

LA DINAMICA DEL AGUA Y DEL ESPACIO AEREO EN LAS CAPAS
SUPERFICIALES DE DOS SUELOS DE COSTA RICA

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Agustín Molero



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Septiembre, 1972

LA DINAMICA DEL AGUA Y DEL ESPACIO AEREO EN LAS CAPAS
SUPERFICIALES DE DOS SUELOS DE COSTA RICA

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

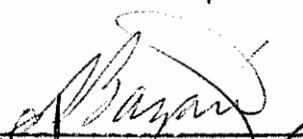
Warren M. Forsythe, Ph.D.

Comité



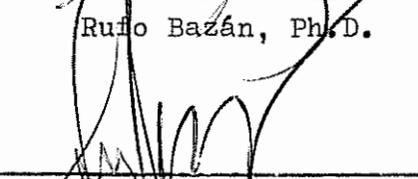
Gilberto Páez, Ph.D.

Comité



Rufo Bazán, Ph.D.

Comité



Antonio Vinchinat, Ph.D.

Septiembre, 1972

A la memoria de mi padre

A mi esposa América

A mis hijos: Agmeri, Humberto
y Giancarlo

A mi madre

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

A América por su constante estímulo.

Al Dr. Warren M. Forsythe, Consejero Principal, por la magnífica orientación dada al presente trabajo de tesis y por su invaluable ayuda como Consejero y amigo durante la realización de los estudios.

Al Dr. Gilberto Páez, miembro del Comité Consejero por su persistente interés y colaboración en el análisis estadístico y en la computación de los datos.

A los Drs. Rufo Bazán y Antonio Pinchinat, miembros del Comité Consejero por sus acertadas sugerencias, así como también al Dr. Mario Blasco L., miembro suplente del Comité Consejero.

Al Instituto Agrario Nacional de Venezuela y al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA por haberme brindado la oportunidad de realizar los estudios de Post-grado.

A todas las demás personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui, Venezuela, el 14 de abril de 1942.

Realizó sus estudios secundarios en el Liceo "Cajigal" de Barcelona, Anzoátegui y en el Colegio "Santa María" de Caracas.

Cursó estudios superiores en la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, graduándose en la especialidad de Hidrología y Meteorología en abril de 1965.

En mayo de 1965 ingresó al Instituto Agrario Nacional, organismo encargado del proceso de Reforma Agraria en Venezuela. Desempeñó funciones como Hidrólogo I hasta abril de 1966.

A partir de mayo de 1966 desempeñó el cargo de Coordinador de Hidrología, hasta setiembre de 1968.

Realizó estudios de Post-grado en la especialidad de suelos para optar al título de Magister Scientiae en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica, de octubre de 1968 a setiembre de 1970.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Consideraciones teóricas sobre la infiltración de agua en medios porosos	3
2.2. Infiltración debida a lluvia o a riego por asper- sión	6
2.3. Infiltración debida a inundación	9
2.4. Aireación y movimiento de agua en el suelo	13
2.4.1. Composición del aire del suelo	14
2.4.2. Mecanismos para intercambio de gas	15
2.4.3. Medida de la aireación del suelo	20
2.5. Efectos de la lluvia y el riego sobre la airea- ción	21
3. MATERIALES Y METODOS	27
3.1. Localización	27
3.2. Suelos	27
3.2.1. Suelo "Instituto" fase normal	28
3.2.2. Suelo "Margot" fase normal	28
3.3. Equipo y materiales para trabajo de campo	30
3.4. Equipo y materiales de laboratorio	35
3.5. Diseño experimental	35
3.6. Observaciones de campo	37
3.6.1. Pruebas de infiltración	37
3.6.2. Recolección de muestras para análisis físicos	37
3.6.3. Medida de la rata de difusión de oxígeno (R.D.O.)	39
3.6.4. Medida de la succión de agua del suelo .	41
3.6.5. Medida de la temperatura del suelo	41
3.7. Trabajo de laboratorio	41
3.7.1. Preparación de las muestras	41
3.7.2. Análisis físicos	42

	<u>Página</u>
3.8. Manejo del experimento en el campo	44
3.9. Análisis estadístico	46
3.9.1. Modelo matemático del diseño experimental	46
3.9.2. Análisis comparativo de factores	48
3.9.3. Análisis de tendencia	48
3.9.4. Análisis de relación	49
4. RESULTADOS	51
4.1. Características físicas de los suelos	51
4.2. Infiltración	51
4.3. Redistribución de humedad	55
4.3.1. Redistribución de humedad para el suelo "Instituto"	55
4.3.2. Redistribución de humedad para el suelo "Margot"	61
4.4. Redistribución de espacio aéreo	65
4.4.1. Redistribución de espacio aéreo para el suelo "Instituto"	65
4.4.2. Redistribución de espacio aéreo para el suelo "Margot"	72
4.5. Variaciones de tensión de humedad	77
4.5.1. Variaciones de tensión de humedad para el suelo "Instituto"	77
4.5.2. Variaciones de tensión de humedad para el suelo "Margot"	79
4.6. Variaciones de temperatura	82
4.6.1. Variaciones de temperatura del suelo "Instituto"	82
4.6.2. Variaciones de temperatura del suelo "Margot"	83
4.7. Variaciones de rata de difusión de oxígeno (R.D.O.)	84
4.7.1. Variaciones de R.D.O. para el suelo "Ins- tituto"	84
4.7.2. Variaciones de R.D.O. para el suelo "Margot"	86

	<u>Página</u>
4.8. Efecto de una lluvia de 1 cm de lámina sobre las condiciones de humedad y de aireación del suelo "Margot"	93
4.8.1. Características de las lluvias	93
4.8.2. Variaciones de humedad por efecto de la lluvia	95
4.8.3. Variaciones de espacio aéreo por efecto de la lluvia	95
4.8.4. Variaciones de la R.D.O. por efectos de la lluvia	96
5. DISCUSION	98
6. CONCLUSIONES	107
7. RESUMEN	110
7a. SUMMARY	112
8. LITERATURA CITADA	114
APENDICE	122

LISTA DE FIGURAS

Figura Nº		<u>Página</u>
1	Localización del estudio en el campo	29
2	Infiltración de anillo doble	31
3	Muestreadores para los primeros 9 cm de la capa superficial	32
4	Muestreador tipo "King Tube"	33
5	Dispositivo de alambre para incertar los microelectrodos y geotermómetro	34
6	Techado de plástico con estructura de madera para protección del experimento	36
7	Infiltrómetro visto en planta con indicación de los sitios de observación de R.D.O., temperatura, tensión y de muestreo para humedad	40
8	Conjunto de un ensayo montado en el campo ..	45
9	Pasos para muestreo de humedad del suelo ...	47
10	Infiltración acumulada del suelo "Instituto"	53
11	Rata de infiltración del suelo "Instituto" .	53
12	Infiltración acumulada del suelo "Margot" ..	54
13	Rata de infiltración del suelo "Margot"	54
14	Variación de humedad volumétrica (sin cobertura) para el suelo "Instituto"	57
15	Variación de humedad volumétrica (sin cobertura) para una lámina de 10 cm en el suelo "Instituto"	58
16	Variaciones de humedad volumétrica (con cobertura) para una lámina de 1 cm en el suelo "Instituto"	58
17	Variaciones de humedad volumétrica (con cobertura) para el suelo "Instituto"	60

Figura N ^o		<u>Página</u>
18	Variación de la densidad aparente con el contenido de humedad en el suelo "Instituto" ...	62
19	Variaciones de humedad volumétrica (sin cobertura) para el suelo "Margot"	64
20	Variación de humedad volumétrica (con cobertura) para el suelo "Margot"	66
21	Variación del espacio aéreo ponderado para el suelo "Instituto"	68
22	Variación de espacio aéreo (sin cobertura) para láminas de 1 cm y 5 cm para el suelo "Instituto"	70
23	Variación del espacio aéreo para una lámina de 10 cm (sin cobertura) para el suelo "Instituto"	71
24	Variación del espacio aéreo (con cobertura) para una lámina de 1 cm y 5 cm para el suelo "Instituto"	73
25	Variación de espacio aéreo (con cobertura) para una lámina de 10 cm para el suelo "Instituto"	71
26	Variación del espacio aéreo en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Margot"	74
27	Variación de espacio aéreo (con cobertura) para el suelo "Margot"	76
28	Variación de la tensión de humedad en función de la lámina de agua y del tiempo para el suelo "Instituto"	78
29	Variación de la tensión de humedad en función de la lámina de agua y del tiempo para el suelo "Margot"	81
30	Variación de la rata de difusión de oxígeno en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Instituto"	85

Figura N ^o		<u>Página</u>
31	Relación entre espacio aéreo ponderado y la R.D.O. para el suelo "Instituto"	87
32	Variación de la R.D.O. en función del espacio aéreo para el suelo "Margot"	89
33	Variación de la rata de difusión de oxígeno en función del tiempo para el suelo "Margot"	90
34	Variación de la R.D.O. en función de la <u>ten</u> sión para el suelo "Margot"	92
35	Intensidades de las 3 lluvias de 1 cm de lámina de las cuales se estudió su efecto sobre el contenido de humedad, el espacio aéreo y la R.D.O. en el suelo "Margot"	94

1. INTRODUCCION

El proceso de infiltración y de redistribución del agua en el suelo tiene importancia primordial, tanto para las prácticas de riego como para el drenaje de tierras agrícolas; pese a ello es escasa la bibliografía sobre este tema y sus posibles efectos sobre el estado de aireación del suelo. Estas propiedades físico-hidráulicas son las más importantes para diseñar un buen sistema de riego y de drenaje, que permita una producción óptima.

Por otra parte, el estado de aireación puede ser reducido a niveles críticos por la lluvia y el riego. El riego por el método de aspersión o inundación ejerce una gran influencia sobre la aireación del suelo. A pesar de la significación del problema, los esfuerzos aún no han podido darle soluciones definitivas; las dificultades estriban, en que han sido relativamente pocas las mediciones de aireación del suelo bajo condiciones de campo, en combinación con cambios en el contenido de humedad de los suelos. Únicamente se dispone de alguna información sobre el efecto de períodos cortos de deficiencia de oxígeno sobre la producción de cosechas.

Este tipo de información escasea aún más para regiones tropicales, donde el problema se torna más agudo debido, a la gran variabilidad en la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación pluvial; lo cual es característico del clima más dinámico predominante en estas zonas.

En general se puede afirmar que no se ha prestado la atención necesaria al estudio de la infiltración y redistribución del agua en los primeros 20 cm de las capas superficiales de suelo. Tampoco se ha estudiado de manera detallada lo referente al espesor y la duración

de la zona de barrera (zona muy saturada del perfil del suelo) y su efecto sobre el estado de aireación del suelo.

Además, la gran mayoría de los estudios sobre este problema se han llevado a cabo en condiciones de laboratorio y sin evaporación de la superficie del suelo.

La presente investigación tiene como objetivos básicos los siguientes:

- 1) Estudiar el proceso de infiltración y redistribución de diferentes láminas de agua y determinar su efecto sobre las condiciones de aireación de las capas superficiales de dos suelos diferentes, sin cobertura y con cobertura de la superficie.
- 2) Establecer las posibles correlaciones que puedan existir entre: lámina de agua, contenido de humedad, aireación y rata de difusión de oxígeno.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Consideraciones teóricas sobre la infiltración de agua en medios porosos

Se ha considerado de interés abordar algunos aspectos teóricos sobre la infiltración vertical de agua en el suelo, antes de tratar aspectos experimentales. Rubin (79) analizó matemáticamente los cambios en el contenido de humedad del suelo y las ratas de entrada durante infiltración de agua de lluvia. Demostró analíticamente que una lluvia continua, eventualmente resulta en encharcamiento, solamente si la intensidad de la lluvia excede a la conductividad hidráulica del suelo saturado. Posteriormente lo comprobó mediante una experiencia de laboratorio empleando columnas de suelo arenoso (81).

