acre. Se deteriora rápidamente a temperaturas de 60°C (52).

Metil-silanolato de sodio (Sodium methyl silanolate). Conocido comercialmente como R-20, (Union Carbide) es un agente impermeabilizante para concreto. El R-20 es soluble en agua corriente y reacciona con el Ca o Mg del suelo para formar una resina hidrofóbica e inerte que no es biodegradable y que es estable a temperaturas superiores a 93°C (49, 52). Químicamente el R-20 está constituido por silicones que polimerizan en presencia de anhídrido carbónico y agua, para formar una película resinosa del tipo



Esta película puede estar químicamente unida al suelo a través de los grupos silanol o en otra forma. En cualquier caso, las características de repelencia al agua derivan de los grupos metilo expuestos y que cubren al suelo de manera efectiva (28).

Las pruebas de laboratorio demostraron que las soluciones de R-20 en agua corriente, rociadas en la superficie del suelo, pueden crear una capa de suelo hidrofóbico de más de una pulgada de espesor. Las dosis usadas fueron de 250 lb/acre para suelos franco-arenosos y 750 lb/acre para suelos franco-arcillosos (49, 52).

La máxima capacidad de la capa de suelo hidrofóbico obtenido, fue una función de la concentración, sin embargo, las concentraciones de las soluciones que dieron un máximo de hidrofobicidad, fueron las mismas para todos los porcentajes de aplicación en un suelo dado. Estas concentraciones fueron de 1,5 y 2% (52).

Observaciones llevadas a cabo en parcelas experimentales, indicaron que cerca del 30% de las parcelas tratadas, permanecieron todavía repelentes al agua, después de una exposición a alta radiación solar, precipitación y fuerzas destructivas relacionadas, durante 16 meses.

2.6.2. Evaluación de suelos hidrofóbicos

El grado de impermeabilización de un suelo provocado por sustancias hidrofóbicas, se puede evaluar midiendo la repelencia al agua y la resistencia a la infiltración.

Repelencia al agua. La repelencia al agua de una superficie, es una medida de su habilidad para hacer que el agua resbale sobre ella y puede ser evaluada cuantitativamente, por la determinación del ángulo

efectivo de contacto líquido-sólido (28).

En el caso de suelos, el término "repelente al agua" normalmente denota un ángulo efectivo de contacto mayor de 90°. Si el ángulo efectivo de contacto es menor de 90° ocurre un humedecimiento espontáneo del sistema capilar (28).

El ángulo de contacto puede ser determinado por el método de Poynting y Thomas que consiste en añadir agua a la superficie sólida que está siendo probada hasta que se forma una gota en la cual, la adición de más agua incrementa solo su diámetro y no su altura. El ángulo de contacto es calculado en esta gota de agua de altura máxima por la relación (28).

$$\cos \theta_s = 1 - \frac{\rho g L^2}{2\gamma} \quad [2]$$

en la cual:

- θ_s = ángulo de contacto
- ρ = densidad del agua
- g = constante gravitacional
- γ = tensión superficial del agua
- L = altura máxima de la gota de agua

Resistencia a la infiltración: Es una medida de la habilidad del repelente al agua, que se encuentra en los poros superficiales, para resistir el flujo capilar. Puede ser evaluada cuantitativamente por la determinación de la presión justa necesaria para iniciar el flujo del agua dentro de los poros del suelo (28). Esta presión está dada por la ecuación

$$h_{\omega} = - \frac{2\gamma \cos \theta_{\omega}}{\rho g r} \quad [3]$$

en la cual:

h_{ω} = presión necesaria para iniciar el flujo del agua dentro del suelo, expresada en cm

θ_{ω} = ángulo de contacto líquido-sólido

r = radio de poros del suelo

γ = tensión superficial del agua

ρ = densidad del agua

g = constante gravitacional

2.6.3. Usos de los suelos hidrofóbicos artificiales

Todas las sustancias hidrofóbicas mencionadas anteriormente, han sido utilizadas únicamente en zonas áridas, en las cuales se impermeabiliza totalmente el suelo para que funcionen como una estructura para coleccionar agua: el agua de lluvia se desliza sobre el suelo impermeabilizado sin infiltrarse y luego por medio de un sistema colector, se almacena en grandes depósitos, utilizándose posteriormente para usos diversos (42, 50, 51).

Las propiedades mecánicas de los suelos también han sido mejoradas con el uso de sustancias que previenen la absorción del agua (23). De modo análogo, estos productos químicos usados en zonas áridas para coleccionar agua, pueden ser usados en áreas tropicales húmedas ó en otras regiones para impermeabilizar parcialmente el suelo en la zona de aplicación del fertilizante y luego medir el efecto causado por esta impermeabilización en el movimiento de los elementos nutritivos a través del perfil del suelo.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Area de estudio, localización y características

El área donde se llevó a cabo el presente estudio se encuentra situada en terrenos del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en Turrialba, Costa Rica. Las coordenadas geográficas del CTEI son: latitud norte 9° 35', longitud este 83° 58'.

Según el mapa ecológico de Costa Rica confeccionado por Holdridge (36), la zona donde se encuentra el área de estudio corresponde al bosque subtropical muy húmedo, con una altura de 630 m sobre el nivel del mar, precipitaciones promedio anuales de 2682 mm, y temperaturas medias mensuales, máximas y mínimas de 27,1 y 16,9°C respectivamente (37).

Los suelos del área experimental forman parte de la fase normal de la serie Instituto, que según Aguirre (2), pertenecen al orden Inceptisol, sub-orden Tropepts, Gran Grupo Dystropepts y Familia fine, mixed, isohypertermic, de acuerdo con los criterios de clasificación de la 7a Aproximación.

3.2. Materiales y aparatos

Variedad de frijol sembrada

Se usó la variedad de frijol (Phaseolus vulgaris L.) denominada 27-R, arbustiva y con granos de color rosado.

Impermeabilizante

Como impermeabilizante se usó el metil silanolato de sodio

(sodium methyl-silanolate) conocido comercialmente como R-20 (Union Carbide) y cuyas características ya se mencionaron anteriormente (49, 52). El producto en su forma original posee una concentración de 640 gramos por litro. Las aplicaciones se realizaron usando una solución de R-20 al 2%, la cual se obtuvo tomando 31,2 ml de R-20 de 640 gramos por litro, por cada litro preparado de solución al 2%.

Techos para cubrir el cultivo

Debido a que la época en que se estableció el cultivo, no era la más adecuada del año, para el normal desarrollo del frijol, se construyeron techos de madera y plástico (polietileno) para cubrir las parcelas en el campo, durante los períodos más lluviosos.

Tensiómetros

Se usaron tensiómetros con medidor de vacío de reloj (Soil Moisture Gauge No. 2700) de 18 pulgadas de largo, para medir la succión del agua en el suelo.

Microelectrodos de platino

Se usaron microelectrodos de platino de tipo TW E14656K 600 V. (Dicks Machine Shop, Lansing, Michigan, U. S. A.) de acuerdo con los principios de Lemon y Erickson (43) y Stelzy y Letey (59).

Cilindros metálicos

Para cada prueba de infiltración se usaron dos cilindros metálicos de 56 y 30 cm de diámetro respectivamente.

Bomba de presión controlada

Para aplicar el impermeabilizante se usó una bomba "Gloria 176" de 5 litros de capacidad, diseñada para proporcionar una presión inicial máxima de 5 Kg/cm^2 .

3.3. Trabajos de campo

3.3.1. Siembra y fertilización

La siembra se efectuó el 12 de setiembre de 1971, usando 100 Kg de semilla por hectárea. Se colocó una semilla cada 10 cm en surcos de 6 m de largo. Cada parcela estaba formada por cuatro surcos y media 2 m de ancho por 6 m de largo, con una distancia de 50 cm entre surcos. El área efectiva de cada bloque era de 72 m^2 y el área total del experimento de 360 m^2 . Las parcelas estaban ubicadas en bancales de 8 m de ancho, para asegurar un buen drenaje superficial.

Los camellones diseñados para la siembra tenían 30 cm de ancho y 10 cm de altura.

La fertilización se realizó en el momento de la siembra, usando una dosis de 650 Kg/Ha de la fórmula 10-40-10, lo que equivale a 65 Kg/Ha de nitrógeno, 260 Kg/Ha de P_2O_5 y 65 Kg/Ha de K_2O . El fertilizante se aplicó al lado de la semilla en bandas de unos 10 cm de ancho. Para cada surco de 6 m de largo se usaron 195 g de fertilizante.

3.3.2. Forma de aplicación del impermeabilizante

El impermeabilizante se aplicó en forma de rocío a razón de 2 gr/m^2 de una solución al 2%, cubriendo bandas de 10 y 20 cm de ancho, que coincidían con la zona de aplicación del fertilizante. Debido a

las cantidades tan pequeñas a aplicar, fue necesario usar una bomba de presión controlada (Gloria 176) con una capacidad de 5 litros, a la cual se acopló una boquilla (Spraying Systems TEE JET 730039) que con una presión inicial de 1 Kg/cm^2 , proporciona aproximadamente unos 140-145 ml por minuto.

Para garantizar la uniformidad de la aplicación, se diseñó una especie de soporte para el tubo aplicador de la bomba: este soporte está formado por dos ruedas unidas a una varilla de hierro y un tubo metálico, que sirve para insertar el tubo aplicador de la bomba, pudiendo regularse a voluntad, la distancia a que se encuentra la boquilla del suelo (Fig. 1).



Fig. 1. Equipo aplicador y forma de aplicación del R-20.

De acuerdo con la cantidad de solución de R-20 al 2%, proporcionada por el equipo aplicador en un tiempo dado, se determinó el tiempo en segundos, necesario para cubrir las bandas de 10 y 20 cm de ancho y 6 m de largo, así como también el número de veces que se podría ir y volver sobre el mismo surco para aplicar la dosis deseada. En el caso de bandas de 10 cm, se necesitaron unos 25 segundos que permitieron ir y volver una vez sobre el surco para realizar la aplicación, en el caso de bandas de 20 cm, se necesitaron unos 50 segundos que permitieron ir y volver 2 veces sobre el surco.

Para estudiar el efecto del impermeabilizante sobre la infiltración del agua en el suelo, se realizaron 10 pruebas de infiltración en 5 lugares diferentes. En cada sitio se realizaron dos pruebas, una en suelo desnudo sin impermeabilizante R-20 y otra con impermeabilizante R-20 en dosis de 2 g/m^2 de una solución al 2%.

Los techos de madera y plástico (Fig. 2) fueron colocados y retirados alternativamente de acuerdo con la abundancia e intensidad de las lluvias. Se trató de proteger al cultivo en las épocas más críticas de su período vegetativo, principalmente durante la floración y la maduración de los frutos (Cuadro 1). Los techos se retiraron cuando las succiones estaban alrededor de 80 centibares.

3.3.3. Ubicación de tensiómetros y microelectrodos de platino

A fin de determinar la succión del agua del suelo durante el período de cultivo, se colocaron al azar y en los dos surcos centrales de cada parcela, dos tensiómetros a 12 cm de profundidad (Soil Moisture Gauge No. 2700) uno en la zona fertilizada a unos 5 cm de las plantas

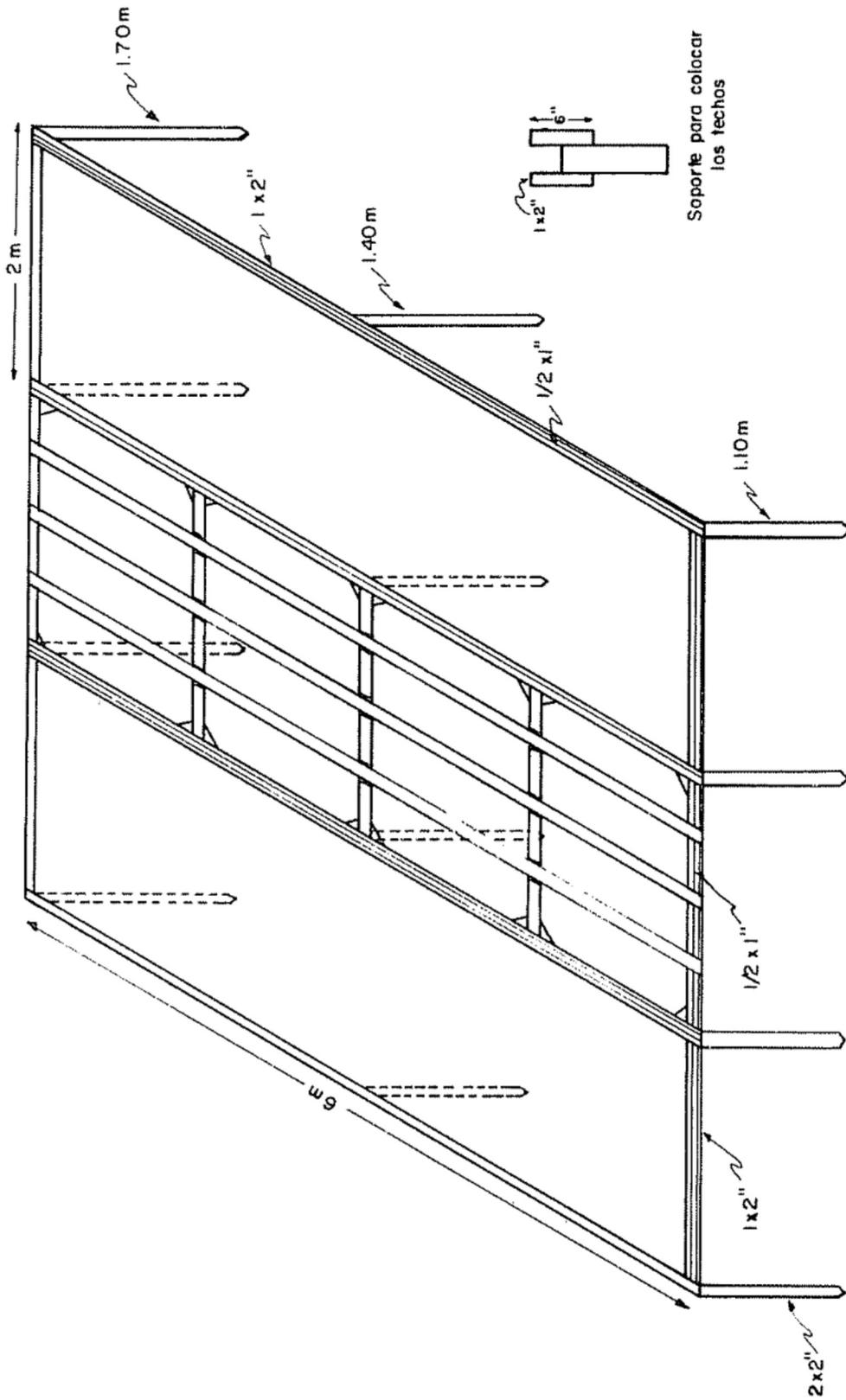


Fig.2 Esquema de los techos de madera y plástico, usados para proteger el frijol durante las épocas más lluviosas. El esquema corresponde a tres techos individuales colocados uno al lado de otro, cubriendo cada uno, una parcela de 2 x 6 metros

y otro en la zona no fertilizada a unos 25 cm de las plantas. Se instalaron un total de 60 tensiómetros, 10 por tratamiento.