Youngs (100) indica que para el caso de flujo vertical, el potencial total ϕ de un punto (expresado en término de energía por unidad de volumen), es la suma del potencial debido a la presión de agua obtenida y el potencial de altura. Esto es:

$$\phi = \rho g (p + z) \quad [1]$$

donde:

ρ = densidad del agua

g = constante gravitacional

p = presión del agua en cm de agua

z = distancia vertical medida positiva hacia arriba de un nivel arbitrario

El flujo de humedad "F", moviéndose verticalmente por lo tanto viene dado por la ecuación siguiente:

$$F = -K \frac{d\bar{\theta}}{dz} = -\rho g K \left(\frac{dp}{dz} + 1 \right) \quad [2]$$

y la ecuación de flujo es:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \rho g \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \rho g \frac{\partial K}{\partial z} \quad [3]$$

donde:

K = conductividad hidráulica en unidades c.g.s. a un contenido de humedad volumétrica dado "c". Siendo "T" el tiempo de infiltración, las condiciones límites de la ecuación [3], aplicables durante la infiltración y redistribución de agua en columnas semiinfinitas de material poroso a un contenido de humedad inicial uniforme de "Cn", son:

$$\begin{aligned} t = 0 \quad z \leq 0, \quad c = C_n \\ T > t > 0 \quad z = 0, \quad c = C_0 \quad p = f(c) \\ \quad \quad \quad z = 0, \quad c = C_n \\ t > T, \quad \int_0^{-\infty} dz = \text{constante} \quad [4] \\ \quad \quad \quad z \rightarrow -\infty, \quad c \rightarrow C_n \quad p = H(c) \end{aligned}$$

Una ecuación del mismo tipo fue desarrollada por Staple y Lehane, citados por Youngs (99), pero despreciaron la gravedad y la histéresis:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \rho g \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial p}{\partial z} \right) \quad [5]$$

Por su parte, Childs y Collis-George, citados por Staple (81) llegaron a la expresión:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{dc}{dz} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad [6]$$

donde:

el término $\left(K \frac{\partial p}{\partial z} \right)$ de las ecuaciones [37] y [5] es reemplazado por el coeficiente de difusividad "D".

Por otro lado, Rubin (79) llegó a idénticos resultados que Youngs (100) utilizando columnas de suelo Rehovot arenoso.

Thames y Evans (91) estudiaron la infiltración vertical de agua dentro de material de suelo franco arenoso y franco limoso, siguiendo la redistribución mediante un aparato de atenuación de rayos gamma. Así, obtuvieron mediante análisis de regresión múltiple una expresión analítica del contenido de humedad como una función de la profundidad "z" y del tiempo "t". El modelo escogido fue:

$$\ln (\theta_0 - \theta) = g(t) \cdot h(z) + g(z) + g(z) \cdot h(t) + m \quad [7]$$

donde:

θ_0 = máximo contenido de agua

$h(z)$ y $h(t)$ = representan θ en función de la profundidad y del tiempo, respectivamente

$g(t)$ = función que describe el cambio en pendiente de un plano de las relaciones entre contenido de agua y profundidad para tiempos determinados

$g(z)$ = función que describe los cambios en pendiente de las relaciones, contenido de agua-tiempo para profundidades determinadas

m = localiza la superficie en el espacio cartesiano

Las experiencias de Rubin (79), Youngs (100) y de Thames y Evans (91) fueron llevadas a cabo bajo condiciones controladas sin evaporación de la superficie del suelo.

Por otra parte, varios autores (68, 74, 96) han reportado ecuaciones de la forma Cobb-Dougla y logarítmica

$$Y = \beta_0 X^{\beta_1} \quad [8]$$

la cual expresa el contenido de humedad después de un riego en un suelo donde no haya evaporación o transpiración y donde Y es el contenido de humedad, X el tiempo en días, β_0 es el contenido de humedad a un día después del riego y, β_1 la pendiente de la línea log-log como un valor positivo. Pero esta ecuación no está fundamentada en medidas de la conductividad hidráulica K (cm/día) como lo han logrado Black y colaboradores (6) y, Davidson et al (21) para condiciones de campo con evaporación de la superficie.

La velocidad de infiltración depende de muchos factores, entre los que se cuentan, la lámina de agua aplicada y el método de aplicación; la temperatura del agua y del suelo y; la estructura, toxtura y contenido de humedad del terreno (43).

2.2. Infiltración debida a lluvia o a riego por aspersión

Existe relativamente escasa disponibilidad de información experimental acerca de la física del estado transitorio de la infiltración de lluvia hacia adentro del perfil del suelo.

Youngs (101) trabajando en condiciones controladas, parece haber obtenido datos sobre la trayectoria de los cambios en contenido de humedad en materiales porosos (ceniza pizarrosa de 0,04 a 0,125 mm de diámetro) durante la infiltración de la lluvia a dos intensidades diferentes; pero sus resultados son inconclusos.

Rose (78) en un estudio de laboratorio con tres suelos de textura diferente, no encontró diferencia significativa en la redistribución de humedad con profundidad para cualquiera de los tres suelos examinados entre, infiltración total de lluvia a una rata de 6 pulgadas/hora y una a 4 pulgadas/hora; pero si observó una mayor infiltración con la mejor condición estructural del suelo para muestras disturbadas y no disturbadas y, también que la rata de infiltración de la superficie del suelo deteriorada por lluvia intensa disminuye como la lluvia continúa.

Marshall y Stirk (62) llegaron a iguales conclusiones que Rose (78) en lo relativo a la influencia de la intensidad de la lluvia sobre el estado de humedad de la zona de transmisión en los casos de ciertos suelos arenosos, francos y arcillosos. Así, encontraron influencia no significativa de la intensidad de lluvia sobre la condición de humedad de la zona de transmisión y para profundidades de humedecimiento relativamente grandes (50 cm o mayores). A pesar de eso, influencias considerables de este tipo han sido inferidas de experimentos con ceniza pizarrosa (101).

Por otro lado, datos referentes a profundidades escasas de humedecimiento (20 cm o menores) han mostrado efecto despreciable de la intensidad de la lluvia en el caso de ceniza pizarrosa (101); aunque influencia significativa fue encontrada por Budagovskii citado por Rubin et al (81) en el caso de ciertos suelos arenosos. Para profundidades de humedecimiento relativamente grandes e intensidades de lluvia suficientemente bajas, una teoría (80) basada sobre una ecuación de flujo de humedad del tipo de difusión concuerda cualitativamente

con los resultados obtenidos por Youngs (101); luego se deduce que a mayor intensidad de lluvia mayor debe ser el contenido de humedad del perfil humedecido. Generalizando se observa que, los resultados teóricos no coinciden con los resultados de datos experimentales existentes (62, 78, 81).

Un estudio que ha contribuido al esclarecimiento del problema sobre cambios en el contenido de humedad de los perfiles de infiltración es el logrado por Rubin et al (81). Utilizaron dos suelos: un Rehovot arenoso (más fino que 2 mm) y una arcilla Beisan, altamente calcáreo, de agregados de zerozenic de 0,5 a 1,5 mm. Los suelos se colocaron en columnas de 70 cm de altura, se humedecieron con lluvia y se drenaron dentro de un nivel constante de tabla de agua. Todas las intensidades de lluvia usadas con cualquier suelo fueron relativamente bajas, excepto para una más alta, todas fueron menores que la conductividad hidráulica del material saturado. Dadas las condiciones anteriores y el tiempo de prueba empleado, no se produjo inundación en ninguno de los experimentos de infiltración de lluvia reportados. Todos los experimentos fueron realizados por duplicado, en un salón de temperatura constante de 28° C. Así, se pudo deducir que cuando la intensidad de la lluvia sigue constante, los contenidos de humedad del suelo al aumentar la profundidad, tienden a aproximarse al mismo nivel constante.

Las intensidades aplicadas fueron de 47 ± 1 mm/hr para el suelo arenoso y de 150 ± 1 mm/hr para el suelo arcilloso. Bajo estas condiciones, el logro aproximado de este límite a una profundidad dada ocurre a contenidos de humedad considerablemente más bajos en el caso

de la arena (del orden del 20% con base en volumen) que en la arcilla (del orden del 48% con base en volumen). La duración de la infiltración se varió desde 61 minutos hasta 213,5 minutos en el caso de la arena y de 60 minutos hasta 120 minutos para la arcilla.

Así, se obtuvo diferencia altamente significativa en ambos suelos con relación a la influencia de la intensidad de la lluvia sobre los perfiles de infiltración de igual profundidad humedecida, siendo más notable dicha diferencia para el caso del suelo arenoso, habiéndose observado un aumento en el contenido de humedad del perfil con un aumento en la intensidad de la lluvia. Se observa que para obtener el mismo contenido de humedad en el suelo arenoso se necesita de una intensidad de lluvia de más del doble que la utilizada para el suelo arcilloso.

Los resultados anteriores obtenidos por Rubin et al (81) confirman las suposiciones de Youngs (101); pero no coinciden con los resultados de Rose (78) y los de Marshall y Stirk (62). Luego, se considera que tal discrepancia podría atribuirse al hecho de que los prenombrados investigadores no utilizaron intensidad de lluvia lo suficientemente diferente en magnitud como las utilizadas por Rubin et al (81), las que variaron desde 2 mm/hr hasta 586 mm/hr para el suelo arenoso y de 35 mm/hr a 295 mm/hr en el suelo arcilloso.

2.3. Infiltración debida a inundación

Algunos investigadores (9, 81, 91) han estudiado la infiltración debida a inundación bajo condiciones controladas (de laboratorio) y, otros bajo condiciones de campo (6, 21, 67, 68, 97).

Bodman y Colman (9) estudiaron el movimiento de agua hacia abajo en columnas de suelos Yolo franco arenoso y Yolo franco limoso, sobre la superficie de los cuales se mantuvo una capa de 5 cm de agua. Así obtuvieron una expresión para la lámina acumulada de agua h , del tipo Cobb-Dougla:

$$h = \beta_0 \cdot t^{\beta_1} \quad [9]$$

donde:

t es tiempo, β_0 es una constante y la constante β_1 , es positiva pero menor que la unidad.

La correspondiente forma de expresión es:

$$I = \frac{\beta_1 \cdot \beta_0}{t^{(1-\beta_1)}} \quad [10]$$

donde:

I = rata de entrada de agua expresada como lámina de agua entrando al suelo por minuto.

Las zonas húmedas de ambas columnas de suelos (franco arenoso y franco limoso) pueden dividirse en cuatro secciones o capas diferentes, cuyas propiedades son de considerable significancia en la interpretación de los procesos de infiltración y redistribución. Así, tenemos la primera capa superficial de 1 cm para cada columna de suelo, la cual alcanzó un contenido de agua próximo a la saturación que se considera como capa de saturación. Inmediatamente por debajo de esta capa superficial saturada, la humedad del suelo decrece rápidamente hasta alcanzar contenidos de humedad los cuales a esta profundidad no son excedidos por encima de penetración adicional de agua infiltrándose

y se le ha considerado como zona de transmisión. Luego se tiene la tercera capa humedecida, de la zona de infiltración, en contraste con la de transmisión entre ésta y la segunda, aquí, dado que el frente de humedecimiento se mueve hacia abajo, el contenido de humedad del suelo aumenta. Finalmente, tenemos la cuarta capa, donde la zona de humedecimiento termina abruptamente en el frente húmedo, así, el límite entre suelo húmedo y suelo seco es mostrado por un plano definido muy pronunciado, siempre y cuando se observe a través del microscopio. Los autores (9) sugieren que el contenido de humedad del frente húmedo es característico del suelo pero probablemente independiente de la profundidad humedecida.

Además, dos conclusiones principales fueron deducidas de las condiciones de energía-contenido de humedad encontradas durante la infiltración. La primera de estas es que el decrecimiento en ratas de infiltración en ambos suelos con el tiempo se debe principalmente a una disminución en el gradiente de potencial de humedad dentro de la zona de transmisión del suelo. Debe enfatizarse que estos resultados fueron obtenidos con suelo uniforme, inicialmente seco al aire y de profundidad no limitada. La segunda conclusión se refiere al bajo límite de significancia de la permeabilidad capilar indicada por el contenido de humedad del frente húmedo, esto ha sido destacado, que la profundidad del frente húmedo permanece constante independientemente de la profundidad de humedecimiento

Youngs (100) posteriormente obtuvo prácticamente los mismos resultados que Bodman y Colman (9) en lo referente al avance del frente húmedo durante la redistribución; pero se observó que ésta depende

grandemente de la profundidad inicial de infiltración, así a mayor profundidad es más rápida la redistribución. Probablemente esta diferencia se debe a que Youngs en sus experimentos no utilizó suelo sino material sintético (ceniza pizarrosa y un producto comercial de pepitas de vidrio "Balotini" grado 15) metidos dentro de tubos de vidrio, mantuvo una carga de agua de 2 mm por sobre la superficie del material poroso durante el ensayo hasta asegurar la saturación. No hubo pérdidas de agua por evaporación y la experiencia se efectuó en un laboratorio con variación diurna de la temperatura del orden de los 60 C.

Por otra parte Rubin et al (81) suplementaron sus experimentos de infiltración por lluvia con determinaciones de perfiles del contenido de humedad de la infiltración por inundación, cubriendo al suelo con una lámina de agua de 2 cm durante la infiltración. Observaron que los perfiles de humedad debidos a infiltración por inundación conservan la misma tendencia que los producidos por lluvia, pero con un mayor contenido de humedad. En lo que respecta a las ratas de avance del frente húmedo se observó que cambian rápidamente con el tiempo para el caso de infiltración por inundación en suelos arenosos y arcillosos. En conclusión, el comportamiento general de los contenidos de humedad de los perfiles estudiados son cualitativamente similares a los obtenidos por Bodman y Colman (9).

Thames y Evans (91) mediante un experimento más elaborado utilizando suelos franco arenoso y franco limoso en columnas bajo inundación llegaron a idénticas conclusiones que Bodman y Colman (9) en

cuanto a la distribución de la humedad del suelo respecto a la profundidad de humedecimiento durante la infiltración.

Finalmente, de los resultados obtenidos por Ogata y Richards (68), Nielsen et al (67) y, Wilcox (96) mediante pruebas de drenaje en un suelo profundo después de regado por inundación, siendo además razonablemente uniforme en cuanto a textura, con drenaje libre y protegido de la evaporación, se pueden deducir las conclusiones siguientes:

1. La lámina de agua aumenta a medida que aumenta la profundidad en función de los días después de irrigado el suelo.
2. Los valores de la rata de pérdida de humedad disminuyen en función del tiempo después de irrigado el suelo y también en función del aumento en profundidad.
3. Los valores de la rata de pérdida de humedad son menores para suelos de textura fina y mayores para suelos de textura grosera.
4. En cualquier instante dado, la rata de pérdida de humedad es función del contenido de humedad del suelo. Así, a mayor contenido de humedad se tendrá una mayor rata de pérdida de humedad y viceversa.

2.4. Aireación y movimiento de agua en el suelo

La aireación de un suelo decrece al aumentar la humedad o bien, al disminuir la fuerza de succión del agua. Se ha establecido relación entre la aireación y la rata de difusión de oxígeno determinándose que concentraciones menores de un 10,5% de oxígeno en el aire del suelo son limitantes para el crecimiento de las raíces (2). Por otra

parte, Stolzy y Letey (86) establecieron que un ritmo de difusión de oxígeno de 0,2 microgramos por centímetro cuadrado por minuto es el límite crítico para las plantas. Además, se ha encontrado que una reducción del espacio aéreo por debajo del 10% anula la difusión de oxígeno. Este valor es considerado como un punto crítico general (39, 89). Hay cultivos como frijol (Phaseolus vulgaris sp) que necesitan hasta un 25% de espacio aéreo para un crecimiento óptimo (20, 51).

2.4.1. Composición del aire del suelo

La composición del aire del suelo es muy dinámica y, es determinada por la diferencia entre la rata de producción de CO_2 en el suelo por las raíces de las plantas y los microorganismos y, la rata de removimiento del gas (29).

El aire de los suelos bien aireados por volumen, está compuesto generalmente de 20,3% de O_2 , 79% de N_2 y, 0,15% a 0,65% de CO_2 (y casi saturado con el vapor de agua). En cambio el aire de la atmósfera se compone de 20,96% de O_2 , 79,01% de N_2 y, 0,03% de CO_2 . Se observa que la concentración del CO_2 en el aire del suelo es de 5 a 20 veces mayor que la de la atmósfera. Sin embargo, si hay algún impedimento en el removimiento del CO_2 producido, la concentración del CO_2 puede crecer mucho más. Tal es el caso cuando hay un impedimento en el removimiento del CO_2 debido a la pobre aireación después de una inundación del suelo (3, 11, 83).

2.4.2. Mecanismos para intercambio de gas

Para determinar los parámetros de aireación del suelo los cuales tienen una gran significancia en el desarrollo de las plantas, es necesario comprender los mecanismos envueltos en el intercambio de gas entre el lugar de respiración y la atmósfera aérea (59).

La difusión es el proceso físico más importante en el intercambio de los gases entre el suelo y la atmósfera (12, 76, 77). En vista de que el aire del suelo tiende a contener más CO_2 y menos O_2 que el aire atmosférico, el proceso de difusión en suelos consiste en primer lugar en el movimiento de CO_2 hacia afuera del suelo y el del O_2 desde la atmósfera hacia adentro del perfil del suelo.

Uno de los primeros en investigar las relaciones entre la difusión de gas y la aireación de los suelos fue Buckingham (12) quien estableció experimentalmente para el flujo estable la expresión:

$$D = K E_a^2 \quad [11]$$

donde:

D = coeficiente de difusión efectiva a través de la masa del suelo

E_a = razón de espacio aéreo y el valor de K , coeficiente de difusión fue calculado en $2,16 \times 10^{-4}$ y, varía con el cuadrado de la temperatura absoluta e inversamente con la presión total.

Posteriormente Penman (70) reportó que

$$D/D_0 = 0,66 E_a \quad [12]$$

para la difusión de vapor a través de sólidos porosos y de un subsuelo, mientras que Taylor (89) consiguió que

$$D/D_o = 0,55 E_a \quad y \quad [13]$$

$$D/D_o = 0,67 E_a \quad [14]$$

para arena y un suelo franco respectivamente. Por su parte De Vries (23) llegó a iguales resultados que Penman mediante consideraciones teórico-matemáticas. Luego van Bavel (89, 90) obtuvo la expresión

$$D/D_o = 0,6 E_a \quad [15]$$

donde:

D = coeficiente de difusión efectiva a través de la masa de suelo

D_o = coeficiente de difusividad en el aire

E_a = razón de espacio aéreo.

Blake y Page, citados por Bakker y Hidding (3) trabajando con suelos arcillosos llegaron a obtener la expresión

$$D/D_o = 0,67 E_a \quad [16]$$

idéntica a la obtenida por Taylor (89) para suelo franco. Más tarde, Domby y Kohnke (24) trabajando con suelos franco-limosos con costra y sin costra consiguieron las expresiones

$$D_1/D_2 = 0,55 \quad y \quad [17]$$

$$D_1/D_2 = 1,0 \quad [18]$$

para 13% y 25% de espacio aéreo respectivamente y, donde D₁ y D₂ son los coeficientes de difusividad efectivas para suelos con costra y sin costra respectivamente. Luego, Call (14) con algunos suelos desarrolló la expresión

$$D/Do = 0,66 (E_a - 0,1) \quad [19]$$

prácticamente igual a la de Penman (70). Gradwell (37) encontró las expresiones siguientes:

$$D/Do = 0,65 (E_a - 0,1) \quad [20]$$

para agregados de caolin

$$D/Do = 0,7 (E_a - 0,17) \quad [21]$$

para el mismo material con empaquetamiento denso

$$D/Do = 0,27 E_a \quad [22]$$

y para muestras no disturbadas de suelo superficial franco-limoso de pastizales.

Currie (17, 18) trabajando con arena y valores de E_a de 20% - 55% consiguió la siguiente expresión:

$$D/Do = 0,7 (E_a - 0,05 \pm 0,1) \quad [23]$$

con esferas de vidrio, obtuvo:

$$D/Do = 0,9 E_a^{1,4} \quad [24]$$

Posteriormente, el mismo Currie (18) para una arena con 38% de porosidad y E_a de 5% - 18% obtuvo la relación:

$$D/Do = 0,25 E_a \quad [25]$$

Para idéntico material con E_a entre 18% y 30% obtuvo:

$$D/Do = 0,8 (E_a - 0,15) \quad [26]$$

Para el mismo material con E_a mayor del 16%:

$$D/Do = 6,0 E_a^{3,4} \quad [27]$$

Gradwell (37) para un suelo franco arcilloso con espacio aéreo entre 2% y 9% consiguió la razón:

$$D/Do = 0,06 (E_a - 0,02) \quad [28]$$

y para el mismo suelo con espacio aéreo entre 9% y 16% la razón:

$$D/Do = 0,3 (E_a - 0,07) \quad [29]$$

Ultimamente, Grable y Siemer (36) para un suelo franco-arcillo-limoso con 6,8% de materia orgánica y para valores de espacio aéreo entre 20% y 40% desarrolló la expresión:

$$D/Do = 5,25 E_a^{3,36} \quad [30]$$

Más recientemente Bakker y Hidding (3) para suelos no inundados consiguieron la expresión siguiente:

$$D/Do = 0,85 E_a^{2,0} \quad [31]$$

y para suelos inundados:

$$D/Do = 2,0 E_a^{3,0} \quad [32]$$

Por otra parte Millington (65) estableció la razón:

$$D/Do = E_a^{4/3} \quad [33]$$

Marshall (61) obtuvo una expresión parecida a la anterior:

$$D/Do = E_a^{3/2} \quad [34]$$

Con base en lo anterior se puede indicar que la gran variabilidad en las expresiones para explicar la relación entre la difusión y la aireación se debe mayormente a la diversidad de condiciones experimentales utilizadas por los diferentes investigadores que han estudiado el problema. Pero, como podrá observarse, la mayoría de las ecuacio-

nes tienden a aproximarse a la ecuación [12] desarrollada por Penman (70).

Letey y colaboradores (59) señalan que, la rata de difusión de oxígeno a través del líquido circundante de la raíz depende del coeficiente de difusión en agua, de la fracción del área no ocupada por sólidos, de la tortuosidad de la trayectoria de la difusión y, del gradiente de concentración el cual podría a veces, depender de los espesores de la película de agua alrededor de la raíz y de la rata de consumo.

La constante de difusión de oxígeno en agua a 25°C es de alrededor de $2,56 \times 10^{-5}$ cm/seg (55) y en el aire $2,26 \times 10^{-1}$ cm²/seg según Willey y Tanner (98) y de $1,89 \times 10^{-1}$ cm²/seg según reportan Letey et al (59). De lo anterior se observa que la constante de difusión es del orden de 10.000 veces menor en el agua que en el aire, encontrándose aquí la explicación del por qué el agua funciona como una barrera al proceso de difusión.

El efecto de la temperatura y la presión sobre la constante de difusión fue estudiada por Bakker y Hidding (3) con temperatura y presión durante las pruebas de 20 ± 3 °C y 1013 ± 25 milibares (1 milibar = 10^3 dinas/cm² y es una unidad de presión utilizada comúnmente en meteorología (68)) encontrando desviaciones del 2% debido a temperatura y, de 2,5% debido a variación en la presión barométrica. Además Letey y colaboradores (56) señalan que la rata de difusión de oxígeno (R.D.O.) aumenta en 1,8% por cada °C de aumento en la temperatura.

2.4.3. Medida de la aireación del suelo

Existen muchos métodos basados en el uso de concentraciones de O_2 y de CO_2 como medidas de determinación de la aireación del suelo y su relación con el desarrollo de las plantas, pero no han sido del todo satisfactorias. Lemon y Erickson (52, 53) introdujeron la técnica del microelectrodo de platino para la medición de la rata de difusión de oxígeno, la cual fue mejorada posteriormente por Letey y Stolzy (58).

El aparato para medida de la rata de difusión de oxígeno utiliza el principio de la polarografía (63), el cual se basa en que la corriente eléctrica que fluye a través del circuito es proporcional a la velocidad de reducción del O_2 en la superficie del electrodo. Consta de una batería, un resistor variable, un voltímetro, un microamperímetro, un electrodo de referencia o calomel y un electrodo de platino.

Los factores que generalmente influyen en la rata de difusión de O_2 por el electrodo también afectan la difusión de una raíz. Así Letey et al (59) señalan que este método promete la caracterización de la aireación del suelo en términos de parámetros que son de significancia en el crecimiento de la planta.

En cuanto al consumo de aire en el suelo, en realidad, resulta difícil medir con precisión la cantidad de O_2 usado o de CO_2 devuelto por día. Existe el problema de que el CO_2 también es producido por respiración anaeróbica y por otra parte existe el inconveniente de evaluar la profundidad efectiva del suelo. Hay cifras que oscilan

entre 0,8 litros a 25,0 litros de CO_2 producido por día y de 2,0 litros a 2,6 litros de O_2 consumido (29).