Para medir la rata de difusión de oxígeno (R.D.O.) durante el período de cultivo, se usaron microelectrodos de platino en los cuales se determinaron luego diferencias de potencial en relación con un electrodo de referencia.

Se escogieron sitios al azar en los 2 surcos centrales de 18 de las 30 parcelas del experimento, insertando en cada una, a 12 cm de profundidad, dos alambres metálicos comunes (distribuidos en la misma forma que los tensiómetros) con un extremo aguzado y pintados con barniz. Estos alambres, se extraían en el momento de las determinaciones, dejando un hueco que permitía insertar y extraer fácilmente los microelectrodos sin dañarlos.

3.3.4. Muestreo

Primer muestreo: Consistió en la descripción y caracterización de cinco perfiles dentro de la fase normal de la serie Instituto, para estudiar la variabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo. Se tomaron muestras de cada horizonte hasta una profundidad de 80 a 100 cm. En cada una de estas muestras se determinó: distribución de tamaño de partículas, densidad aparente, densidad de partículas, retención de humedad, penetrabilidad, resistencia al corte, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, capacidad de intercambio de cationes y bases cambiablos.

Segundo muestreo: Comprendió la toma de muestras en cinco perfiles más de la serie Instituto, para estudiar más detalladamente la variabi

lidad de las propiedades físicas del suelo relacionadas con humedad y aireación, tales como: densidad aparente, densidad de partículas y retención de humedad. Las muestras se tomaron en los dos primeros horizontes hasta una profundidad de 40-50 cm. Para retención de humedad el volumen muestreado fue de aproximadamente $0,01 \text{ m}^3$, que corresponde a un horizonte de 0,5 m de longitud, 0,2 m de altura y 0,1 m de espesor.

Tercer muestreo: Una semana después de la siembra se tomaron muestras a profundidades de 0-7, 7-15, 15-30 y 30-50 cm, tanto en la zona fertilizada como en la no fertilizada, para determinar el N, P, K total existente en ese momento.

Para cada tratamiento y para cada profundidad se tomaron 8 muestras compuestas, 4 para el área fertilizada y 4 para la no fertilizada. Se analizó independientemente cada una de estas muestras compuestas proveniente de 4 muestras individuales. Cada muestra individual correspondía al volumen extraído por un barrenador muestreador cilíndrico de 2,4 cm de diámetro en cada profundidad y para cada parcela.

De un total de 30 parcelas, se tomaron muestras en 24, lo que representa el 80% del área total. En el momento de la cosecha se realizó un tipo de muestreo semejante al anterior para determinar el N, P, K total existente en ese momento.

3.3.5. Recolección de datos

La succión del agua del suelo se determinó por medio de tensiómetros a partir de la primera semana después de la siembra, tomando datos de la succión en cada parcela, cada 4 días, durante 7 semanas aproximadamente.

La rata de difusión de oxígeno (R.D.O.) se comenzó a determinar, quince días después de la siembra, tomando datos en las parcelas escogidas, cada 4 días durante 4 semanas aproximadamente.

3.4. Trabajos de laboratorio

Todos los análisis fueron realizados con muestras secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm. Excepto para N, P, K total que se realizó con muestras tamizadas por 60 mesh. Los métodos usados fueron los siguientes.

3.4.1. Análisis físicos

Distribución de tamaño de partículas: método del hidrómetro modificado por Day (22) y adaptado por Forsythe (29).

Densidad aparente: Se utilizó un cilindro metálico de volumen conocido para obtener muestras de suelo no alteradas, según la técnica descrita por Blake (9).

Densidad de partículas: Se midió el volumen desplazado por una masa conocida de suelo en un frasco volumétrico de 250ml, usando kerosene hervido, como líquido desplazante, de acuerdo con la técnica de Blake (8) modificada por Forsythe (30).

Penetrabilidad: Se midió con penetrómetro de pistón de acero inoxidable de 5 mm de diámetro, (John Chatillon, New York, Cat No 719-40, MRPFRR) calculando el esfuerzo en bares necesario para introducir el pistón, 5 mm en el suelo (61).

Resistencia al corte: Se usó aparato de torsión con cuchillos "Torvane" (Soil Test Cat No CL 600, Torvane Shear).

Retención de humedad: Para el proceso de desorción se siguió el método de Richard (55, 56) modificado por Forsythe*, que se basa en el uso de una olla de presión y un plato poroso para extraer el agua de la muestra de suelo no alterada, de 1 cm de altura a diferentes succiones. Para el proceso de adsorción se usaron también ollas de presión y platos porosos. Se sometieron primeramente las muestras saturadas a succiones de 15, 3 y 0,2 bares en 3 ollas diferentes, disminuyendo luego progresivamente las succiones a 10 y 5 bares en la olla con presión inicial de 15, a 2, 1, 0,5 y 0,2 en la olla con presión inicial de 3 y a 0,1, 0,05 y 0,01 en la olla con presión inicial de 0,2 bares. Para cada succión se usaron muestras diferentes del mismo horizonte. Las muestras de los tratamientos subrayados se analizaron para humedad gravimétrica.

Para facilitar el proceso de adsorción, se introdujeron tubos de plástico de diámetro más pequeño que los tubos de drenaje, hasta tocar la base de los platos, bombeando agua a través de estos tubos para mojarlos y así asegurar su humedecimiento, durante la adsorción. De esta forma se elimina el aire que queda entre el plato poroso y la membrana de hule, asegurando buen contacto con la línea hidrostática que queda establecida después de mojar el plato.

3.4.2. Análisis químicos

Reacción del suelo (pH): Se determinó en H_2O y K Cl, usando una relación 1:1 agua-suelo y 1:2,5 K Cl-suelo. (Potenciómetro Beckman de electrodo de vidrio, modelo 96).

* Curso de Física de Suelos. IICA, Turrialba, Costa Rica.

Materia orgánica: Según Sáiz del Río y Bornemisza (58) basada en el método de Walkley y Black,

Nitrógeno total: Método semi-micro Kjeldahl de Bremner (17) modificado por Díaz Romeu (se usaron muestras de 1 g tamizadas por malla de 60 mesh).

Fósforo y Potasio total: Para determinar Fósforo y Potasio total, se realizó una digestión total de muestras de suelo de 0,2 g tamizadas por malla de 60 mesh, según el método de Ulrich et al (62), luego en los filtrados obtenidos, se determinó fósforo total por colorimetría y potasio total por espectrofotometría de absorción atómica, (usando espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo 303).

Fósforo disponible: Se empleó el método denominado Bray 1 (16) modificado por Sáiz del Río y Bornemisza (58).

Capacidad de intercambio de cationes y bases cambiables: Método de Bower et al (15) modificado por Díaz Romeu y Balardi (25).

3.5. Esquema experimental

Para cumplir con los objetivos señalados se estudiaron dos factores: siembra en camellones e impermeabilización química del suelo, con 2 y 3 niveles respectivamente.

Como diseño de experimento se usó el de bloques al azar con 5 repeticiones y 6 tratamientos en cada bloque. Como diseño de tratamientos se usó un factorial 3 x 2 que comprende los siguientes factores y niveles:

$$S_{y \cdot x}^2 = \frac{1}{r(n-2)} \left[\Sigma (y_i - \bar{Y})^2 - \frac{\left\{ \Sigma (x_i - \bar{X}) (y_i - \bar{Y}) \right\}^2}{\Sigma (x_i - \bar{X})^2} \right] \quad [5]$$

n = número de submuestras extraídas de una unidad de volumen

n-2 = grados de libertad para $S_{y \cdot x}$, en una unidad de volumen

r = número de unidades muestrales de volumen

r(n-2) = número de grados de libertad para $S_{y \cdot x}^2$.

Los datos de infiltración con y sin impermeabilizante fueron analizados usando el modelo de regresión exponencial $Y_i = \beta_0 X_i^{\beta_1}$ en la cual:

Y_i = infiltración acumulada en cm

X_i = tiempo en minutos

β_0 y β_1 = Coeficientes

Para la estimación del escurrimiento en función de la precipitación y la infiltración, se siguió la metodología propuesta por Musgrave y Holtan (65) según la cual, los valores de escurrimiento se obtienen restando de la curva de precipitación, los valores de la curva de infiltración para un mismo tiempo. Antes de efectuar esta sustracción, la curva de infiltración acumulativa se ubica sobre el gráfico de precipitación, desplazándolo a lo largo del eje de las Y, hasta que la curva de precipitación sea tangente a la de infiltración en algún punto.

La infiltración real es una especie de ajuste de la infiltración potencial que se realiza cuando la precipitación en un intervalo de

tiempo, disminuye o permanece constante, siendo estos valores de infiltración real, los que se consideran para el cálculo.

El cálculo de la infiltración por precipitación se realizó, considerando la mitad de los valores encontrados para infiltración por inundación, ya que se admite generalmente que la infiltración causada por la lluvia, es aproximadamente igual a la mitad de la infiltración provocada por inundación del suelo.

Para estudiar la tendencia del movimiento del N, P, K en el suelo, se usó el modelo de regresión geométrica $Y_i = \beta_0 \beta_1^{X_i}$ en la cual:

Y_i = concentración del elemento en ppm

X_i = profundidad en cm

β_0 = concentración superficial del elemento en ppm

β_1 = coeficiente de penetrabilidad

De acuerdo con este modelo, si $\beta_1 > 1$, la concentración del elemento tiende a aumentar con la profundidad, si $\beta_1 < 1$, la concentración del elemento tiende a disminuir con la profundidad y si $\beta_1 = 1$ la concentración del elemento permanece constante a diferentes profundidades (31).

4. RESULTADOS

4.1. Infiltración y escurrimiento

Las pruebas de infiltración realizadas con y sin R-20 indicaron (Figs. 3 y 4) que el impermeabilizante aplicado, redujo la infiltración del agua en el suelo en un 60% aproximadamente, porcentaje que proporciona una evaluación del grado de impermeabilización logrado con las aplicaciones de R-20.

El análisis en conjunto de los datos de lluvias máximas y mínimas recibidas por el cultivo y la infiltración, permitieron evaluar el escurrimiento ocurrido en las parcelas del experimento. De acuerdo con las figuras 5 y 6 se determinó que el escurrimiento en las bandas impermeabilizadas con R-20 fue de un 43% del total de lluvia caída, mientras que en toda el área no impermeabilizada el escurrimiento fue de 3,7% del total de lluvia caída. Dentro de cada bloque de 72 m², se impermeabilizaron 14,4 m², o sea un 20% del área total.

4.2. Capacidad de retención de humedad, proceso de desorción

La capacidad de retención de humedad de los suelos de la serie Instituto indica que el horizonte superficial (0-23 cm) presenta condiciones apropiadas para una buena aireación del suelo ya que aún a succiones tan bajas como 0,01 y 0,05 bar presenta un espacio aéreo de aproximadamente 10% (Fig. 7).

En el horizonte subsuperficial (23-42 cm) la capacidad de retención de humedad, aumenta considerablemente, provocando una aireación deficiente ya que un espacio aéreo igual o mayor de 10% se alcanza cuando el agua está retenida con una succión de 0,2 bares o más (Fig. 8).

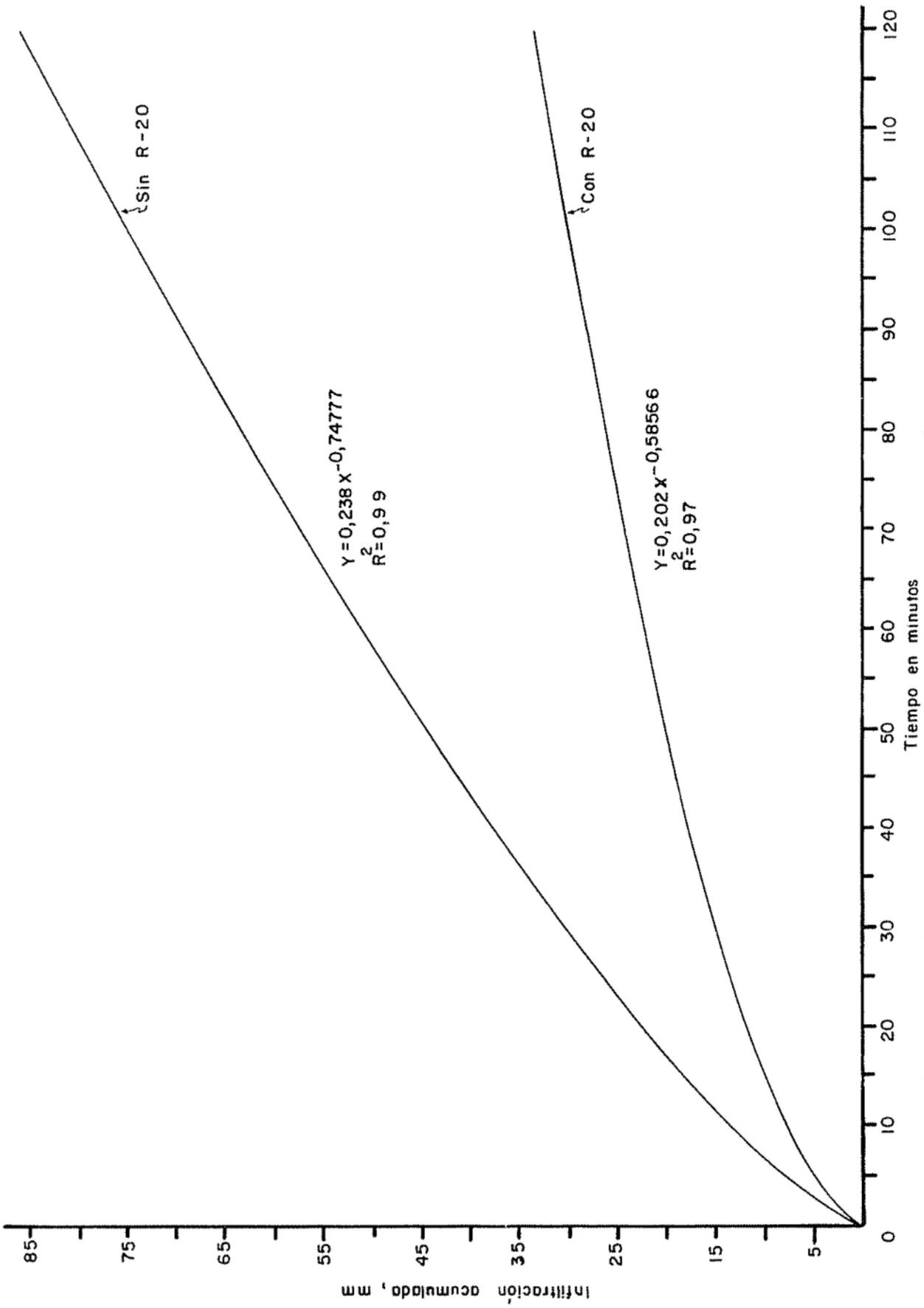


Fig. 3 Infiltración por inundación. Efecto de la impermeabilización con R-20 (2gm./m²) en suelos de la serie Instituto, fase normal.