Varios autores (27, 35, 51, 56, 57, 58, 59, 86, 90) han utilizado el método del electrodo de platino para medir el flujo de O_2 en un punto. Con base en los trabajos de Stolzy y Letey (86,87) se puede afirmar que valores de R.D.O. de oxígeno de $20 \times 10^{-8} \text{ gm/cm}^2/\text{min}$ inhiben el crecimiento radicular y valores entre 20 y 30 retardan el mismo, o sea en promedio $25 \times 10^{-8} \text{ gm/cm}^2/\text{min}$, lo cual equivale a aproximadamente $2,74 \text{ lt/m}^2/\text{día}$ a una temperatura de 25°C y presión atmosférica. Forsythe (31) ha considerado la R.D.O. como un factor físico de crecimiento.

2.5. Efectos de la lluvia y el riego sobre la aireación

Los efectos del agua que entra al suelo se pueden dividir en dos partes. La primera parte consiste en la solución del O_2 en el agua que entra al perfil. Richards (73) encontró que para un clima templado (Inglaterra), el agua contenía 9 ppm en base de masa de O_2 en el verano y 11,2 ppm de O_2 en el invierno. La segunda parte más importante consiste, en el desplazamiento del aire del suelo por el agua que entra al mismo y ocupa el espacio aéreo. Al salir el agua a través del drenaje o por medio de su extracción por las raíces de las plantas, el aire de la atmósfera es atraído hacia el perfil. Entonces es factible cambiar todo el volumen de aire en el suelo de esta manera; sin embargo si mucho aire atrapado queda en el suelo el porcentaje de cambio será menor. La importancia de este proceso depende de la frecuencia de irrigación o de lluvia (29).

Romell (77) calculó que las dos partes de este efecto contribuyen a, aproximadamente $1/12$ a $1/16$ de la aireación normal.

A continuación se analizan algunos trabajos experimentales llevados a cabo con relación a los efectos de la lluvia y el riego sobre la aireación. Danfors (19) en un estudio realizado en la Estación Experimental de Drenaje del Norte Central de Ohio encontró, que sobre un período de tiempo la rata de difusión de oxígeno de la superficie del suelo fluctúa de acuerdo a los efectos combinados de lluvia y drenaje. La R.D.O. de oxígeno y la correspondiente humedad durante el drenaje de los cinco suelos estudiados estuvieron correlacionados linealmente.

Luego de las relaciones entre la R.D.O. y el contenido de humedad puede obtenerse el grado óptimo de drenaje para un suelo conociendo los requerimientos de oxígeno del cultivo a sembrarse. Este queda confirmado por el hecho de que la medida del contenido de humedad del suelo es insuficiente por si sola para evaluar la efectividad de las condiciones de drenaje (26).

Nielsen, Kirkham y Wijk (67) mientras conducían estudios de almacenamiento de agua sin evaporación de la superficie en dos suelos franco-arcilloso y dos franco-limosos, encontraron para tres de ellos y en los primeros 20 cm una reducción del espacio aéreo significativamente mayor que en capas más profundas (la máxima diferencia fue de 48% para el suelo Monoma franco-arenoso y la mínima de 16% para Webster franco-arcilloso) a humedad correspondiente a capacidad de campo. Estos resultados concuerdan con los de Danfors (19) al relacionar la R. D.O. de oxígeno con el contenido de humedad.

En experiencias realizadas por Kemper y Ameniya (47) y Willey y Tanner (98) se demostró que cuando la superficie del suelo está hermética debido a inundación o aspersión prolongada a una tasa relativamente alta, la concentración de O_2 en los poros decrece. La superficie hermética ocurrió por unos 4 y 2 días para los dos casos, respectivamente.

Por otra parte Kirillina (48), mientras conducía estudios de riego en suelos Chernozems arcillosos y franco-arcillosos encontró que, al aplicar agua por surcos el espacio aéreo en el fondo del surco (y en el caso de parcelas inundadas) se reduce en un 11% en los primeros 20 cm del suelo y en 9% a los 25 cm. En cambio cuando el riego se efectuó por aspersión, el espacio aéreo se redujo solamente en los primeros 10 a 15 cm. En el caso de inundación, el espacio aéreo se redujo en un 4% por volumen más en comparación con la irrigación por aspersión.

Erickson y Van Doren (27) consiguieron diferencias significativas en el número de días requeridos para alcanzar una R.D.O. de oxígeno máxima después de irrigar suelos que habían estado sometidos a varias rotaciones de cultivo. La R.D.O. fue medida por la técnica del electrodo de platino en campos de algodón (Gossypium herbaceum) del valle de San Joaquín de California, U.S.A. Se obtuvo que la R.D.O. fue muy baja a través del perfil un día después de la irrigación y aumentó gradualmente con el tiempo. La R.D.O. fue adecuada para un buen crecimiento radicular a una profundidad menor de 40 cm al cuarto día después de irrigado (varió desde 30×10^{-8} gr/cm²/min a 40 cm de

profundidad hasta 64×10^{-8} gr/cm²/min a 10 cm). Los valores de la R.D.O. bajo irrigación por aspersion fueron ligeramente más altos que bajo irrigación por surcos, pero no significativamente más alta.

Resultados teóricos muestran que la R.D.O. aumenta con un decremento de la humedad del suelo; pero también en varias mediciones realizadas por algunos investigadores (53, 54) se ha demostrado que esto se cumple hasta cierto punto, después del cual la R.D.O. decrece con disminución adicional del contenido de humedad. Sin embargo, el efecto del tamaño del electrodo sobre este comportamiento no fue investigado.

Finkel y Nir (28) han realizado uno de los estudios más completos con relación a cambios en aireación debidos a infiltración de agua en el perfil del suelo cuando comparaban la eficiencia de riego por aspersion con la de riego por gravedad (inundación por fajas de bordo) en un suelo franco arcilloso, profundo, bien drenado y sembrado de alfalfa (Medicago sativa).

El método utilizado para medir la aireación fue el de Taylor y Abrahams (90) modificado. Analizaron el aire por O₂ y por CO₂ a profundidades de 30, 60 y 90 cm antes y después de cada riego.

La irrigación en general resultó en un incremento en el contenido de CO₂ del aire del suelo. El método por gravedad causó un aumento más altamente significativo que el de aspersion hasta los 90 cm de profundidad, en cambio el efecto de la aspersion alcanzó sólo hasta los 30 cm.

Con relación a la disminución del contenido de O₂ del aire del suelo, en el caso del riego por gravedad fue altamente significativo

a todas las profundidades y para el de aspersion fue de alta significancia a los 60 cm, pero menos significativo a los 30 cm y los 90 cm. La mayor efectividad del método de gravedad sobre el de aspersion en disminucion del contenido de O_2 del aire del suelo fue más altamente significativo a los 30 cm de profundidad.

Los autores sugieren las siguientes hipótesis para explicar las diferencias en aireación del suelo bajo los dos métodos de irrigación: señalan como factor principalmente responsable por los cambios en contenido de CO_2 y de O_2 del aire del suelo al por ciento de espacio aéreo E_a , dado que en el caso de la aspersion el suelo nunca estuvo húmedo más allá de la capacidad de campo y no alcanzó el estado de saturación y el espacio aéreo fue del orden del 16%. En cambio en el caso de riego por gravedad, la porosidad no capilar estuvo saturada por un período considerable de tiempo después de la irrigación, variando los valores de espacio aéreo durante el período de difusión siguiente a la irrigación entre 0% y 16%. Para probar la solidez de esta hipótesis, es necesario indicar que los demás factores son relativamente iguales bajo ambos métodos de irrigación.

Por otra parte el principal factor a compararse, de acuerdo a la teoría sobre aireación del suelo de van Bavel (94) es la función de α , la cual es la rata de producción o de absorción del gas en el suelo como un resultado de actividad biológica, física o química. Este factor fue asumido por van Bavel como igual a una constante Λ y se expresa en mg/c.c./seg. Así, las parcelas asperjadas mostraron un aumento más definido en la rata de evolución de CO_2 de antes a después

del riego, pero el tamaño general de los valores de A es razonablemente constante. Sin embargo, se observó claramente que en comparación, los valores de producción de CO₂ después del riego en las parcelas regadas por gravedad son aproximadamente el doble de los de las parcelas asperjadas.

Se ha sugerido la posibilidad de que la pobre aireación de las parcelas regadas por gravedad sea debido a la ocurrencia de una costra superficial delgada; pero esta explicación es efectivamente rechazada por la teoría de van Bavel (94) sobre aireación. Así, demostró que "la influencia de la capa superficial con una impedancia específica de difusión es pequeña cuando su espesor no es también grande en proporción a la actividad del medio activo o sea que, la magnitud del déficit o exceso de aireación depende principalmente, de la profundidad total del suelo activo y de las propiedades de la parte más profunda de la capa. Por el contrario, las características de las capas superficiales poco profundas no son de consecuencia.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización

La investigación se realizó dentro del área ocupada por el Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica. El CTEI se encuentra ubicado a una altura sobre el nivel del mar variable entre los 580 m y 990 m (16). Según Holdridge (42) el área está ubicada en la zona de vida correspondiente al bosque subtropical muy húmedo. Por otra parte Budowski y Schreuder (13) y Hardy (40) señalan que el clima del área es cálido y excesivamente lluvioso y húmedo. Con base en los registros climáticos del IICA-CTEI (43) podemos señalar que la lluvia media anual para un período de 27 años (1944-1970), es del orden de 2.680 mm y la media mensual de 223 mm. La temperatura media mensual para un período de 13 años (1958-1970), es de 22,30 C; la media mensual máxima de 27,10 C y la media mensual mínima de 170 C. La humedad relativa media diaria es del orden de 88% con base en 13 años de registro (1958-1970). El promedio mensual de horas sol es de 137,6 y la media diaria de 4,52. El período seco está comprendido entre los meses de febrero, marzo y abril. El resto del año se considera como lluvioso y húmedo ya que la lluvia excede a la evapotranspiración (40).

3.2. Suelos

El experimento se llevó a cabo en dos suelos diferentes, se

escogió un suelo de la serie "Instituto" fase normal y otro de la serie "La Margot" fase normal.

3.2.1. Suelo "Instituto" fase normal

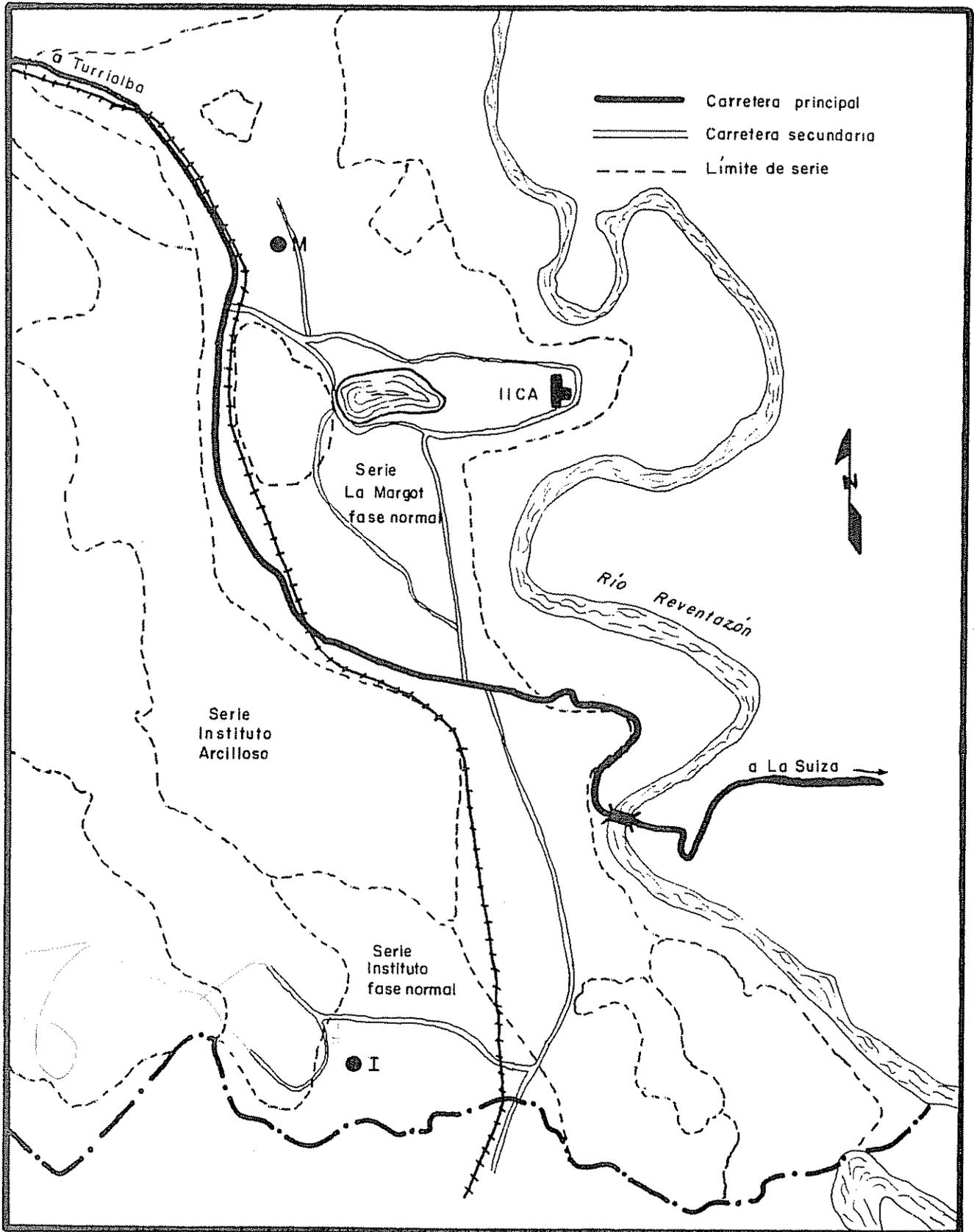
Aguirre (1) clasificó a los suelos de la serie "Instituto" fase normal según la Séptima Aproximación (93) como perteneciente al orden Inceptisol, sub-orden Tropepts, gran grupo Dystropepts, sub-grupo Typic Dystropepts, familia Fine, mixed, isohypertermic.