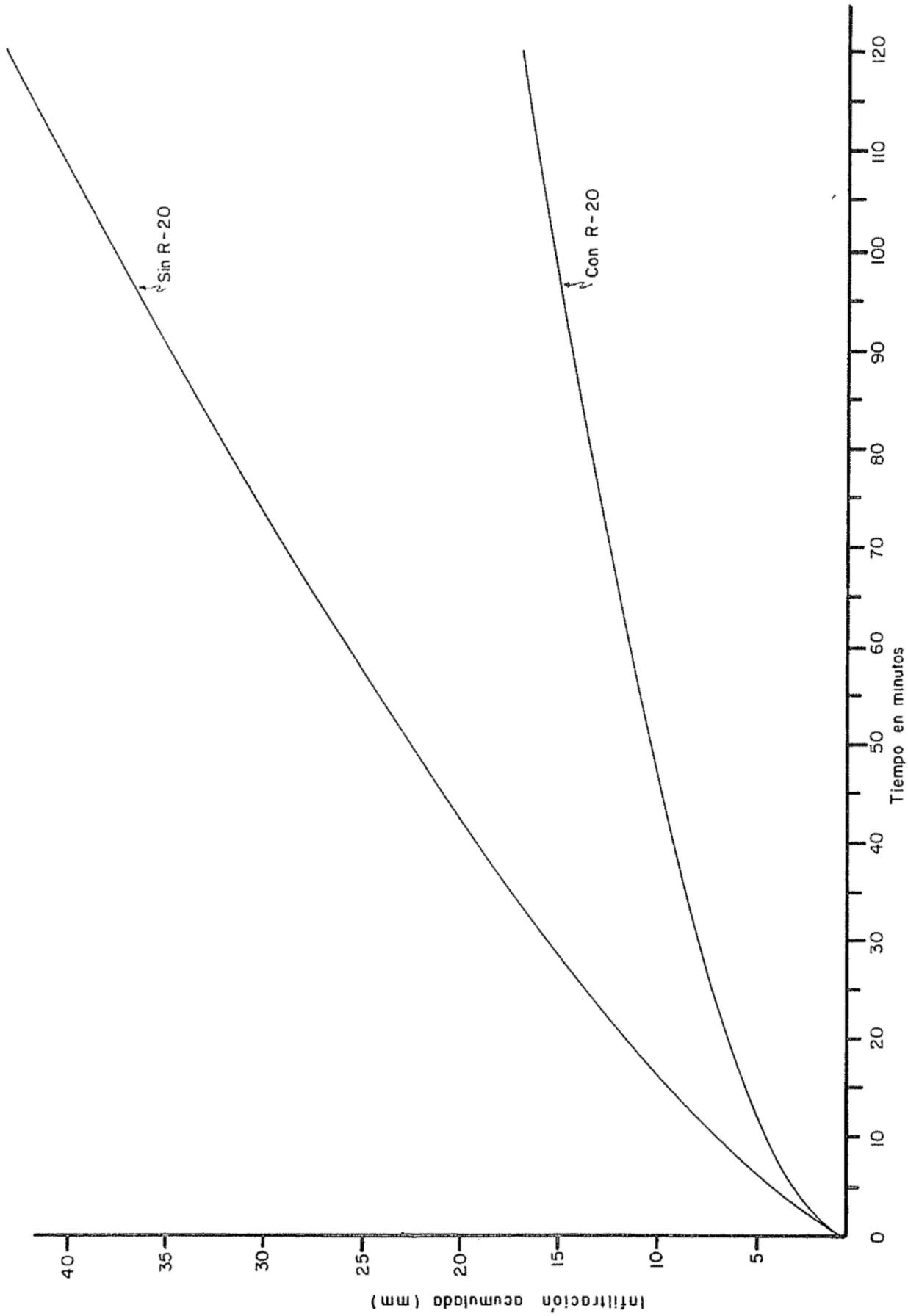


Fig. 4 Infiltración por precipitación. Efecto de la impermeabilización con R-20 ($2\text{gr}/\text{m}^2$) en suelos de la serie Instituto, fase normal. Los datos corresponden a la mitad de los valores encontrados para infiltración por inundación.

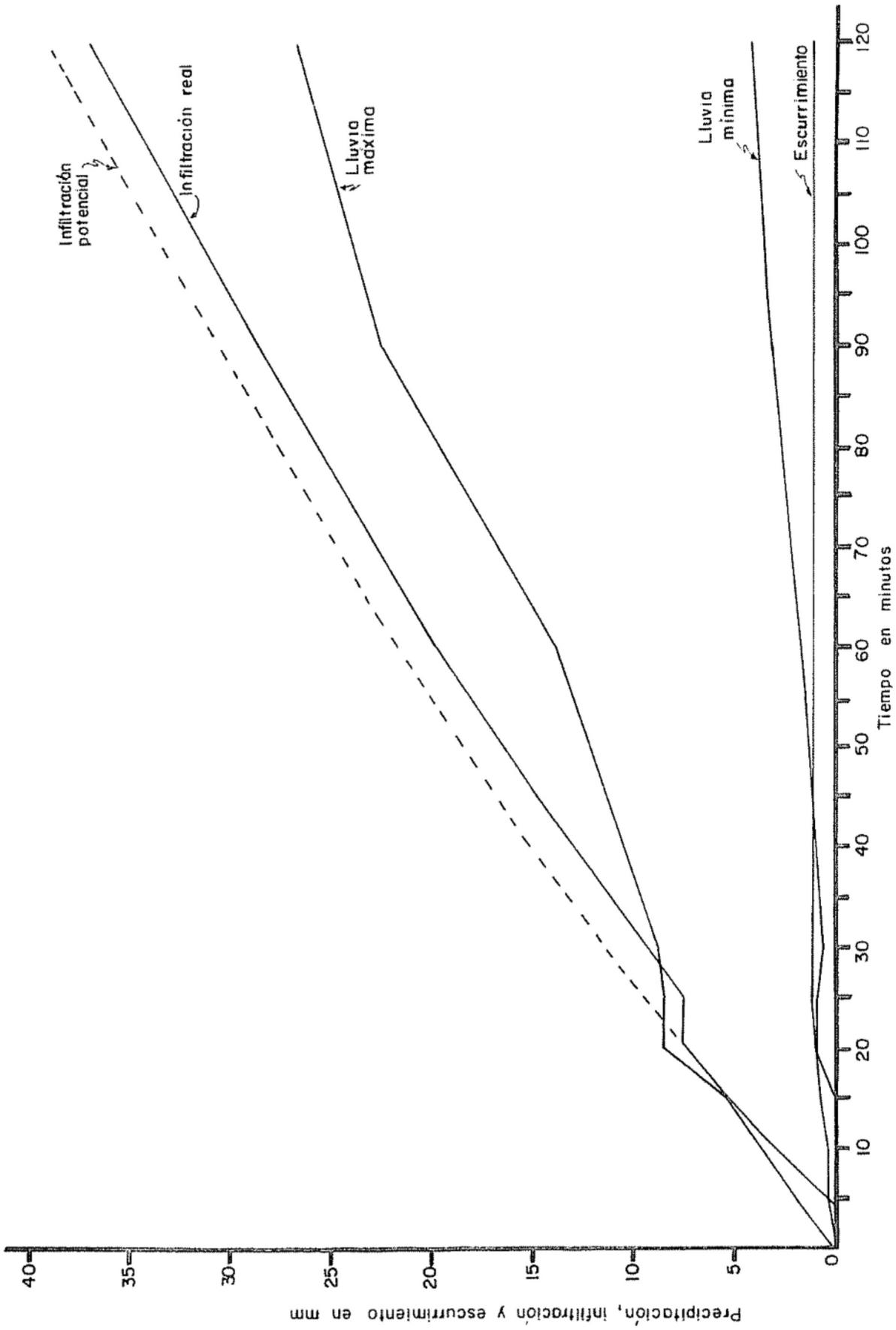


Fig. 5 Infiltración y escurrimiento calculado a partir de lluvias máximas y mínimas en suelos no impermeabilizados

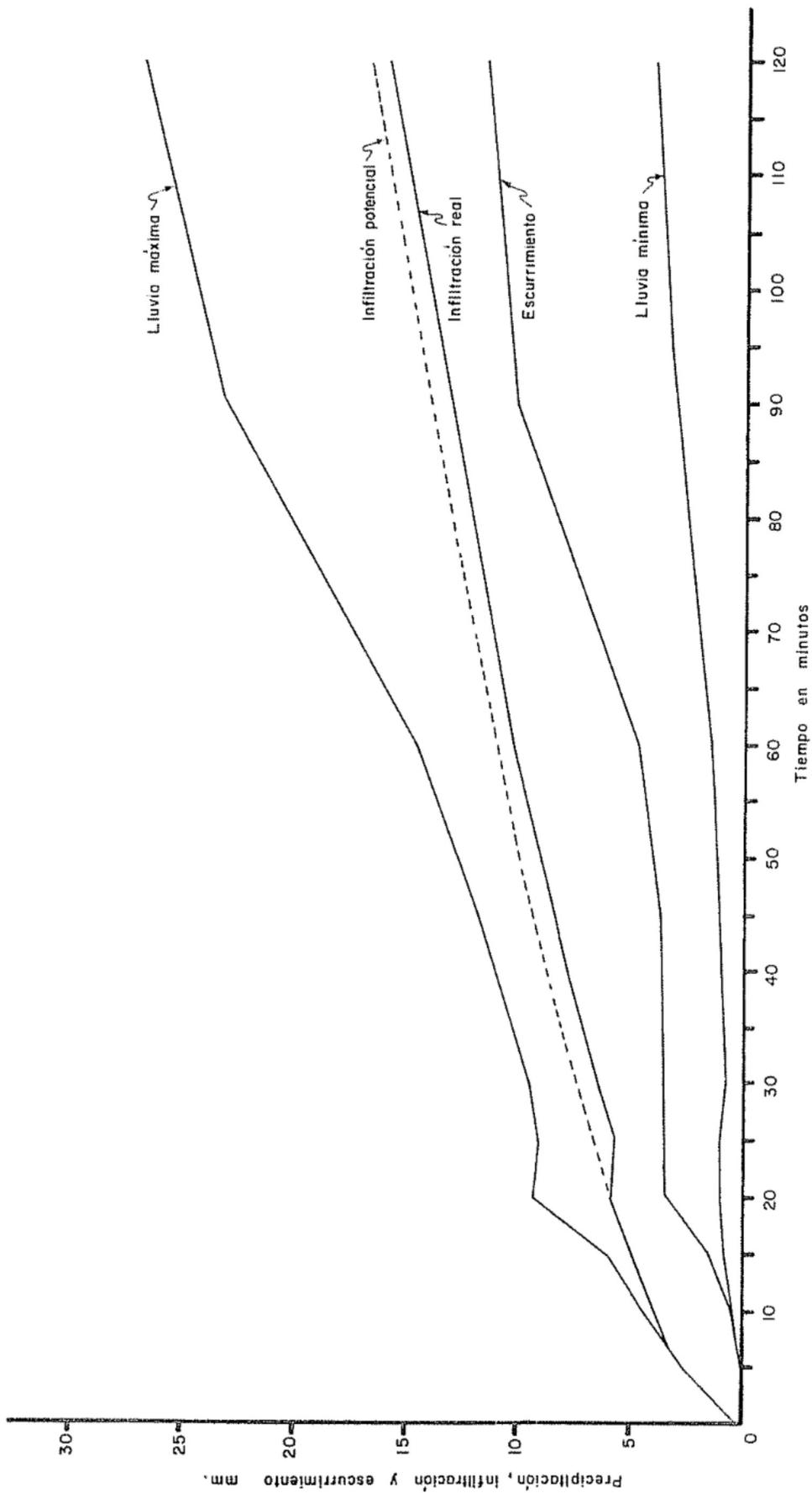


Fig. 6 Infiltración y escurrimiento calculado a partir de lluvias máximas y mínimas en suelos impermeabilizados con 2 grs./m² de R-20

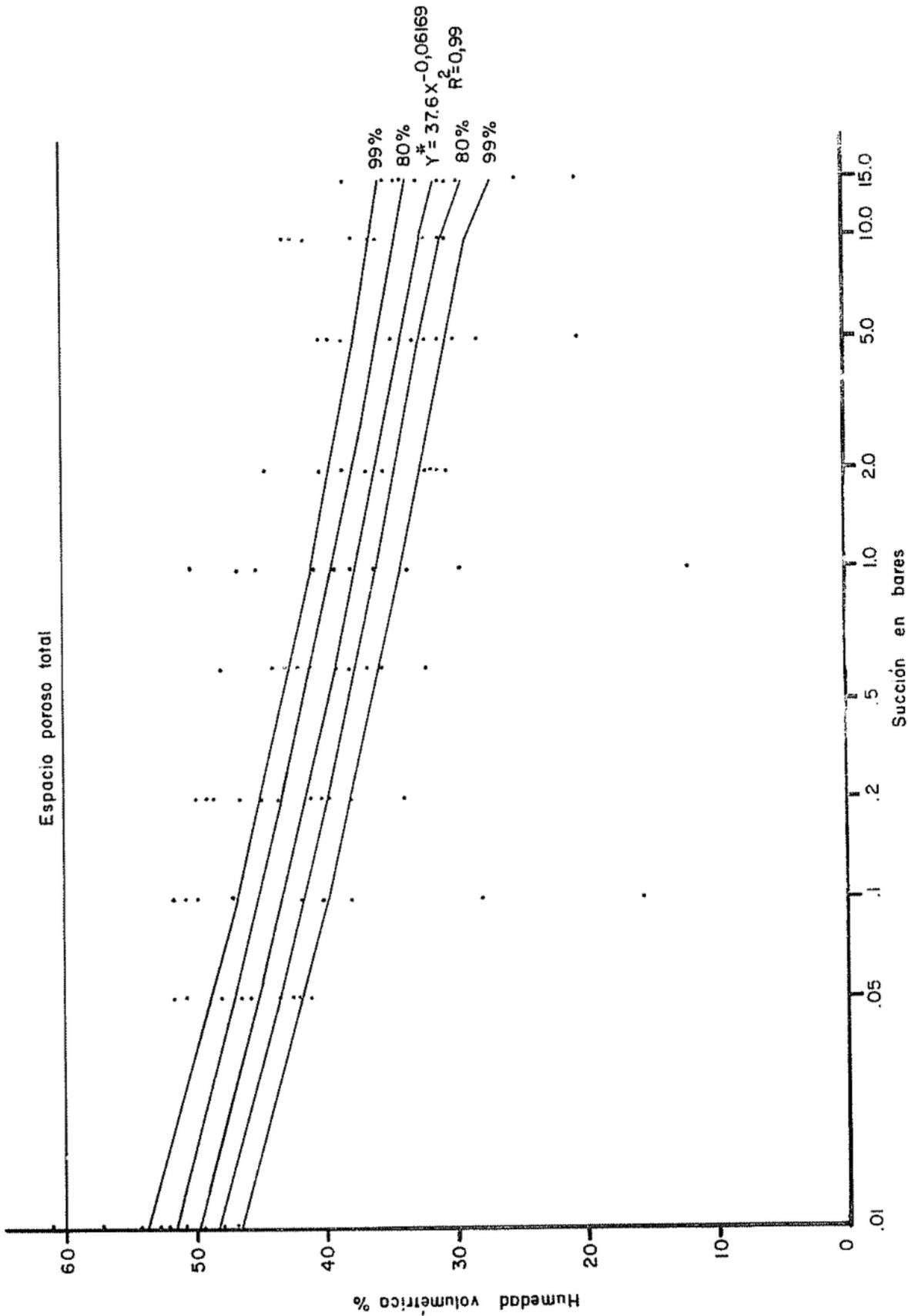


Fig. 7 Capacidad de retención de humedad (desorción) en el horizonte superficial, 0-23 cm, de los suelos de la serie Instituto, fase normal

* Regresión obtenida de 100 valores observados de humedad volumétrica

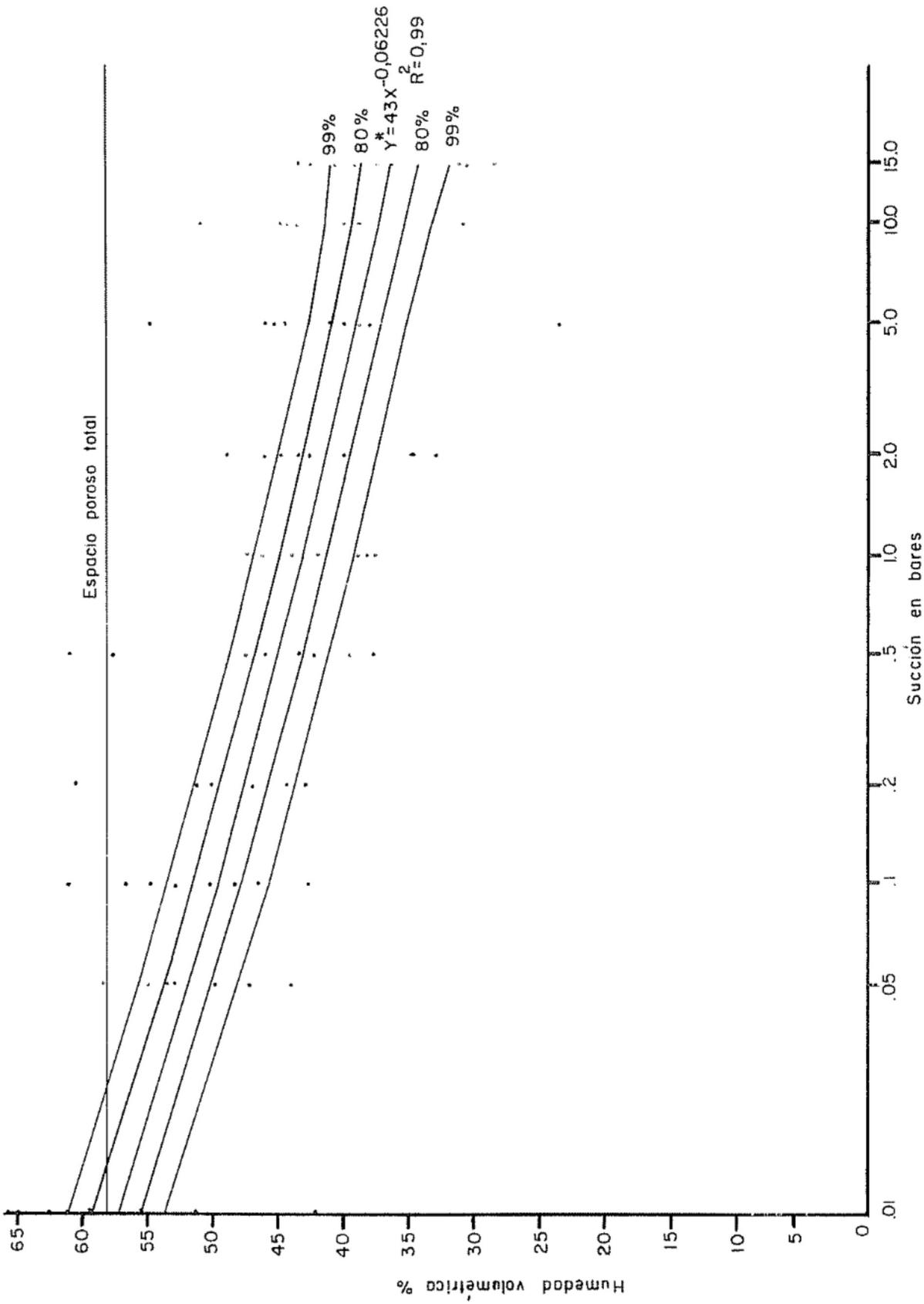


Fig. 8 Capacidad de retención de humedad (desorción) en el horizonte subsuperficial 23-42 cm, de los suelos de la serie Instituto, fase normal.
 * Regresión obtenida de 100 valores observados de humedad volumétrica.

En el proceso de adsorción, contrariamente a lo que se esperaba, los resultados fueron prácticamente los mismos en el caso del horizonte subsuperficial (23-42 cm) no observándose histéresis (Fig. 9). En el caso del horizonte superficial (0-23 cm) se observó un pequeño aumento de la capacidad de retención de humedad, que alcanzó un máximo de 4,5% para una succión de 0,01 bar disminuyendo esta diferencia a 1% para succiones de 15 bares (Fig. 10).

4.3. Succión del agua del suelo

La succión del agua del suelo, durante la mayor parte del período vegetativo del frijol, alcanzó valores mínimos superiores a 0,01 bar (Cuadro 2) presentando en muy pocas ocasiones un estado de saturación total.

El análisis estadístico no indicó diferencias significantes entre las succiones observadas en los diferentes tratamientos, (camellón y R-20) observándose únicamente diferencias de succión en relación con las diversas épocas en que se realizó la medición y en relación con la interacción, época de medición y ubicación del fertilizante.

4.4. Diferencias de succión

El análisis estadístico de las diferencias observadas entre las succiones en la zona fertilizada y las succiones de la zona no fertilizada (Cuadro 3) muestran que el impermeabilizante R-20 y la siembra en camellones provocan diferencias en succión, significantes entre zona fertilizada y no fertilizada lo que equivale a decir entre zona impermeabilizada y no impermeabilizada. Esta diferencia se observa

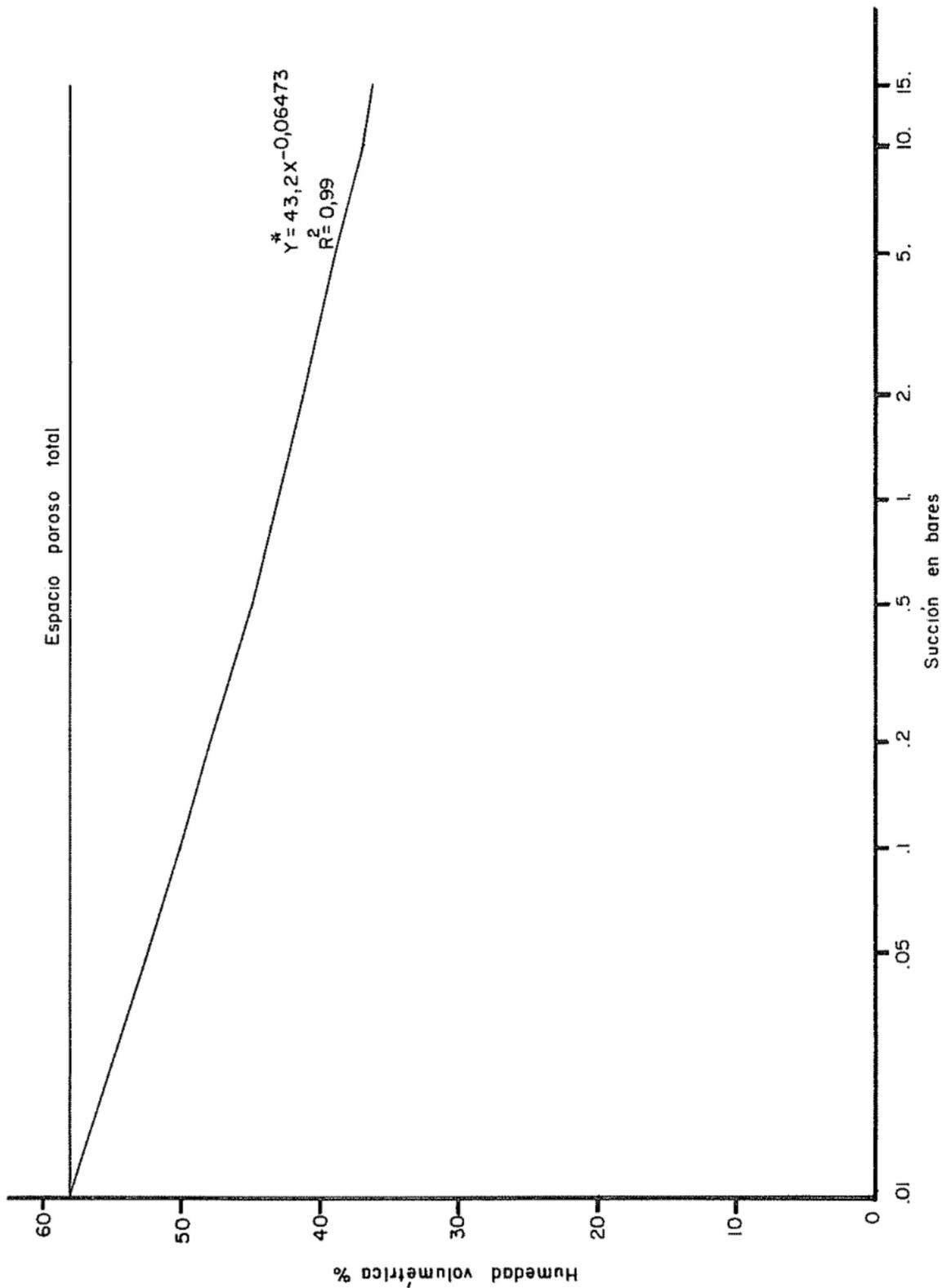


Fig. 9 Capacidad de retención de humedad (adsorción) en el horizonte subsuperficial, 23-42 cm. de los suelos de la serie Instituto, fase normal.

*Regresión obtenida de 100 valores observados de humedad volumétrica

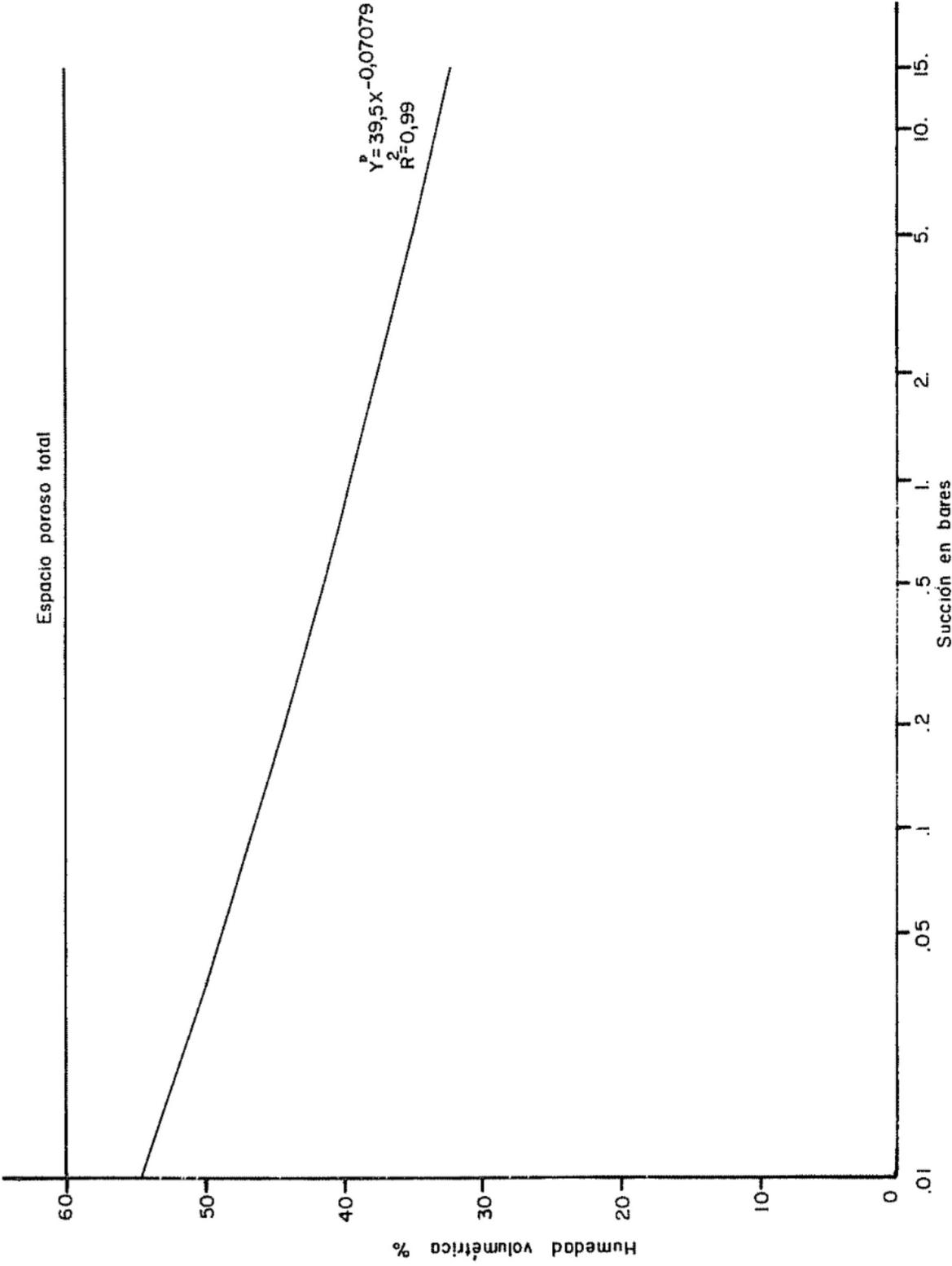


Fig. 10 Capacidad de retención de humedad (adsorción) en el horizonte superficial, 0-23 cms, de los suelos de la serie Instituto fase normal.