Se escogió un sitio a 605 m s.n.m. en una parte plana, con drenaje moderado y cuando la tabla de agua está presente se sitúa entre 1,00 y 1,35 m. La ubicación se muestra en la Figura 1 y la descripción del perfil se da en el Apéndice. El área ocupada por el experimento fue aproximadamente de 150 m².

3.2.2. Suelo "La Margot" fase normal

Los suelos de esta serie según Dóndoli y Torres (25) confirmado por Hardy (40) son de origen lacustre o fluvio lacustre que descansan directamente sobre aglomerados del plioceno inferior. Fueron clasificados por Aguirre (1) como pertenecientes al orden Inceptisol, sub-orden Tropepts, gran grupo Dystropepts, subgrupo Typic Dystropepts, familia Fine, mixed isohyperthermic (93).

Se escogió un sitio a unos 630 m s.n.m. en un área plana, presenta grava, piedras y fragmentos rocosos muy meteorizados a todo lo largo del perfil en cantidad variable; pero se incrementan con la profundidad. La ubicación se da en la Figura 1 y la descripción del perfil en el Apéndice. El área ocupada por el experimento fue de aproximadamente 150 m².



- M Ubicación del experimento en la serie "La Margot" fase normal
 - I Ubicación del experimento en la Serie "Instituto" fase normal
- Adaptado de Aguirre, V. (1)

Fig 1 Localización del estudio en el campo.

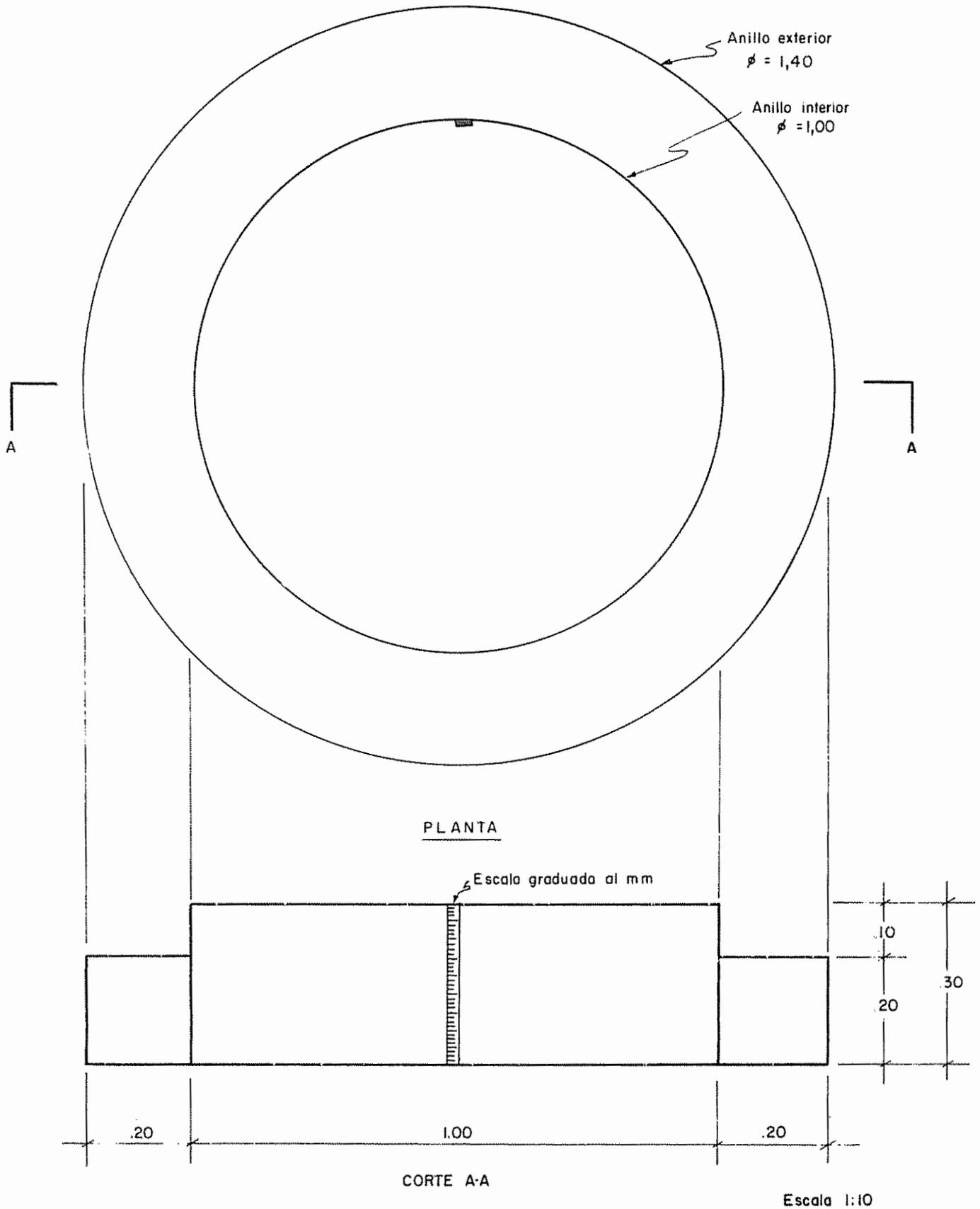
3.3. Equipo y materiales para trabajo de campo

Dado los requerimientos del ensayo, hubo la necesidad de construir algunos instrumentos y equipos, entre los que se cuentan: a) Infiltrómetros de anillo doble, cuyo diseño se aprecia en la Figura 2; b) muestreadores especiales de humedad para los primeros 9 cm de la capa superficial de suelo (considerada hasta 20 cm), según diseño de la Figura 3; c) muestreador de humedad tipo "King Tube" para profundidades desde 9 cm hasta 20 cm, según modelo mostrado en la Figura 4; d) dispositivo de alambre para incertar los microelectrodos según se muestra en la Figura 5.

Además, se emplearon infiltrómetros tipos estándar que constan de 2 cilindros de 30,5 cm y 40,5 cm de diámetro respectivamente para las pruebas de infiltración.

Para medir la rata de difusión de oxígeno se utilizó como elemento sensible los microelectrodos de platino del tipo TWE 14656 K600 V, (Dicks Machine Shop, Lansing, Michigan), a los cuales hubo necesidad de hacerles una modificación que consistió, en empalmarle 15 cm de cable de igual calibre para poder incertarlos en el suelo, hasta los 20 cm de profundidad. El aparato completo consta de 10 microelectrodos, un juego de líneas para los microelectrodos, la caja de controles, batería de 2 voltios de corriente directa y una celda de referencia con un conducto transparente unido a un envase de cerámica.

Para la aplicación de los tratamientos con cobertura de la superficie, se utilizó una lámina de polietileno de color negro con la cual se tapaba totalmente el área ocupada por los infiltrómetros.



Medidas dadas en MT
Material: Lámina acero de 1/8 pulg

Fig. 2 Infiltrómetro de anillo doble

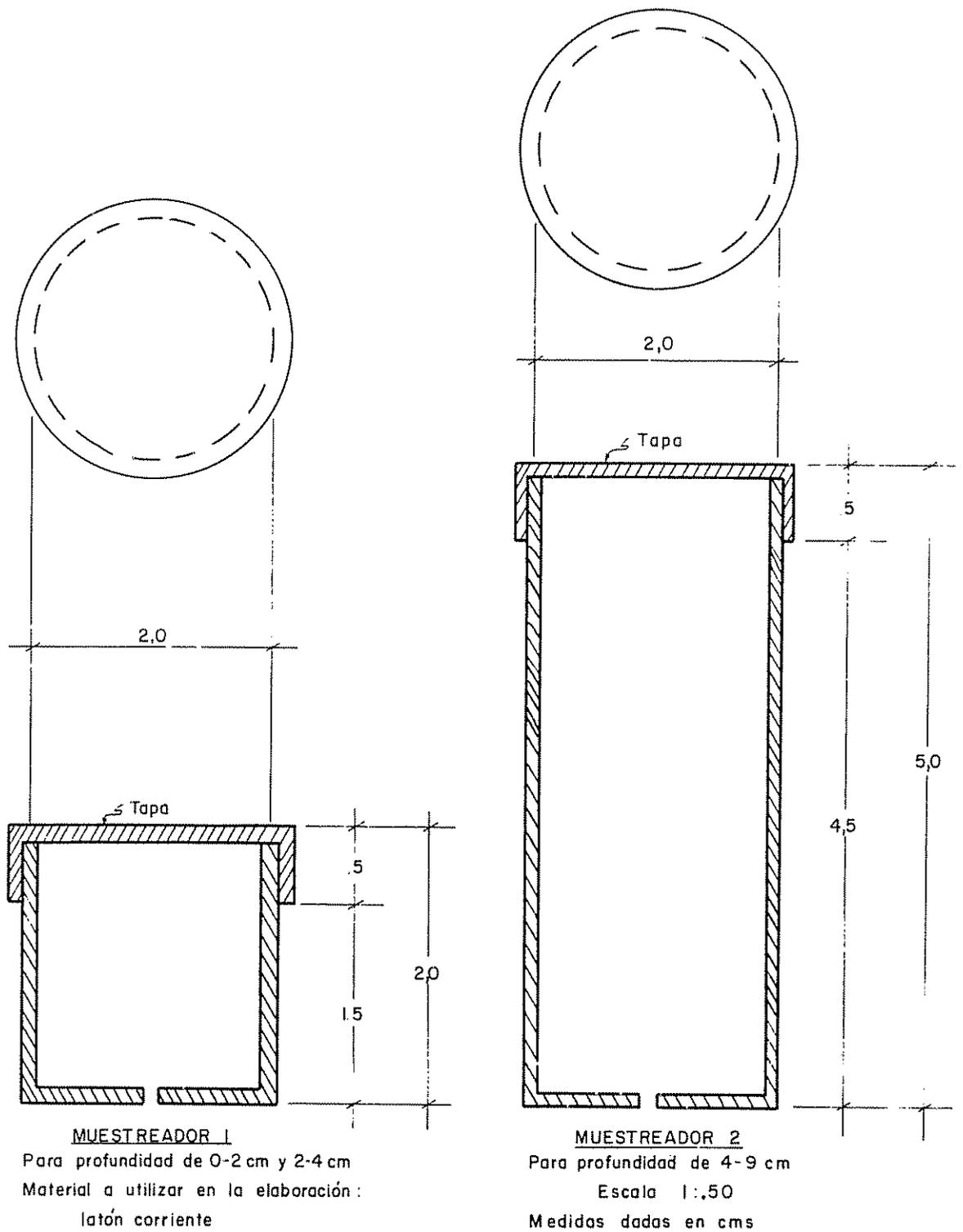
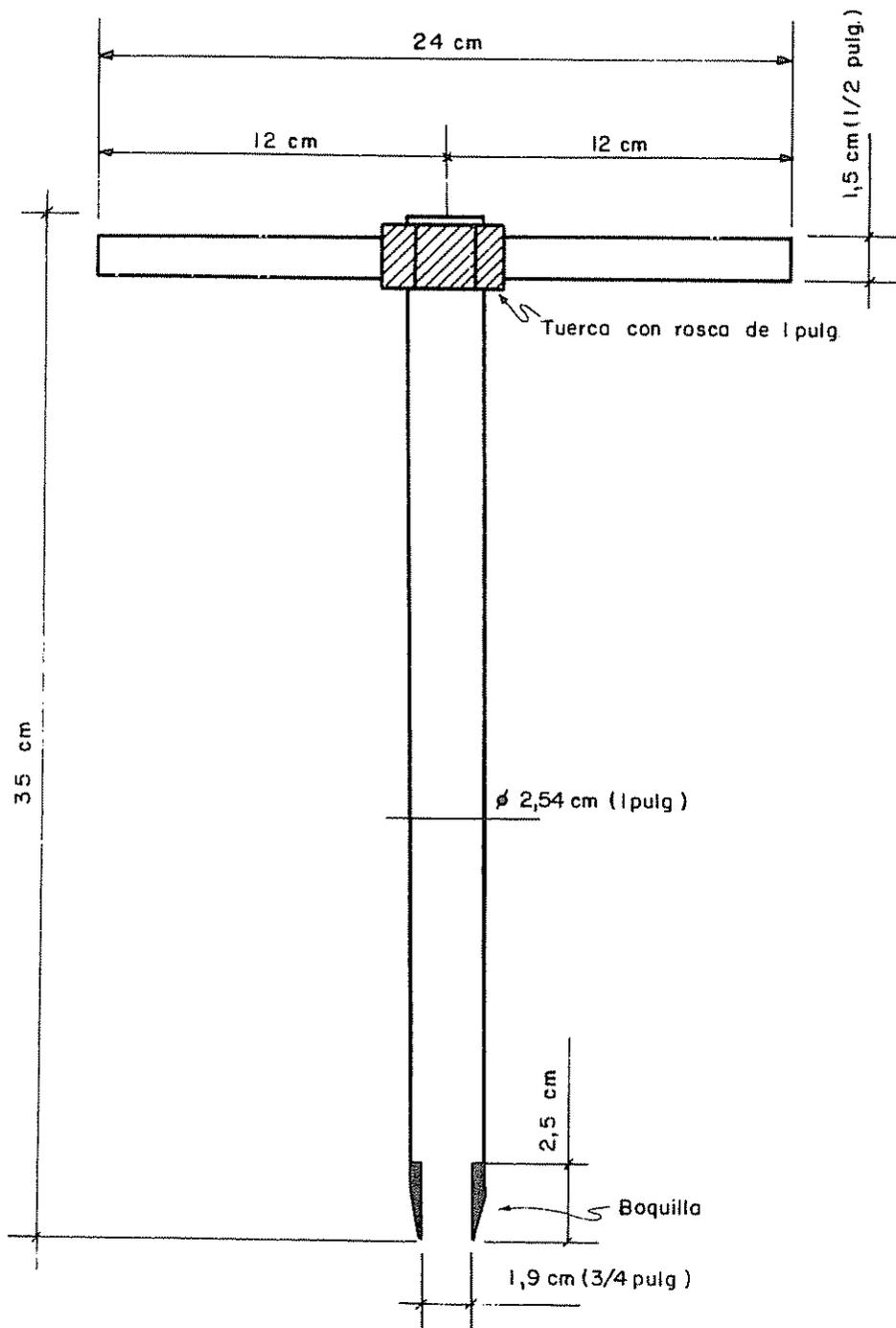