* Regresión obtenida de 100 valores observados de humedad volumétrica

Cuadro 2. Succión* del agua del suelo, correspondiente a 12 determinaciones realizadas durante el período de cultivo del frijol.

FECHA	T R Á T A M I E N T O S												
	Testigo		Camellón		Sin camellón		Sin camellón		Camellón		Camellón		
	NF	F	R-20	20 cm	R-20	20 cm	R-20	10 cm	sin R-20	R-20	10 cm	R-20	10 cm
19-9-71	3,6	1,4	6,2	1,8	7,0	2,6	0,8	5,6	0,8	1,8	5,0	2,4	1,0
23-9-71	16,2	9,2	12,2	13,4	11,8	15,4	10,6	15,8	10,6	12,0	15,2	13,2	12,4
27-9-71	9,0	8,0	5,8	7,6	5,6	4,4	10,6	10,6	5,6	7,6	10,0	8,0	8,2
1-10-71	2,4	4,4	2,8	2,2	3,2	3,0	0,4	5,4	0,4	1,0	2,0	2,4	0,8
5-10-71	2,0	4,4	4,2	2,0	3,8	2,8	1,2	6,0	1,2	2,6	2,0	2,8	1,0
9-10-71	31,4	22,6	15,6	23,4	20,0	33,4	26,8	32,8	32,8	23,4	36,0	19,8	25,8
11-10-71	30,0	33,0	22,0	37,0	32,2	52,0	38,6	30,0	38,6	32,4	53,6	29,2	37,8
12-10-71	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,0	0,0
16-10-71	55,6	54,4	61,4	66,6	64,4	61,4	61,2	61,2	61,2	58,8	63,2	60,2	57,2
23-10-71	17,0	14,0	2,6	1,8	2,0	3,6	0,2	7,4	0,2	3,4	4,4	2,4	2,6
27-10-71	63,6	62,4	61,8	75,8	62,6	66,8	70,6	70,6	71,6	67,8	70,4	68,6	67,0
1-11-71	40,0	26,0	40,2	44,6	30,6	41,6	43,8	41,4	43,8	35,2	36,8	46,6	44,0

* En centibares, promedio de 5 repeticiones

NF = Zona no fertilizada F = Zona fertilizada

Cuadro 3. *Diferencias observadas entre las succiones de la zona fertilizada y las succiones de la zona no fertilizada en parcelas de frijol.

F E C H A S	T R A T A M I E N T O S					
	Testigo	Camellón R-20 20 cm	Sin camellón R-20 20 cm	Sin camellón R-20 10 cm	Camellón sin R-20	Camellón R-20 10 cm
19-9-71	2,2	4,4	4,4	2,8	-0,2	1,4
23-9-71	7,0	-1,2	-3,6	5,2	-16,0	0,8
27-9-71	1,0	-1,8	0,8	3,0	-2,4	-0,2
1-10-71	-2,6	0,6	0,2	5,0	-1,0	1,6
5-10-71	-2,4	2,2	1,0	4,8	0,6	1,8
9-10-71	8,8	-7,4	-13,4	-6,0	-12,6	-6,0
11-10-71	-2,8	-19,0	-19,8	-6,6	-22,0	-8,6
12-10-71	0	0,0	0,4	0,0	-0,2	0,0
16-10-71	3,2	-5,2	3,0	0,0	-3,4	3,0
23-10-71	3	0,8	1,6	36,0	-1,0	1,8
27-10-71	1,2	-14,0	-4,2	1,0	-2,6	0,6
1-11-71	0,6	-2,8	-10,0	-0,8	-1,6	3,4

* En centibares, promedio de 5 repeticiones. Las diferencias positivas corresponden a una succión mayor en la zona no fertilizada que en la fertilizada. Las diferencias negativas corresponden a una succión mayor en la zona fertilizada, que en la no fertilizada.

tanto al considerar individualmente cada factor como al estudiar su interacción.

4.5. Difusión de oxígeno

El análisis estadístico de las ratas de difusión de oxígeno correspondientes a 6 determinaciones (Cuadro 4) indica que el impermeabilizante R-20 y la siembra en camellones no produjeron efectos estadísticamente significantes sobre la rata de difusión de oxígeno, observándose únicamente diferencias en las ratas de difusión de oxígeno, en relación con la ubicación del fertilizante.

4.6. Movilidad de nitrógeno

En el caso de nitrógeno total, los coeficientes de penetrabilidad (Cuadro 5) correspondientes a las épocas de siembra y cosecha presentan diferencias, ya que mientras en el momento de la siembra la tendencia general fue de disminución con la profundidad ($\beta_1 < 1$) en el momento de la cosecha, la tendencia fue más bien de aumento con la profundidad ($\beta_1 > 1$). Estas diferencias se observaron tanto en la zona fertilizada como en la no fertilizada.

De acuerdo con el análisis estadístico estas diferencias no son atribuibles a efecto de impermeabilización con R-20, ni a la siembra en camellones, sino únicamente a las épocas diferentes en que se midió la concentración de nitrógeno total a diversas profundidades. El aumento de concentración con la profundidad generalmente se detectó a profundidades no mayores de 30 cm para la zona fertilizada y no mayores de 15 cm para la zona no fertilizada (Cuadros 6 y 7).

Cuadro 4. Bajas de difusión de oxígeno* (O.D.R.) correspondientes a 6 determinaciones realizadas durante el período de cultivo del frijol.

FECHA	T R Á T A M I E N T O S												
	Camellón		Sin camellón		Sin camellón		Camellón		Camellón		Camellón		
	R-20	20 cm	R-20	20 cm	R-20	10 cm	sin R-20	sin R-20	R-20	10 cm	R-20	10 cm	
NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F
1-10-71	21,2	22,6	19,8	17,1	18,3	20,5	12,3	18,9	22,7	24,6	18,1	24,3	
5-10-71	5,6	6,3	6,1	6,2	4,3	8,3	8,0	4,3	6,3	4,7	5,1	5,5	
12-10-71	6,3	5,5	4,3	4,1	3,5	5,8	7,0	6,3	5,3	4,3	7,2	5,8	
16-10-71	29,8	27,3	35,5	33,2	29,9	20,5	31,9	33,7	31,4	31,6	31,6	27,7	
27-10-71	41,2	56,3	26,5	47,7	20,5	49,5	42,0	29,5	32,0	31,0	18,0	28,8	
1-11-71	23,3	30,9	19,3	14,8	32,7	34,9	30,2	32,2	15,9	31,3	6,1	46,3	

* En gramos x 10^{-8} cm⁻² min⁻¹. Promedio de 3 repeticiones

F = Zona fertilizada NF = Zona no fertilizada

Cuadro 5. Coeficiente de penetrabilidad β_1 para nitrógeno, fósforo y potasio, según modelo $Y_i = \beta_0 \beta_1 X_i$.

TRATAMIENTOS	N I T R O G E N O				F O S F O R O				P O T A S I O			
	FERTILIZADO		NO FERTILIZADO		FERTILIZADO		NO FERTILIZADO		FERTILIZADO		NO FERTILIZADO	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
TESTIGO	0,98699	1,01630	0,987	1,01334	0,995067	1,00110	0,99522	1,00323	0,99196	1,03741	0,9898	1,00407
Sin camellón	0,99217	1,03259	0,99022	0,99378	0,99555	0,99065	0,99888	0,99285	0,98392	0,99775	0,98880	0,99936
R-20 10 cm												
Sin camellón	0,98598	0,99420	0,98860	0,99525	0,99407	1,00069	0,99970	1,01149	0,9886	1,00939	0,99143	0,99983
R-20 20 cm												
Camellón	0,99693	0,98859	0,99722	1,01116	1,00136	0,99277	0,99759	1,06917	1,03442	0,99028	0,99714	1,00923
sin R-20												
Camellón	0,99716	0,99791	0,99089	1,02631	0,99522	1,01159	0,99481	1,00613	1,00459	1,02714	0,98844	1,01133
R-20 10 cm												
Camellón	0,99828	1,01829	0,99190	1,02556	0,99507	1,01240	0,99323	1,06606	1,03501	1,03809	0,99022	1,04693
R-20 20 cm												

* Promedio de cuatro repeticiones S = Siembra C = Cosecha

Cuadro 6. Nitrógeno, fósforo y potasio total, en el momento de la siembra en suelos de la serie Instituto, fase normal.

Tratamientos	Profundidades cm	N* Total ppm		P* Total ppm		K* Total ppm	
		F	NF	F	NF	F	NF
Testigo	0- 7	3966	3686	1762	1533	847	691
	7-15	3903	3796	1644	1729	747	962
	15-30	3944	3707	1703	1676	635	758
	30-50	2481	2366	1413	1321	630	555
Camellón R-20 20 cm	0- 7	3949	3573	1779	1581	849	771
	7-15	3803	3689	1838	1608	779	849
	15-30	3945	3919	1868	1526	907	715
	30-50	3647	2681	1489	1296	624	542
Camellón R-20 10 cm	0- 7	3922	3724	1972	1712	897	879
	7-15	3883	3682	1930	1684	778	832
	15-30	3935	3574	1841	1505	755	800
	30-50	3474	2732	1654	1320	1007	503
Sin camellón R-20 20 cm	0- 7	4100	3630	2140	1592	1163	671
	7-15	3752	3486	1870	1708	819	736
	15-30	3750	3673	1520	1667	760	624
	30-50	2605	2575	1685	1598	596	620
Sin camellón R-20 10 cm	0- 7	4119	3739	1831	1405	976	816
	7-15	3927	3924	1651	1709	832	731
	15-30	4132	4148	1637	1529	698	594
	30-50	3090	2707	1535	1461	584	571
Camellón sin R-20	0- 7	3634	3477	1537	1663	1025	776
	7-15	3556	3412	1709	1573	908	887
	15-30	3617	3699	1454	1523	869	901
	30-50	3121	3178	1711	1372	993	712

* Promedio de 4 muestras compuestas, provenientes de 4 muestras individuales. Datos en base a suelo secado al horno (100-110°C).

F = Zona fertilizada

NF = Zona no fertilizada

Cuadro 7. Nitrógeno, fósforo y potasio total, en el momento de la cosecha, en suelos de la serie Instituto, fase normal.

Tratamientos	Profundidades cm	N* Total ppm		P* Total ppm		K* Total ppm	
		F	NF	F	NF	F	NF
Testigo	0- 7	3920	3481	1696	1356	628	581
	7-15	3676	3597	1575	1563	608	561
	15-30	3523	3387	1509	1312	621	509
	30-50	3252	2792	1187	1178	599	456
Camellón R-20 20 cm	0- 7	3689	3595	1113	1340	619	565
	7-15	3788	3613	1521	1230	627	532
	15-30	3770	3385	1315	1275	645	539
	30-50	3792	3175	1358	1228	710	503
Camellón R-20 10 cm	0- 7	3892	3788	1558	1527	688	647
	7-15	3788	3865	1598	1577	663	670
	15-30	3770	3934	1499	1463	717	654
	30-50	4812	3744	1490	1496	721	691
Sin camellón R-20 20 cm	0- 7	3540	3555	1639	1331	753	581
	7-15	3627	3663	1469	1375	708	605
	15-30	3674	3599	1583	1515	627	694
	30-50	3072	3192	1298	1353	624	566
Sin camellón R-20 10 cm	0- 7	3909	3882	1291	1342	657	672
	7-15	4128	3928	1492	1492	669	601
	15-30	4101	3964	1575	1377	684	560
	30-50	3389	3144	1065	1138	526	509
Camellón sin R-20	0- 7	3553	3402	1865	1642	837	735
	7-15	3506	3514	1712	1524	797	743
	15-30	3767	3522	1617	1463	782	733
	30-50	3533	3450	1497	1493	773	717

* Promedio de 4 muestras compuestas, provenientes de 4 muestras individuales. Datos en base a suelo secado al horno (100-110°C)

F = Zona fertilizada

NF = Zona no fertilizada

4.7. Movilidad de Fósforo

En el caso de fósforo total, también se detectaron diferencias entre los coeficientes de penetrabilidad de siembra y cosecha (Cuadro 5) con tendencia a disminuir con la profundidad en el momento de la siembra y a aumentar con la profundidad en el momento de la cosecha. Sin embargo, los incrementos en concentración de fósforo en el momento de la cosecha (Cuadro 7) tuvieron lugar a profundidades no mayores de 15 cm en la mayoría de los casos y con diferencias muy pequeñas entre las concentraciones del horizonte superior y el subyacente. Estas diferencias se observaron tanto en la zona fertilizada como en la no fertilizada.

Según el análisis estadístico las diferencias observadas en los coeficientes no son atribuibles a efecto de la siembra en camellones impermeabilización con R-20, sino únicamente a las épocas diferentes en que se midió el fósforo total.

4.8. Movilidad de Potasio

En este caso, las diferencias detectadas entre los coeficientes de penetrabilidad (Cuadro 5) para siembra y cosecha están influenciadas solo ligeramente por la época (siembra o cosecha), observándose un efecto adicional ocasionado por la siembra en camellones. Como en los casos anteriores, se observó aumento de la concentración con la profundidad en el momento de la cosecha y en el área no fertilizada. En la zona fertilizada se observó una ligera tendencia a disminución de la concentración con la profundidad en los tratamientos que incluían la siembra en camellones como factor en estudio.

4.9. Rendimiento del frijol

Los análisis de variancia para rendimiento de frijol, número de vainas por planta y número de semillas por vaina (Cuadro 8) no mostraron ninguna diferencia significativa en relación con los diversos tratamientos usados. Se obtuvo una producción promedio de 1580 Kg de semilla por hectárea.

Durante el período de cultivo se presentaron las siguientes enfermedades:

- Roya (Uromyces phaseoli var typica Arth) 85 a 90%
- Tizón bacterial común (Pseudomonas phaseolicola) 35%
- Mancha angular de la hoja (Isariopsis griseola) 25%.

4.10. Uso de techos de madera y plástico

Con el uso de techos de madera y plástico, se logró interceptar un 51,5% de la lluvia total, ya que de 530,9 mm caídos, el frijol recibió solamente unos 273 mm durante todo su período vegetativo, distribuidos en la forma en que se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 8. Rendimiento de frijol, número de vainas por planta, y número de semillas por vaina.

Tratamientos	Producción*	Vainas por planta	Semillas por vaina	*Peso de 100 semillas
Testigo	835,26	8,83	2,84	45,80
Camellón				
R-20 20 cm	715,05	7,44	2,94	45,96
Sin camellón				
R-20 20 cm	729,56	7,21	3,17	46,38
Sin camellón				
R-20 10 cm	777,6	8,38	3,06	45,78
Camellón				
Sin R-20	857,04	8,06	2,84	48,50
Camellón				
R-20 10 cm	824,59	7,71	2,90	45,40

* En gramos

5. DISCUSION

En general, el aumento del escurrimiento provocado por las aplicaciones de R-20 podría no considerarse como una desventaja, ya que el área impermeabilizada (20%) en cada parcela es bastante pequeña en relación con la superficie total del experimento. En cuanto al porcentaje de área cubierta por el impermeabilizante, probablemente se necesite mayor volumen de información para poder establecer normas definidas en cuanto a los porcentajes más adecuados de zonas a impermeabilizar dentro del área total.

La falta de acción del impermeabilizante puede atribuirse a una impermeabilización insuficiente, asociada con una gran precipitación durante los primeros períodos del cultivo. El suministro casi constante de agua de lluvia, pudo ser la causa de que el suelo se saturara totalmente de agua, que se difundía lateralmente de las zonas no impermeabilizadas a las impermeabilizadas. Aunque la infiltración fuese menor en las bandas impermeabilizadas, el aporte continuo provocaba la circulación de cantidades considerables de agua aun dentro de las zonas impermeabilizadas. Ahora bien, como la acción del impermeabilizante se manifiesta principalmente cuando el suelo se va mojando, el proceso rápido de humedecimiento sufrido por el suelo y la difusión lateral, no permitían que se manifestase el efecto del impermeabilizante sobre la succión, difusión de oxígeno y la lixiviación de nutrimentos.

La impermeabilización insuficiente supuesta, puede considerarse asociada también con el cubrimiento de las partículas del suelo en

función de la capacidad de intercambio catiónico. En los suelos estudiados, la capacidad de intercambio varía de 41,5 a 49,0 meq/100 g y como la cantidad de impermeabilizante que se necesita para lograr un cubrimiento adecuado, está influenciada por la capacidad de intercambio (49), se puede suponer que la dosis de 2 g/m² fue insuficiente para llegar a detectar el efecto del cubrimiento, y en particular el tratamiento que produjera una impermeabilización conveniente. Otro factor que puede haber contribuido a la falta de cubrimiento, fue la presencia de terrones grandes en la superficie del suelo en el momento de la aplicación.

En relación con el sistema de siembra en camellones, la buena aireación del suelo en el primer horizonte (0-23 cm) pudo ser la causa de que no se manifestaran efectos significantes sobre la succión del agua y la rata de difusión de oxígeno. Si la condición de aireación del suelo es buena aún a succiones muy bajas, se puede suponer que se necesita una impermeabilización más completa para lograr mejorar dicha condición.

En el caso de siembra en camellones también se puede considerar que la alta precipitación influenció directamente la cantidad de agua infiltrada en el suelo. El efecto se traduce en la disminución de la infiltración como consecuencia del aumento de la pendiente en la zona ocupada por el camellón; sin embargo, si el suministro de agua es constante, hay una cantidad considerable de la misma que se mueve continuamente dentro del perfil, aunque la infiltración sea menor en el área del camellón.

La falta de efecto de la impermeabilización y la siembra en camellones sobre la producción, debe interpretarse como una consecuencia directa de la falta de acción de estos dos factores sobre el aumento de la aireación y la disminución de la movilidad de nutrimentos, ya que la producción está influenciada por estos procesos, los cuales afectan el desarrollo radical y la disponibilidad de nutrimentos.

La cobertura de cultivos por medio de techos durante las épocas más lluviosas parece ofrecer buenas perspectivas en lo que se refiere al uso intensivo de los suelos de trópicos húmedos para la producción de cosechas durante todo el año. Si se toma en cuenta que uno de los factores limitantes para el uso intensivo de los suelos en trópicos húmedos, es la precipitación intensa y abundante durante la mayor parte del año, la posibilidad de controlar este factor por medio del uso de techos removibles ofrece una serie de ventajas, entre las cuales la más importante sería la de controlar la cantidad de agua requerida por el cultivo, colocando y retirando las coberturas en el momento deseado. Existe además, la posibilidad de disminuir la humedad relativa en el área cubierta, debido a un aumento de la evaporación con el aumento de la temperatura. Esta circunstancia podría quizás ejercer cierto grado de control sobre la aparición y desarrollo de enfermedades, principalmente fungosas, necesitándose comprobaciones posteriores para poder emitir criterios más definidos.

La adopción de esta nueva práctica puede ser más aplicable al cultivo de hortalizas, porque su producción es difícil en los trópicos húmedos y porque su explotación requiere del uso intensivo de los suelos durante todo el año.

6. CONCLUSIONES

1. La impermeabilización del suelo, y la siembra en camellones, bajo las condiciones de lluvia experimentadas, no incrementaron la aireación, ni disminuyeron la lixiviación de nutrimentos. En lo sucesivo es aconsejable tratar de lograr un mejor cubrimiento de las partículas del suelo por el impermeabilizante, para estudiar mejor sus efectos.
2. Las aplicaciones del impermeabilizante metil-silanolato de sodio (R-20) con fines de control de lixiviación y mejoramiento de la condición física del suelo, deben ser siempre parciales, en forma de bandas que cubran áreas muy pequeñas en relación con el área total, debido al aumento considerable del escurrimiento, sobre todo en regiones con alta precipitación.
3. El control de la precipitación por medio de techos removibles que permiten el paso de luz solar, podría ser una práctica que ofrezca perspectivas ventajosas. Se considera factible la introducción de esta práctica, siempre que se logre rebajar considerablemente el costo de los techos, que parece ser el único factor limitante para la adopción de dicha práctica.

7. RESUMEN

Se estudió el efecto producido por la impermeabilización parcial del suelo con metil-silanolato de sodio (R-20) y la siembra en camellones (lomos) sobre la aireación, la movilidad de N, P, K en el suelo y el rendimiento del cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris).

El ensayo se realizó en suelos Dystropepts situados en el IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. El área corresponde a bosque subtropical muy húmedo con una altitud aproximada de 630 m s.n.m., temperaturas de 22°C y precipitación promedio de 2600 mm/año.

El metil-silanolato de sodio (R-20) redujo la infiltración del agua en el suelo en un 60% y aumentó el escurrimiento en un 39,3% al ser aplicado en dosis de 2 g/m² de una solución al 2% (M/V). Debido a este aumento del escurrimiento, se recomienda su aplicación en forma de bandas que cubran un área muy pequeña en relación con el área total.

La aplicación de R-20 en la dosis mencionada y en bandas de 10 y 20 cm de ancho, no provocó efectos estadísticamente significantes sobre la aireación del suelo, la movilidad de N, P, K y el rendimiento del frijol, debido probablemente a impermeabilización incompleta asociada con una alta intensidad de precipitación, ó con la capacidad de intercambio de cationes del suelo.

El sistema de siembra, en camellones de 30 cm de ancho y 10 cm de altura, no produjo tampoco efectos significantes, debido probablemente a la buena aireación del suelo en el primer horizonte y a la alta intensidad de precipitación.

El cultivo se protegió de la lluvia durante ciertos períodos cubriéndolo con techos de madera y plástico, práctica que puede ser aplicable a la producción de hortalizas en climas tropicales húmedos, siempre que se logre reducir el costo de los techos.

7a. SUMMARY

The effect of the partial impermeabilization of the soil with sodium methyl silanolate (R-20) and planting on banks was studied, in relation to aeration, the mobility of N, P, and K in the soil, and the yield of dry beans (Phaseolus vulgaris).

The experiment was carried out in a Dystrypept soil situated at IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. The region has a very humid subtropical forest climate, at an altitude of approximately 630 m above sea level, with a mean annual temperature of 22°C and a mean annual precipitation of 2600 mm.

The R-20 reduced infiltration by 60% and increased run-off by 39.3%, when applied at the rate of 2 g/m² of soil surface with a 2% (M/V) solution.

The application of R-20 at the above mentioned rate on strips 10 and 20 cm wide, did not cause statistically significant effects on soil aeration, mobility of N, P, and K and bean yield. This was probably due to incomplete impermeabilization couple with a high rainfall intensity, or to the high cation exchange capacity of soil.

The planting system in banks 30 cm wide and 10 cm height, did not produce significant effects either, due probably to the good soil aeration in the first horizon and to the high rainfall intensity.

The crop was protected from the rain during at times by covering it with removable roofs made of plastic sheets and wood. This practice could be applied to horticultural crops in humid tropical climates if the cost of the roofs were reduced.

8. LITERATURA CITADA

1. ADAMSON, A. W. Physical chemistry of surfaces. New York, Interscience Publishers, 1964. pp. 264-276.
2. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-CTEI. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA, 1971. 138 p. (Mimeo).
3. ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy* 18:219-258. 1966.
4. _____, ROLLER, M. y ADAMS, J. E. Soil fertility studies in lysimeters containing lake-lands sands. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 607. 1936. 16 p.
5. AYRES, A. S. y DOY, M. Soil temperature in relation to loss of nutrients by leaching. *Soil Science* 96:144-148. 1963.
6. BARROW, H. L. y KILMER, V. J. Plant nutrients losses from soils by water erosion. *Advances Agronomy* 15:303-316. 1963.
7. BLACK, C. A. Soil plant relationship. 2nd ed. New York, Wiley, 1968. pp. 406-410.
8. BLAKE, G. R. Particle density. In Black, C. A. et al, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 371-373.
9. _____. Bulk density. In Black, C. A. et al, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 374-390.
10. BOND, R. D. Water repellent sands. In International Congress of Soil Science. 9th. Adelaide Australia, 1968. Transactions. Sidney, Australia, International Society of Soil Science, 1968. v. 1, pp. 339-347.
11. _____. The influence of microflora on the physical properties of soils. II. Field studies on water repellent sands. *Australian Journal of Soil Research* 2:123-131. 1964.
12. BOSWELL, F. C. y ANDERSON, O. E. Potassium movement in fallowed soils. *Agronomy Journal* 60:688-691. 1968.
13. _____ y ANDERSON, O. E. Nitrogen movement in undisturbed profiles of fallowed soils. *Agronomy Journal* 56:278-281. 1964.

14. BOUYOUCOS, C. J. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43(9): 434-438. 1951.
15. BOWER, C. A. et al. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. *Soil Science* 73(4):251-261. 1952.
16. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1):39-45. 1945.
17. BREMMER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A. et al, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1171-1175.
18. BURNS, G. R. y DEAN, L. A. The movement of water and nitrate around bands of sodium nitrate in soils and glass beads. *Soil Science Society of America. Proceedings* 28:470-474. 1964.
19. COOKE, G. W., BATES, J. A. y TIMKER, P. B. The influence of nitrogen fertilizers and rainfall in soil nitrate concentrations. *Journal of Science of Food and Agriculture* 8: 248-252. 1957.
20. COOPER, M. y HOGE, D. E. Leaching losses of sulphate from superphosphate and gypsum applied on a soil from rhyolitic pumice. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 9: 345-349. 1966.
21. CORDOBA, H., MELO, M. y PRIETO, V. Lixiviación y volatilización del nitrógeno en algunos suelos del Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Agronomía, 1970. 62 p. (Mimeo).
22. DAY, R. P. Particle fractionation and particle size analysis. In Black, C. A. et al, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 545-567.
23. De BAMO, L. F. Water repellents soils: a world-wide concern in management of soil and vegetation. *Agricultural Science Review* 7(2):11-18. 1969.
24. _____ et al. Soil wettability and wetting agents: our current knowledge of the problem. U.S. Forest Service, Berkeley, California. Pacific Southwest Forest & Range Experimental Station. Research Paper PSW 43. 1967. 13 p.

25. DIAZ ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1970. 3 p. (Mimeo).
26. DOEKSEN, J. A. A device to regulate the leaching of plants nutrients in soil. (Original no consultado; compendiado en Soils and Fertilizers 32(6):537. 1969).
27. DROVER, D. P. Losses of nitrogen and other soils constituents from two soils in filled in lysimeters. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 3:105-113. 1969.
28. FINK, D. H. Water repelency and infiltration resistance of organic film coated soils. Phoenix, Arizona. Soil Water Conservation Research, Division of Agricultural Research Service, Department of Agriculture, 1969. 30 p.
29. FORSYTHE, W. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del método de hidrómetro. Agronomía (Perú) 33(1):16-27. 1966.
30. _____. Densidad de partículas. Método con agua y kerosene. Curso de Física de Suelos. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1970. 13 p.
31. GAMBOA, J., PAEZ, G. y BLASCO, M. Un modelo para describir procesos de retención y lixiviación en los suelos. Turrialba (Costa Rica) 21(3):312-316. 1971.
32. GAVANDE, S. A. I. Characterization of soil aeration status of cacao. Cacao. Turrialba (Costa Rica) 13(3):1-5. 1968.
33. HARDY, F. Edafología tropical. México, D. F., Herrero, 1970. pp. 121-129.
34. HAYSLIP, M. C. y ILEY, J. R. Use of plastic strips over fertilizer bands to reduce leaching. Florida State Horticultural Society. Proceedings 79:24-27. 1966.
35. HERRON, G. N., TERMAN, G. L. y DREIER, A. F. Residual nitrate nitrogen in fertilized deep-loess-derived-soils. Agronomy Journal 6:477-482. 1968.
36. HOLDRIDGE, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959.

37. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. Resumen de datos meteorológicos anuales. Turrialba, Costa Rica. 1970.
38. JAMISON, V. C. The slow reversible drying of sandy surface soils beneath citrus trees in central Florida. Soil Science Society of America. Proceedings 7:36-41. 1942.
39. KRAMHES, J. S. y De BANG, L. F. Soil wettability: a neglected factor in watershed management. Water Resources Research 1(2):283-286. 1965.
40. KOHNKE, H. Soil physics. New York, McGraw Hill, 1968. pp. 73-77.
41. KRAUSE, H. H. y BATSCH, W. Movement of fall applied nitrogen in sandy soil. Canadian Journal of Soil Science 48:363-365. 1968.
42. LAURITZEN, C. W. Collecting desert rainfall. Crops and Soil. 13(9):7-8. 1961.
43. LEMON, E. R. y ERICKSON, A. E. The measurement of oxygen diffusion in the soil with a platinum microelectrode. Soil Science Society of America. Proceedings 16:160-163. 1952.
44. LIPMAN, J. G. y CONYBEARE, A. B. Preliminary note on the inventory and balance sheet of plant nutrients in the United States. New Jersey. Agriculture Experimental Station. Bulletin 607. 1936. 15 p.
45. MAMARIL, C. P. y SMITH, F. W. Coated fertilizers. I. Leachability of coated and uncoated ammonium nitrate-phosphate fertilizer. Philippine Agriculturist 49:114-124. 1965.
46. MARSHALL, T. J. The diffusion of gases through porous media. Journal of Soil Science 10(1):79-82. 1959.
47. MILLINGTON, R. J. Relation between yield of wheat soils factors and rainfall. Australian Journal of Agricultural Research 12:397-408. 1967.
48. MUSGRAVE, G. W. y HOLTAN, H. N. Infiltration in computations of runoff. In Chew, Ven Te, ed. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw Hill, 1964. pp. 12.22-12.24.
49. MYERS, L. E. New water supplies from precipitation harvesting. International Conference on water for peace. Washington, D. C., Department of Agriculture, Conservation Laboratory of Agricultural Research Service, 1967. 7 p.

50. NYERS, L. E. Recent progress in water harvesting. *Journal of Soil and Water Conservation* 22(3):95-97. 1967.
51. _____. Waterproofing soil to collect precipitation. *Journal of Soil and Water Conservation* 16(6):281-282. 1961.
52. _____ y FRASIER, G. W. Creating hidrophobic soils for water harvesting. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 95(IR1):43-54. 1969.
53. OZANNE, P. G. y KIRTON, D. J. The loss of phosphorus from sandy soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 12: 409-423. 1961.
54. PELISHEK, R. E., OSBORN, J. y LETEY, J. The effect of wetting agents on infiltration. *Soil Science Society of America, Proceedings* 26(6):595-598. 1963.
55. 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. 914-926.
56. _____. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science* 68:95-112. 1949.
57. _____ y WADLEIGH, C. H. Soil water and plant growth. In Shaw, B. T., ed. *Soil physical conditions and plant growth*. New York, Academic Press, 1952. pp. 73-86.
58. SAIZ DEL RIO, J. R. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos: métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 107 p.
59. STOLZY, L. y LETEY, J. Measurement of oxygen diffusion rates with the platinum microelectrode. III. Correlations of plant response to soil oxygen diffusion rates. *Hilgardia* 35:567-576. 1964.
60. TAYLOR, S. A. Oxygen diffusion in porous media as a measure of soil aeration. *Soil Science Society of America, Proceedings* 14:55-61. 1949.
61. _____ y GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strenght of soil. *Soil Science* 96:153-156. 1963.

62. ULRICH, B., HEMPLER, K. y BENZLER, J. H. Zur analitischen Bestimmung von Gesamtphosphorsäure und laktatlöslicher phosphorsäure in Bodenproben. Die Phosphorsäure 20:344-347. 1960.
63. WANDER, L. W. An interpretation of the cause of water repellent sandy soils found in citrus groves of central Florida. Science 110:299-300. 1949.
64. WESSELING, J. y VAN WIJK, W. R. Condiciones físicas del suelo en relación con la profundidad de los drenes. In Luthin, J. N. Drenaje de tierras agrícolas. Traducción de Alonso Blackaller Valdés. México, D. F., Limusa Wiley, 1967. pp. 511-524.
65. WILD, A. A. Pedological studies of phosphorus in 12 soils derived from granite. Australian Journal of Agricultural Research 12:286-299. 1961.

A P E N D I C E S

APENDICE 1. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

Cuadro 1. Características químicas* de los suelos de la cose normal de la serie Instituto.

Perfil Mg	Humedad Gravimétrica %	Profundidad cm	pH	Materia Orgánica gr %	Carbono %	N-Total %	Relación C/N	Nitrógeno ppm	C.I.C. me/100 F	Pasos caminables			Relaciones		
										me/100 F K	me/100 F Ca	me/100 F Mg	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg F
I	12,9	0-17	5,1	4,3	2,6	0,257	10,1	9,1	48,8	0,78	4,16	2,36	1,76	3,02	8,35
	13,4	17-34	5,0	4,3	2,8	0,264	10,6	9,2	50,8	0,77	4,05	2,23	1,81	2,89	8,15
	12,9	34-52	4,8	4,2	2,3	0,117	11,1	4,1	45,0	0,26	2,18	1,46	1,49	5,61	14,00
	15,2	52-80	5,1	4,1	0,38	0,023	8,7	4,0	50,75	0,16	4,13	2,52	1,63	15,7	41,5
II	9,2	0-25	5,3	4,5	3,3	0,265	12,4	5,2	41,5	0,21	5,18	1,54	3,36	7,33	32,0
	8,4	25-45	5,9	5,1	0,9	0,054	9,25	5,3	33,3	0,28	4,36	1,34	3,25	4,78	20,35
	12,2	45-60	6,1	5,4	0,67	0,032	11,8	5,8	45,4	0,16	6,6	1,73	3,81	10,81	52,0
	11,1	60-70	6,0	5,0	0,55	0,029	11,03	2,17	45,5	0,11	7,48	2,59	2,88	23,5	81,5
III	11,1	70-85	6,1	5,2	0,4	0,02	11,5	2,17	48,5	0,15	6,64	2,40	2,76	16,0	60,2
	10,2	0-22	5,2	4,3	6,0	0,299	11,6	11,7	46,5	0,52	5,11	2,23	2,29	4,28	14,1
	9,9	22-37	5,5	4,7	2,2	0,087	14,6	2,15	37,0	0,34	4,66	1,78	2,61	5,23	18,9
	12,5	37-60	5,8	4,9	1,27	0,064	11,4	5,1	38,5	0,16	5,03	2,02	2,49	12,6	44,0
IV	11,4	60-100	5,8	5,0	0,88	0,053	9,45	3,4	42,04	0,15	4,79	2,41	1,98	16,06	48,0
	14,9	0-25	5,1	4,4	5,2	0,252	11,9	7,7	45,0	0,76	3,70	2,42	1,52	3,18	8,05
	11,2	25-45	4,9	4,5	3,6	0,157	7,3	2,1	42,2	0,48	3,11	2,22	1,4	4,62	11,1
	13,1	45-70	5,1	4,7	1,8	0,066	15,1	0,95	41,8	0,25	2,53	2,89	0,87	11,5	21,7
V	18,8	70-82	5,2	4,8	2,36	0,09	15,1	3,40	46,6	0,17	1,6	4,62	0,34	27,1	36,6
	13,3	0-23	5,4	4,5	7,5	0,337	12,9	4,9	49,0	0,54	7,5	3,08	2,43	5,7	19,6
	12,2	23-40	5,4	4,5	4,25	0,153	16,0	2,0	44,9	0,23	4,26	2,10	2,02	9,13	27,6
	12,2	40-52	5,2	4,5	2,7	0,09	17,3	1,00	41,3	0,14	4,21	2,15	1,05	15,35	45,4
14,0	52-76	5,6	4,9	1,1	0,053	11,3	1,77	41,4	0,10	3,13	2,68	1,16	26,8	58,1	

* Datos en base a suelo seco al horno (100-110°C).

Cuadro 2. Características físicas de las fracciones de las arenas expuestas al viento en el estudio.

Fracción diámetro cm	Distribución de partículas		Clase textural (TDA)	Cantidad absoluta gr/cg	C. % relativa	Cantidad de partículas /gr/cg	Inclinación al corte /cm ²	Longitud efectiva (horas)	
	Arena fino	Arcilla							
I	0-17	14,5	42,5	42,0	2,505	51,08	0,795	0,44	
	17-34	14,0	44,0	42,5	2,701	44,9	0,2	1,33	
	34-52	16,0	34,0	40,3	2,876	51,1	0,15	1,55	
	52-80	17,5	37,7	46,5	2,151	38,5	0,15	1,55	
II	0-25	40,2	33,8	76,0	1,07	27,7	30,3	0,075	1,11
	25-45	41,0	31,0	38,0	1,28	31,6	2,753	0,1	2,22
	45-60	14,0	41,5	40,5	1,07	50,0	2,682	0,17	1,55
	60-70	10,0	41,5	44,5	1,13	50,0	2,636	0,1	1,11
III	70-85	15,0	36,5	48,5	1,08	46,8	2,644	0,17	1,11
	0-22	16,0	45,5	34,5	1,08	40,5	2,53	0,13	1,55
	22-37	21,5	34,2	44,5	1,27	28,9	2,67	0,18	2,22
	37-50	38,4	26,0	35,6	1,18	30,8	2,717	0,14	1,77
IV	60-100	31,0	29,0	40,0	1,13	46,2	2,689	0,075	1,55
	0-25	18,0	47,5	34,5	1,06	46,2	2,54	0,1	0,88
	25-45	17,5	46,5	36,0	1,29	27,2	2,585	0,15	1,77
	45-70	16,5	38,5	45,0	1,15	46,3	2,669	0,15	1,77
V	70-82	16,5	38,5	45,0	0,99	50,5	2,653	0,25	2,22
	0-23	11,0	53,5	33,5	1,07	48,6	2,425	0,2	2,66
	23-40	11,5	43,5	45,0	1,13	44,9	2,525	0,17	1,55
	40-52	13,2	39,8	47,0	0,97	47,5	2,682	0,14	1,55
VI	52-76	19,0	38,0	43,0	1,09	50,4	2,68	0,1	1,11
	0-24				0,88	43,2	2,48	0,4	
	24-39				1,05	42,0	2,417	0,5	
VII	39-57				1,12	42,5	2,588	0,7	
	0-20				1,12	40,2	2,507	0,3	
VIII	20-42				1,23	36,5	2,569	0,7	
	0-20				1,04	45,2	2,451	0,7	
IX	20-45				1,00	46,5	2,485	0,7	
	0-24				1,04	43,0	2,58	0,6	
X	24-52				0,96	40,3	2,49	0,4	
	0-30				1,07	43,3	2,417	0,2	
	30-46				1,16	41,7	2,534	0,0	

I = espacio poroso total II = Humedad gravimétrica

APENDICE 2. DATOS METEOROLOGICOS

Cuadro 3. Precipitación y evaporación diaria, antes del establecimiento del cultivo.

FECHA	M E S E S							
	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE	
	P	E	P	E	P	E	P	E
1	4,5	1,8	7,4	2,0	0,0	2,6	0,0	4,5
2	10,9	2,2	18,9	1,6	0,3	0,2	2,8	1,5
3	31,2	3,9	3,7	2,8	0,3	2,5	50,5	5,9
4	0,0	5,8	11,3	0,4	8,8	2,0	11,0	3,7
5	0,8	3,5	10,0	5,2	13,5	3,3	2,3	2,9
6	8,4	0,9	9,6	3,5	1,2	0,3	23,1	3,7
7	1,0	2,3	0,0	6,5	0,5	1,6	1,0	3,7
8	23,0	5,1	4,7	3,0	0,0	0,7	7,0	5,4
9	23,0	2,5	29,7	1,3	8,7	3,7	17,0	4,4
10	3,5	4,9	12,9	1,5	0,1	3,2	14,7	3,3
11	1,1	3,0	1,9	3,6	21,6	1,6	0,0	4,5
12	14,4	3,5	1,6	0,3	0,3	1,8	0,0	4,8
13	0,0	3,7	0,0	3,7	0,0	2,6	SIEMBRA	
14	6,3	3,0	41,8	4,3	3,1	1,9		
15	0,3	6,8	21,8	3,5	12,2	3,7		
16	8,4	3,5	25,8	3,6	1,5	1,6		
17	16,8	3,9	0,9	3,0	3,6	2,7		
18	11,2	1,8	85,5	5,5	0,1	3,9		
19	6,8	2,7	8,8	4,0	14,0	3,0		
20	40,6	3,3	26,5	5,4	1,5	2,6		
21	1,4	1,6	0,6	4,9	1,4	0,3		
22	0,0	6,0	35,7	4,4	12,0	3,8		
23	0,0	6,4	6,4	4,8	0,0	4,5		
24	5,9	0,7	8,0	3,5	0,0	3,3		
25	3,7	2,3	0,1	3,8	28,7	5,3		
26	0,0	6,4	12,4	3,3	6,7	4,2		
27	4,7	3,6	12,7	0,7	8,0	2,7		
28	9,5	2,9	10,8	4,0	2,5	2,3		
29	6,4	3,4	2,9	3,0	20,3	3,5		
30	7,5	4,0	0,0	5,3	0,0	4,4		
31			7,8	3,6	1,7	2,7		

P = Precipitación en mm

E = Evaporación en mm

APENDICE 3. CAPACIDAD DE RETENCION DE HUMEDAD

Cuadro 4. Capacidad de retención de humedad* (desorción) en los horizontes superficiales de los suelos de la serie Instituto, fase normal.

Profundidad cm	S U C C I O N E S (B A R R E S)									
	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
Humedad volumétrica %	49,95	45,23	43,33	41,52	39,24	37,60	36,02	34,04	32,62	31,32
0 - 23**	10,16	14,88	16,78	18,59	20,87	22,51	24,09	26,07	27,49	28,79
Humedad volumétrica %	57,27	51,81	49,62	47,53	44,89	43,00	41,18	38,90	37,25	36,32
23 - 42**	0,77	6,23	8,42	10,51	13,15	15,04	16,86	19,14	20,79	21,81

* Datos correspondientes a estimación por regresión

** Promedio de 10 profundidades

Cuadro 5. Succiones y humedades volumétricas (desorción) correspondientes a 10 perfiles de la Serie Instituto, fase normal.