Fig.3 Muestreadores para los primeros 9 cms de la caja superficial



MATERIAL A UTILIZAR :

Tubería de hierro galvanizado de los diámetros indicados

Acero inoxidable para la boquilla

Tuerca de hierro galvanizado

Escala 1:2.5

Fig. 4 Muestreador tipo "King Tube"

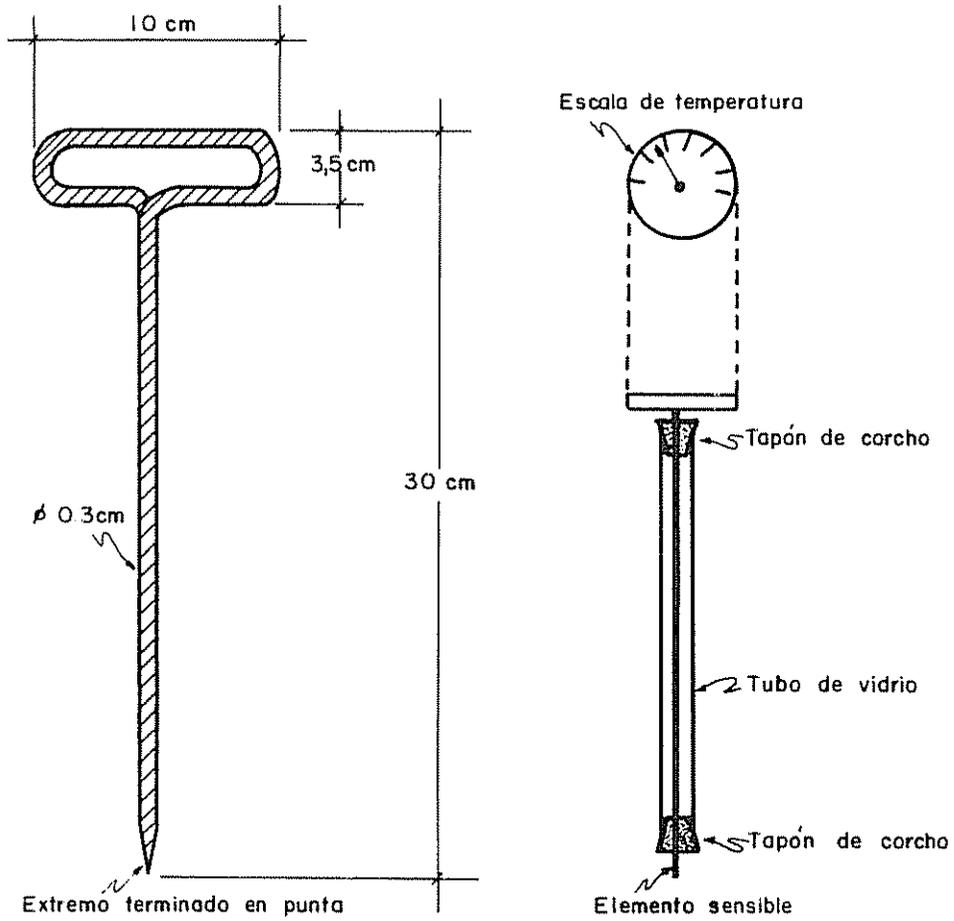


Fig. 5 Dispositivo de alambre para incertar los microelectrodos y geotermómetro

Además, se emplearon tensiómetros con medidor de vacío de reloj Tipo No. 2700B de "Soilmoisture Equipment" (84), termómetros para suelo marca Weston Testin, modelo 2261, a los cuales se les adaptó un tubo de vidrio tal como se muestra en la Figura 5, muestreador tipo Uhland (8) para tomar muestra de volumen conocido.

También hubo que construir techados de plástico transparente para fines de evitar que las lluvias interrumpieran los experimentos, tal como se muestra en la Figura 6.

Envases para transporte de agua y llenado de los infiltrómetros y latas y/o bolsas de polietileno para recolección de muestras en el campo y transportarlas al laboratorio.

3.4. Equipo y materiales de laboratorio

Se utilizó un picnómetro de aire Beckman, modelo 930 para las determinaciones de densidad de partículas.

Además se utilizaron hidrómetros tipo ASTM-152H para análisis mecánico (30), batidor eléctrico, termómetros, reloj cronómetro, horno eléctrico y material de cristalería en general.

3.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, con tres tratamientos repartidos aleatoriamente en los cinco bloques de cada suelo. El experimento consistió en 3 niveles diferentes de lámina de agua aplicada al suelo sin cobertura y con cobertura de la superficie, a saber: 1,0, 5,0 y 10,0 cm, pero en el caso del suelo "La Margot"

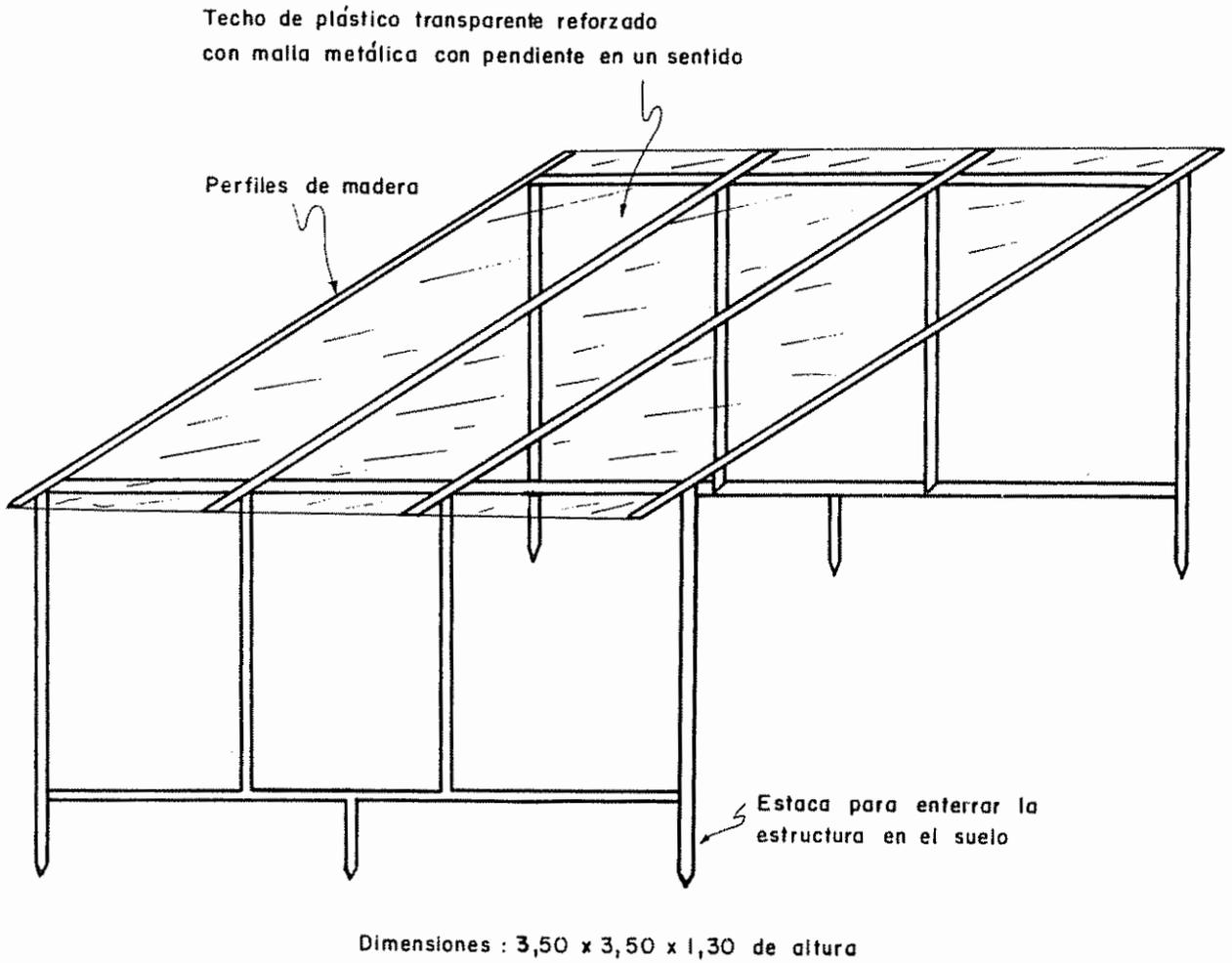


Fig. 6 Techado de plástico con estructura de madera para protección del experimento

sólo se aplicaron dos tratamientos dada la rata de infiltración muy baja que presentó este suelo, lo cual impidió la aplicación de la lámina de agua de 10 cm. Pero, en su lugar se estudió el efecto de una lluvia de 10 mm o sea equivalente al tratamiento de 1 cm de lámina de agua.

Para la escogencia de los tratamientos, privó el criterio de las grandes láminas de agua depositada en corto tiempo por las lluvias en la zona de Turrialba, según revisión practicada en los archivos de la sección de Climatología del IICA-CTEI (44).

3.6. Observaciones de campo

Los experimentos se comenzaban en horas de la mañana y se terminaban a la mañana siguiente después de transcurridas 21 horas y 36 minutos.

3.6.1. Pruebas de infiltración

Se efectuaron en cada suelo cinco pruebas de infiltración mediante los anillos dobles, correspondiente cada una a un bloque del ensayo. Se utilizó la técnica descrita por Bertrand (5). Se llenó primero con agua la parte entre los anillos y luego la parte central, procediéndose luego a efectuar lecturas de altura de agua en el cilindro central a intervalos de tiempo de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos.

3.6.2. Recolección de muestras para análisis físicos

Las muestras fueron tomadas de cada capa de suelo, según Cline

(15) sin contaminar las muestras de una capa con la subsiguiente y además se tomaron en cuenta las recomendaciones de Hardy (41).

3.6.2.1. Toma de muestras para análisis de tamaño de partículas y densidad de partículas.

Se tomaron muestras de suelo por triplicado a 3 profundidades, a saber: de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm y de 10 a 15 cm en los sitios correspondientes a la aplicación de cada tratamiento dentro de cada bloque en el área inmediatamente adyacente al cilindro. El transporte al laboratorio se hizo en bolsas de polietileno.

3.6.2.2. Toma de muestras para densidad aparente.

Se tomaron muestras de suelo por triplicado de los primeros 10 cm y de la capa de 10 a 20 cm de profundidad con un cilindro de volumen conocido (8) de unos 7 cm de diámetro por 7,5 cm de altura para obtener muestras no alteradas inmediatamente después de terminado cada ensayo*, las cuales se transportaban al laboratorio en envases herméticamente cerrados.

3.6.2.3. Toma de muestras para determinaciones de humedad gravimétrica.

En primer lugar se tomaban muestras por duplicado para determinación de la humedad procedente del suelo para cada ensayo en el área inmediatamente adyacente al cilindro y, además se tomaban muestras

* Entendiéndose por ensayo la aplicación de cada tratamiento.

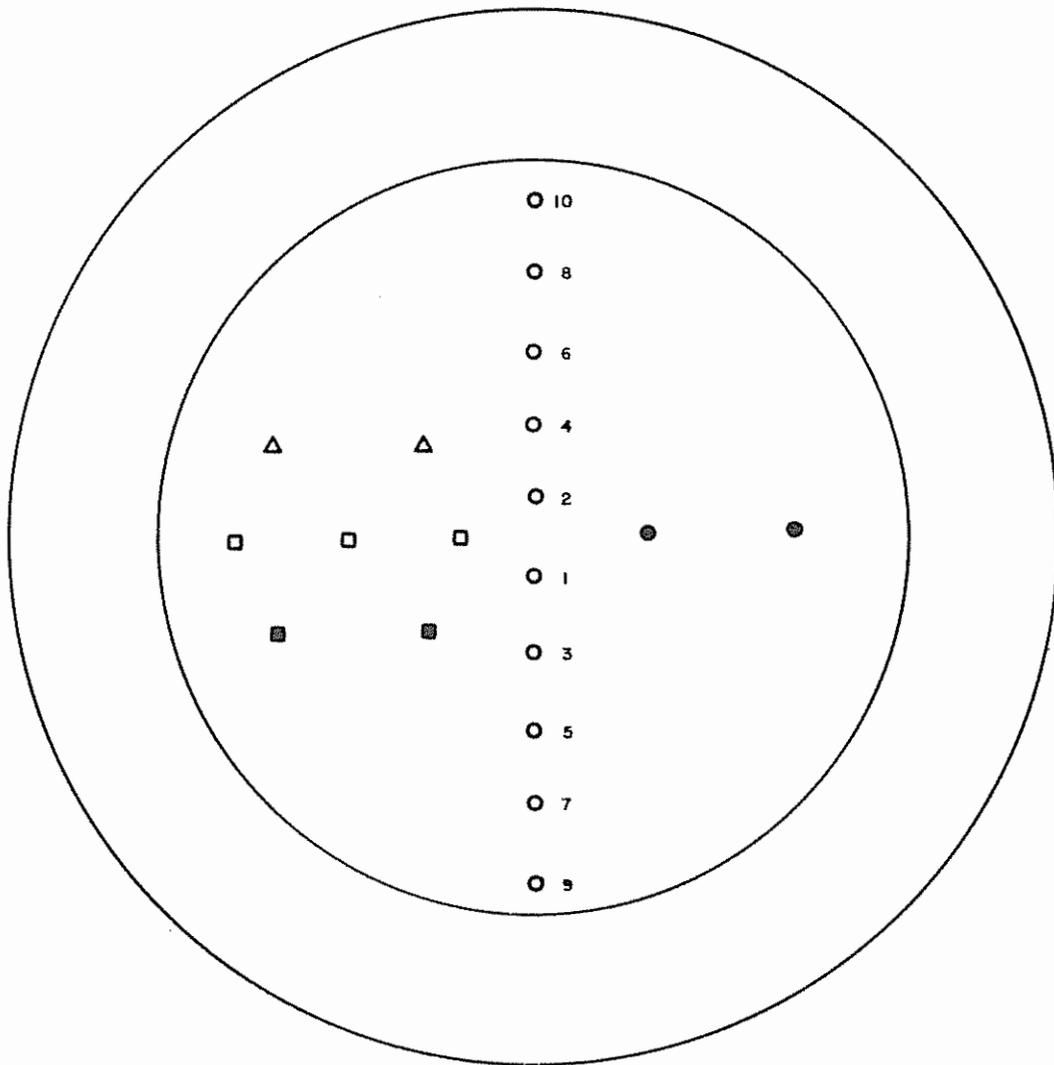
por pareja para determinación de humedad resultante por efectos de tratamiento. El muestreo se hizo a profundidades de 0 - 2 cm, de 2 - 4 cm, de 4 a 9 cm y de 9 - 20 cm y, a diferentes tiempos después del cese de la infiltración, como sigue: 1, 6, 36, 216 y 1.296 minutos. Las muestras se tomaron en los sitios indicados en la Figura 7. Los huecos dejados por el muestreo se tapaban inmediatamente con suelo a igual contenido de humedad, tomado de la parte exterior del anillo central para evitar cambios en el estado de aireación del suelo en la parte correspondiente a los sitios de observación. El transporte al laboratorio se efectuaba inmediatamente después de colectadas las muestras.

3.6.3. Medida de la rata de difusión de oxígeno (R.D.O.)

Dado que el interés principal era estudiar los primeros 20 cm del suelo, los microelectrodos se introducían hasta inmediatamente por debajo de esta profundidad; para ello y a fin de no dañarlos, se hacía antes un agujero con un dispositivo de alambre de igual diámetro ya mostrado en la Figura 5.

Además, para el manejo del aparato y de los microelectrodos propiamente se siguieron las instrucciones de Letey y Stolzy (58) y también se tomaron en consideración las recomendaciones de Rickman et al (75) con relación al prolongado uso o no uso de los microelectrodos.

Las medidas se efectuaban a los mismos tiempos correspondientes a la toma de muestras para determinaciones de humedad o sea, a 1, 6, 36, 216 y 1296 minutos. Luego en el laboratorio se procedió al



LEYENDA

- Electrodo de platino
- △ Termómetro de suelo para superficie
- Termómetro de suelo para profundidad 7.5 cm
- Tensiómetro
- Huecos para muestreo de humedad a 5 tiempos diferentes

ESPACIAMIENTOS EN cm

- Entre electrodos = 15
- Entre tensiómetros = 20
- Entre termómetros = 20
- Entre huecos = 10

Fig. 7 Infiltrómetro visto en planta con indicación de los sitios de observación de R.D.O., temperatura, tensión y de muestreo para humedad.

cálculo de la R.D.O. con base en las lecturas de intensidad de corriente así obtenidas.

3.6.4. Medida de la succión de agua del suelo

Los tensiómetros se instalaron según instrucciones descritas por Marsh (60) y se colocaron a 7,5 cm de profundidad en los sitios indicados en la Figura 7.

Las lecturas de tensión en centibares se efectuaban por duplicado y paralelamente a las de R.D.O.

3.6.5. Medida de la temperatura del suelo

Se efectuaron mediciones de temperatura por duplicado, en superficie y a 7,5 cm de profundidad a iguales tiempos que para las medidas de la R.D.O. y de la tensión. La ubicación de los termómetros fue la indicada en la Figura 7.

3.7. Trabajo de laboratorio

Paralelamente a las observaciones de campo se iba efectuando el trabajo de laboratorio a objeto de hacer las determinaciones de las propiedades físicas de los suelos de influencia en el estudio.

3.7.1. Preparación de las muestras

A las muestras para fines de determinación de análisis de partículas y de distribución del tamaño de partículas se les preparó según recomienda Cline (15). Así se les secó al aire y bajo sombra, luego de triturarlas suavemente se pasaron por tamiz no. 10 de malla de 2 mm y se les homogeneizó.

3.7.2. Análisis físicos

3.7.2.1. Humedad de las muestras secadas al aire.

El porcentaje de humedad gravimétrico se determinó para todas las muestras por duplicado, a partir de 40 g de suelo secado al aire y sometidas a secamiento en horno durante 24 horas a 105^o C (34).

3.7.2.2. Humedad de las muestras provenientes de las observaciones de campo.

Las muestras de humedad tomadas a los diferentes tiempos después de infiltrada la lámina de agua, se les determinó la humedad gravimétrica mediante el mismo proceso que para las muestras secadas al aire.

3.7.2.3. Densidad aparente.

Las determinaciones de humedad correspondientes a las muestras de densidad aparente se efectuaron mediante el mismo proceso que para las muestras secadas al aire, a diferencia de que la masa de suelo correspondía al volumen del cilindro.

3.7.2.4. Densidad de partículas.

Se realizaron las determinaciones mediante la técnica del picnómetro de aire propuesta por Forsythe* con base en el método de Russell (82) y las contribuciones de Kummer y Cooper (50) y de Jamison (46) que tiene precisión hasta 2 cifras significativas.

* Comunicación personal.

3.7.2.5. Porosidad total y espacio aéreo.

Con base en los valores de densidad aparente y de densidad de partículas, se determinó la porosidad total y el espacio aéreo según describe Forsythe (32).

3.7.2.6. Análisis de tamaño de partículas.

Para tal fin se siguió el método originalmente propuesto por Bouyoucos (10), luego modificado por Day (22) y recientemente complementado por Forsythe (30). Fue utilizado el Sistema Internacional (4) para clasificar los porcentajes calculados para cada una de las fracciones de suelo y las clases texturales se definieron mediante el triángulo de textura (69).

3.7.2.7. Determinaciones de la rata de difusión de oxígeno.

Con base en las lecturas de intensidad de corriente se procedió al cálculo de la R.D.O. Es conveniente indicar que la relación entre la intensidad de corriente y la rata de flujo de oxígeno en la superficie del electrodo viene dada por la expresión (58):

$$i (10^{-6}) = n F A f \quad [35]$$

donde:

i = intensidad de corriente eléctrica en microamperios

n = número de electrones requeridos por la reducción de una molécula de oxígeno, y es de 4

F = constante de Faraday

A = área de exposición del electrodo de platino en cm^2

f = flujo o rata de difusión de oxígeno en la superficie del electrodo en número de moles de oxígeno/seg/ cm^2 .

La R.D.O. generalmente reportada es idéntica al flujo f en la ecuación [35].

Para el cálculo de la R.D.O. se aplicó la fórmula reportada por Letey y Stolzy (58):

$$\text{R.D.O.} = \frac{i \times 10^{-6} \times 60 \times 32 \times 10^8}{4 \times 96.500 \times A} \quad [36]$$

donde:

$$\text{R.D.O.} = \text{rata de difusión de oxígeno en g de oxígeno} \times 10^{-8} / \text{cm}^2 / \text{min}$$

i = intensidad de corriente eléctrica en microamperios

A = área del electrodo de platino en cm^2

La fórmula anterior se reduce a la expresión siguiente:

$$\text{R.D.O.} = \frac{i}{A} \quad 0,4974 \quad [37]$$

Previamente al cálculo se efectuó la determinación del área de los microelectrodos A , efectuando mediciones con tornillo micrométrico.