Perfil No	S U C C I O N E S*									
	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
1	51,38	51,47	50,00	46,49	42,25	50,32	38,60	40,02	32,82	30,43
2	52,33	41,98	15,59	33,86	22,15	29,51	30,78	28,38	30,94	20,85
3	57,26	41,24	41,86	39,32	35,43	35,45	31,95	33,71	33,47	30,42
4	50,70	42,31	28,04	40,23	36,60	33,46	31,70	29,92	31,15	25,17
5	48,01	43,45	37,92	41,08	36,99	37,46	31,46	31,28	31,73	33,61
6	54,66	46,41	46,47	49,80	38,96	12,12	40,22	34,73	42,66	30,93
7	52,73	47,88	46,58	43,54	42,81	41,13	38,54	35,10	37,45	32,72
8	54,78	51,51	50,70	48,40	47,89	45,43	44,75	39,49	41,28	38,88
9	52,41	45,80	43,25	38,05	38,03	33,95	36,88	38,69	35,62	36,11
10	49,63	50,51	51,69	48,97	44,13	46,71	39,77	32,81	42,38	38,50
1	71,45	58,22	60,63	60,17	57,46	46,77	48,47	45,54	50,51	42,09
2	52,06	43,74	47,52	42,46	39,25	37,70	32,56	45,02	34,21	30,73
3	50,95	54,78	54,29	51,17	47,06	46,96	45,46	40,58	43,99	37,11
4	64,78	53,21	52,40	49,76	49,24	45,83	11,17	41,34	43,13	40,06
5	56,82	35,07	42,32	44,52	41,83	38,05	34,66	37,75	33,52	34,11
6	71,20	52,83	49,82	47,78	37,54	45,93	42,28	41,53	37,02	30,26
7	56,88	47,17	45,63	44,86	40,65	42,77	39,25	39,53	39,18	38,64
8	50,84	47,63	47,85	43,96	46,57	43,65	42,94	38,51	39,15	38,74
9	65,40	49,69	46,20	46,42	43,06	41,61	39,87	36,59	38,68	35,91
10	54,93	53,20	53,46	49,61	45,74	46,20	44,58	41,29	39,54	43,31

* En bares

HUMEDAD VOLUMÉTRICA (%)

Horizonte superficial (0-25 cm)
Horizonte subsuperficial (25-46 cm)

APENDICE 4 - Relaciones succión - difusión de oxígeno

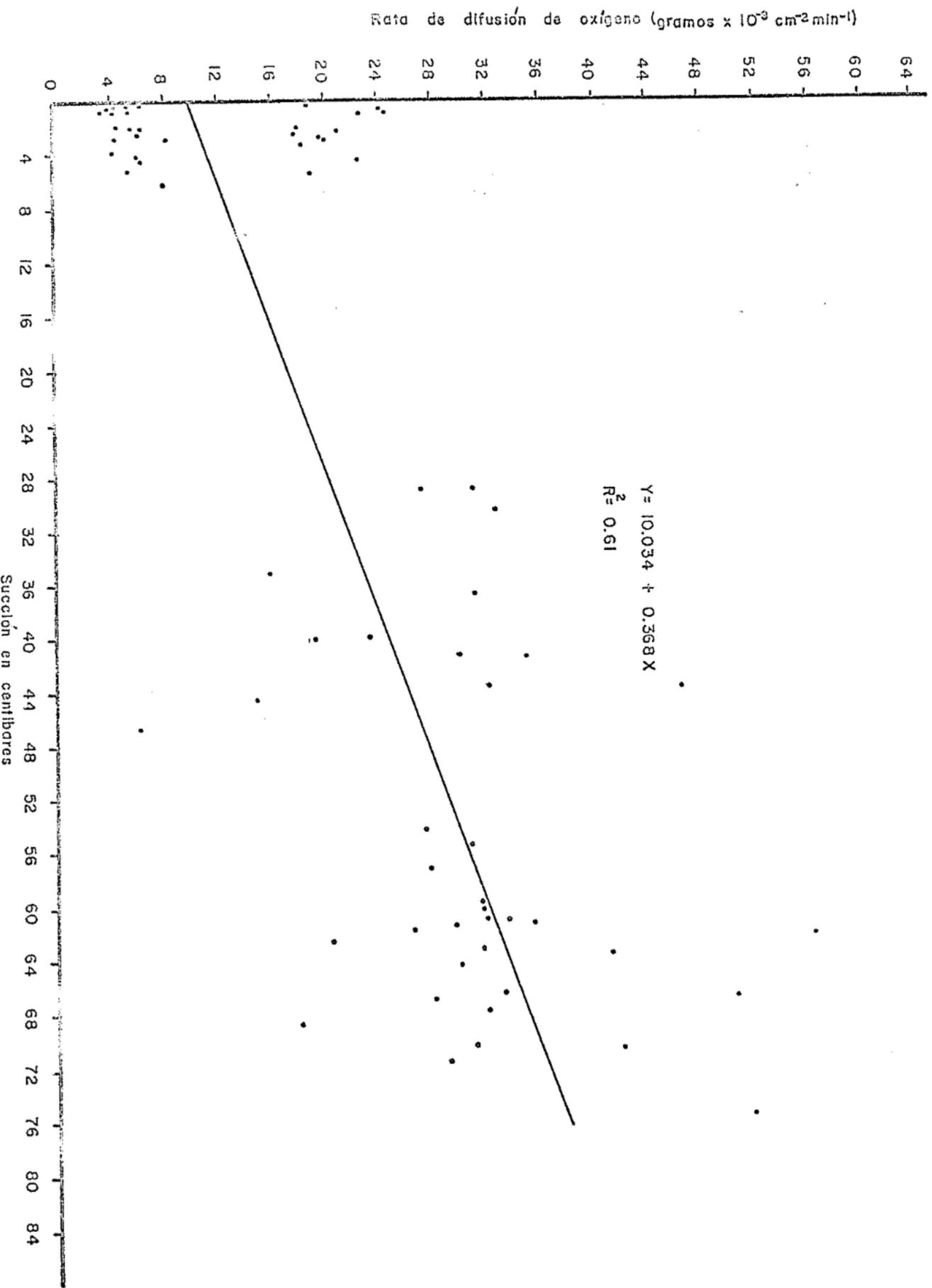


Fig. 1- Rata de difusión de oxígeno en relación con la succión del agua del suelo.

APENDICE 5. ANALISIS DE VARIANCIA

Cuadro 6. Análisis de variancia de succiones.

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	4	1524,64	381,16	
Tiempo	11	373070,68	33915,51	43,04**
Tratamientos	5	226,51	45,30	0,57
Tiempo - Tratamientos	55	543,68	100,79	1,28
Ubic. de Fertilizante	1	273,8	273,8	3,47
Tiempo Ubic. de Fertilizante	11	3043,13	276,64	3,51
Trats. Ubicación de Fert.	5	1185,01	237,0	3,00*
Tiempo Ubic. de Fert. Trats.	55	2119,84	38,54	0,48
ERROR	572	45067,95	78,79	
TOTAL	719	432054,93		

Cuadro 7. Análisis de variancia de las diferencias de succión entre zona fertilizada y no fertilizada.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	4	320,65	80,16	
R-20	2	1148,71	574,35	5,32**
Tiempo	11	6050,16	550,01	5,09
Tiempo - R-20	22	1914,81	87,03	0,8
Camellón	1	466,94	466,94	4,32*
Tiempo - camellón	11	303,45	27,58	0,25
R-20 - camellón	2	868,47	434,23	4,02*
Tiempo - R-20-Camellón	22	2579,72	117,26	1,08
ERROR	284	30666,78	107,9	
TOTAL	359	44319,72		

Cuadro 8. Análisis de variancia de ratas de difusión de oxígeno.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	2	187,28	93,64	
Tiempo	5	29443,14	588,86	50,5**
R-20	2	350,86	175,43	1,51
Tiempo - R-20	10	1488,34	148,83	1,28
Camellón	1	193,42	193,42	1,66
Tiempo-camellón	5	872,64	174,62	1,5
R-20 - Camellón	2	52,26	26,13	0,22
Tiempo - R-20 - camellón	10	2192,51	219,25	1,88
Ubicación de fertilizante	1	639,28	639,28	5,5*
Tiempo-Ubic. de fertilizante	5	1140,31	228,06	1,96
R-20 -Ubic. de fertilizante	2	12,79	6,39	0,05
Tiempo - R-20 - Ubic. de Fert.	10	1289,14	128,9	2,1*
Camellón - Ubic. de Fert.	1	36,34	36,34	0,3
Tiempo - Camellón-Ubic. de Fert.	5	358,76	71,76	0,6
R-20 - Camellón - Ubic. de Fert.	2	646,97	323,48	2,78
Tiempo-R-20 - Camellón Ubicación de fertilizante	10	2482,97	248,29	2,13*
ERROR	142	16494,24	116,15	
TOTAL	215	60881,28		

Cuadro 9. Análisis de variancia de los coeficientes de penetrabilidad (β_1) de Nitrógeno total.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	3	0,00195	0,00065	0,1923
R-20	2	0,00018	0,00009	0,1923
Camellón	1	0,00067	0,00067	1,45
R-20 - Camellón	2	0,00182	0,00091	1,94
Epoca	1	0,00732	0,00732	15,64**
R-20 - Epoca	2	0,00008	0,00004	0,085
Camellón - Epoca	1	0,00005	0,00005	0,1
R-20 - Camellón - Epoca	2	0,00197	0,00098	2,094
Ubicación de fertilizante	1	0,00000	0,00000	
R-20 - Ubic. de Fert.	2	0,00037	0,00018	0,38
Camellón - Ubic. de Fert.	1	0,00122	0,00122	2,6
R-20 - Camellón - Ubic. de Fert.	2	0,00107	0,00053	1,13
Epoca - Ubic.de Fert.	1	0,00013	0,00013	0,27
R-20 - Epoca - Ubic.de Fert.	2	0,00012	0,00006	0,12
Cam.-Epoca - Ubic. de Fert.	1	0,00210	0,00210	4,48
R-20 - Cam.- Epoca - Ubic. de Fert.	2	0,00090	0,00045	0,96
ERROR	69	0,03234	0,0004686	
TOTAL	95	0,05244		

Cuadro 10. Análisis de variancia de los coeficientes de penetrabilidad (β_1) de Fósforo total.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	3	0,00323	0,00107	
R-20	2	0,00164	0,00082	0,63
Camellón	1	0,00384	0,00384	2,95
R-20 - Camellón	2	0,00050	0,00025	0,19
Epoca	1	0,00725	0,00725	5,58*
R-20 - Epoca	2	0,00187	0,00093	0,71
Camellón - Epoca	1	0,00377	0,00377	2,9
R-20 - Camellón - Epoca	2	0,00043	0,00021	0,16
Ubic. de Fert.	1	0,00288	0,00288	2,2
R-20 - Ubic.de Fert.	2	0,00231	0,00115	0,88
Camellón - Ubic. de Fert.	1	0,00160	0,00160	1,23
R-20-Camellón-Ubic.de Fert.	2	0,00153	0,00076	0,58
Epoca - Ubic. de Fert.	1	0,00289	0,00289	2,22
R-20-Epoca-Ubic. de Fert.	2	0,00238	0,00119	0,91
Cam.-Epoca-Ubic.de Fert.	1	0,00302	0,00302	2,32
R-20-Cam.-Epoca-Ubic.de Fert.	2	0,00132	0,00066	0,5
ERROR	69	0,08955	0,001297	
TOTAL	95	0,13017		

Cuadro 11. Análisis de variancia de los coeficientes de penetrabilidad (β_1) de Potasio total.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	3	0,00651	0,00217	
R-20	2	0,00241	0,0012	0,82
Camellón	1	0,00604	0,00604	4,15*
R-20 - Camellón	2	0,00320	0,0016	1,1
Epoca	1	0,00579	0,00579	3,99*
R-20 - Epoca	2	0,00098	0,00049	0,33
Camellón - Epoca	1	0,00026	0,00026	0,17
R-20 - Camellón - Epoca	2	0,00463	0,00231	1,59
Ubic. de Fert.	1	0,00247	0,00247	1,7
R-20 - Ubic. de Fert.	2	0,00020	0,00010	0,068
Camellón - Ubic. de Fert.	1	0,00042	0,00042	0,28
R-20-Cam.-Ubic.de Fert.	2	0,00088	0,00044	0,3
Epoca - Ubic. de Fert.	1	0,00066	0,00066	0,45
R-20 - Epoca - Ubic.de Fert.	2	0,00049	0,00024	0,16
Cam.-Epoca - Ubic.de Fert.	1	0,00411	0,00411	2,83
R-20 - Cam.-Epoca-Ubic.de Fert.	2	0,00189	0,00094	0,64
ERROR	69	0,10022	0,001452	
TOTAL	95	0,14133		

Cuadro 12. Análisis de variancia de la producción de frijol.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	4	51178,66	12794,66	0,773
Tratamientos	5	85800,01	17160,0	1,037
Error	20	330897,37	16544,867	
TOTAL	29	457876,06		

Cuadro 13. Análisis de variancia del número de vainas por planta.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	4	20,62	5,15	4,34
Tratamientos	5	8,12	1,62	1,37
Error	20	23,72	1,18	
TOTAL	29	52,48		

Cuadro 14. Análisis de variancia del número de semillas por vaina.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _c
Repeticiones	4	0,573	0,143	1,063
Tratamientos	5	0,434	0,086	0,643
Error	20	2,698	0,134	
TOTAL	29	3,706		

APENDICE 6. CONCENTRACION SUPERFICIAL DE N, P, K.

Cuadro 15. Concentración superficial* β_0 de nitrógeno, fósforo y potasio, según modelo $Y_i = \beta_0 \beta_1 X_i$.

TRATAMIENTOS	NITROGENO				FOSFORO				POTASIO			
	FERTILIZADO		NO FERTILIZADO		FERTILIZADO		NO FERTILIZADO		FERTILIZADO		NO FERTILIZADO	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
TESTIGO	4482	3932	4255	3810	1857	1808	1695	1606	838	575	846	711
R ²	.76	.55	.97	.43	.78	.58	.95	.11	.79	.29	.54	.94
CAMELLON												
R-20 20 cm	3941	3701	3984	3677	3885	1745	1683	1486	860	674	839	695
R ²	.72	.87	.65	.58	.99	.50	.66	.67	.22	.88	.56	.81
CAMELLON												
R-20 10 cm	4031	3757	4012	3842	1987	1690	1788	1660	760	698	911	811
R ²	.71	.75	.55	.01	.82	.09	.29	.95	.97	.002	.32	.76
SIN CAMELLON												
R-20 20 cm	4485	3773	4010	3803	1970	1396	1630	1443	1040	637	706	702
R ²	.75	.54	.82	.94	.43	.86	.56	.42	.41	.95	.99	.82
SIN CAMELLON												
R-20 10 cm	4343	4188	4256	4388	1791	1447	1533	1176	929	569	911	588
R ²	.84	.70	.06	.67	.97	.04	.29	.05	.87	.47	.62	.004
CAMELLON												
sin R-20	3702	3483	3596	3471	1550	1130	1632	1305	911	519	849	537
R ²	.54	.25	.69	.02	.01	.97	.60	.5	.86	.20	.94	.67

* en ppm, promedio de 4 repeticiones S = Siembra C = Cosecha R² = Ajuste de la regresión