3.8. Manejo del experimento en el campo

Durante la fase de trabajo de campo se operaba de la manera siguiente:

Una vez instalados todos los aparatos e instrumentos tal como se muestra en la Figura 8, se aplicaba el tratamiento o sea el volumen correspondiente a la lámina de agua, protegiendo al suelo con una cubierta plástica, luego se conectaban los electrodos mediante un interruptor y se graduaba el voltaje mediante selector (unos 5 minutos

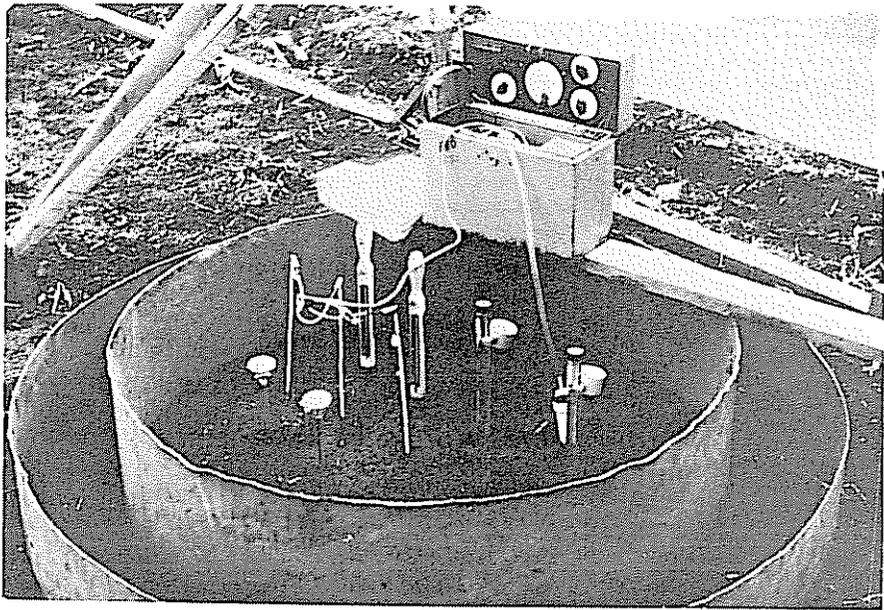


Fig.8 Conjunto de un ensayo montado en el campo

antes de la hora de la lectura). A 1 minuto después de cesar la infiltración*, se procedía en primer lugar a tomar las lecturas de intensidad de corriente del aparato para medida de la R.D.O., inmediatamente se tomaban las lecturas de tensión de humedad y de temperatura, procediéndose luego a efectuar el muestreo de humedad con los muestreadores especiales señalados en la Figura 3; los cuales se introducían a presión con el dedo pulgar hasta la profundidad correspondiente (igual a su altura) y se extraían por medio de un gancho de alambre que se introducía en el orificio del fondo del muestreador, tal como se muestra en la Figura 9. Todas estas operaciones tardaban unos 4 minutos en realizarse.

Esta misma secuencia se repetía a los 6, 36, 216 y 1296 minutos, con la variante para el caso de los tratamientos no expuestos a la evaporación, de que una vez hechas las observaciones se tapaba todo el área ocupada por los infiltrómetros con una cubierta negra de polivinilo hasta la hora de la proxima observación.

3.9. Análisis estadístico

3.9.1. Modelo matemático del diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j \Sigma_{ij} \quad [38]$$

* El tiempo de infiltración para cada lámina de agua se determinó previamente con base en las pruebas de infiltración para cada suelo.

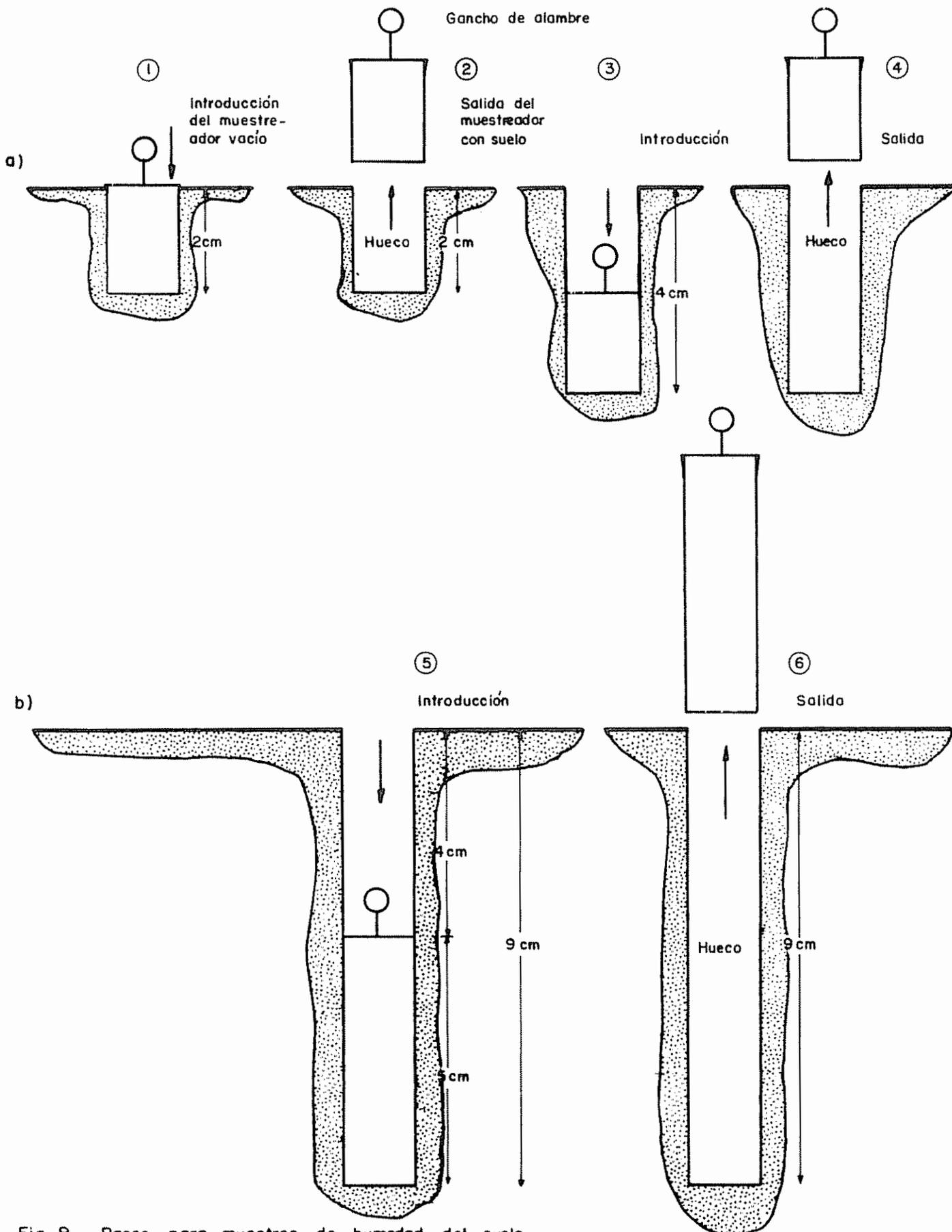


Fig. 9 Pasos para muestreo de humedad del suelo
 a) De 0 cm a 2 cm y de 2 cm a 4 cm de profundidad
 b) De 4 cm a 9 cm de profundidad

donde:

- Y_{ij} = variable de respuesta para tratamiento i y el bloque j
- μ = media general
- τ_i = efecto del tratamiento i
- β_j = efecto del bloque j
- Σ_{ij} = componente aleatorio llamado error experimental.

3.9.2. Análisis comparativo de factores

Se efectuaron análisis de variancia para separar los efectos debidos a tratamientos, a la cobertura de la superficie, al tiempo y a la profundidad sobre las variables: humedad volumétrica, espacio aéreo, rata de difusión de oxígeno, tensión y temperatura.

3.9.3. Análisis de tendencia

Para fines de determinar las tendencias de las diferentes variables estudiadas, se usaron diferentes modelos de regresión: lineal, logarítmico, geométrico y cuadrático.

Se ajustaron los resultados de rata de infiltración, de infiltración acumulada y de contenido de humedad mediante un modelo de regresión logarítmica [9]

$$Y = \beta_0 X_i^{\beta_1}$$

donde:

- Y = rata de infiltración en mm/min o infiltración acumulada en mm o contenido de humedad
- X_i = tiempo en minutos
- β_0 = constante al origen
- β_1 = coeficiente de elasticidad

Se analizaron los resultados de densidad aparente y de humedad gravimétrica mediante un modelo de regresión lineal:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad [39]$$

donde:

Y = densidad aparente en gramos/cc

X_1 = humedad

β_0 = constante de la regresión

β_1 = rata de cambio en Y por efecto de humedad

Los resultados de espacio aéreo (ponderado en función de la profundidad) y de la rata de difusión de oxígeno, se ajustaron por un modelo de regresión cuadrática:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 \quad [40]$$

donde:

Y = rata de difusión de oxígeno en g de O_2 x 10^{-8} /cm²/min

X_1 = espacio aéreo ponderado en porcentaje por volumen

β_0 = constante de la regresión de X_1

β_1 = rata de cambio en Y por efecto de X_1

β_{11} = rata de cambio en Y por efecto de X_1^2

3.9.4. Análisis de relación

Para la interpretación de los resultados de humedad volumétrica y de espacio aéreo se usó un modelo de regresión múltiple:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 \\ + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 \\ + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 \quad [411]$$

donde:

Y = humedad volumétrica o espacio aéreo en %

X_1 = lámina de agua en cm

X_2 = tiempo en minutos

X_3 = profundidad

X_4 = humedad volumétrica o espacio aéreo precedente en %

β_0 = constante al origen

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = tasas de cambio de Y con respecto a cambios en X

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{44}$ = tasas de cambio de Y con el cuadrado de la variable correspondiente

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{23}, \beta_{24}, \beta_{34}$ = tasas de cambio de Y con respecto a la interacción entre variables correspondientes.

4. RESULTADOS

4.1. Características físicas de los suelos

En el Apéndice se da la descripción de los perfiles de los dos suelos estudiados, el suelo "Instituto" fase normal y el suelo "Margot" fase normal.

Además, en el Cuadro 1 se presentan los valores de densidad de partículas, en el Cuadro 2 los valores de densidad aparente y en el Cuadro 3 se presenta un resumen de las características físicas del suelo "Instituto" arcilloso fase normal. Se observa que presenta una textura Franco de 0 a 28 cm y luego pasa a Franco Arcilloso hasta los 130 cm, la densidad aparente varía de 1,00 a 1,27 g/cm³ de 0 a 28 cm y la densidad de partículas de 2,58 a 2,60 g/cm³, aumentando su profundidad.

Para el suelo "Margot", se presentan en los Cuadros 4 y 5 los valores de densidad de partículas y de densidad aparente respectivamente y en el Cuadro 6 se da un resumen de las características físicas. Este suelo presenta una textura Franco Arcilloso de 0 a 20 cm, luego cambia a Arcilloso hasta los 98 cm y de 98 a 115 cm es Franco Arcilloso, la densidad aparente varía de 1,06 a 1,08 de 0 a 20 cm y la densidad de partículas va de 2,51 a 2,61, haciéndose mayores en profundidad.

4.2. Infiltración

De las pruebas de infiltración realizadas en el suelo "Instituto"

se obtuvieron los resultados indicados en las Figuras 10, 11 y el Cuadro 7. En la Figura 11 se observa que a los 120 minutos no se ha estabilizado la rata de infiltración, la cual tiene un valor de 0,25 cm/minuto, determinada mediante un modelo de regresión logarítmica con un alto índice de asociación de R^2 de 81%. La infiltración acumulada que se observa en la Figura 10 indica que a los 120 minutos ésta alcanza a los 4,1 cm, con un índice de asociación muy alto de 98%.

Con base en los resultados anteriores se determinó los tiempos que tardan en infiltrarse las láminas de agua de 1 cm, 5 cm y 10 cm, los cuales fueron de 0,75, 5 y 11 minutos, respectivamente.

Para el caso del suelo "Margot" franco arcilloso, se observa en la Figura 13 y el Cuadro 8 que la rata de infiltración a los 120 minutos prácticamente se ha estabilizado en 0,025 cm/minuto la cual se ajustó por regresión logarítmica con un mediano índice de asociación de R^2 de 67%. En la Figura 12 se observa que la infiltración acumulada fue de 4 cm a los 120 minutos.

Los resultados presentados indican que los tiempos para infiltración de las láminas de agua de 1 cm y de 5 cm son de 10 y 200 minutos, respectivamente. Para el caso de una lámina de agua de 10 cm, ésta tardaría alrededor de 7 horas para infiltrarse, por lo cual se descartó la aplicación de este tratamiento para este suelo.

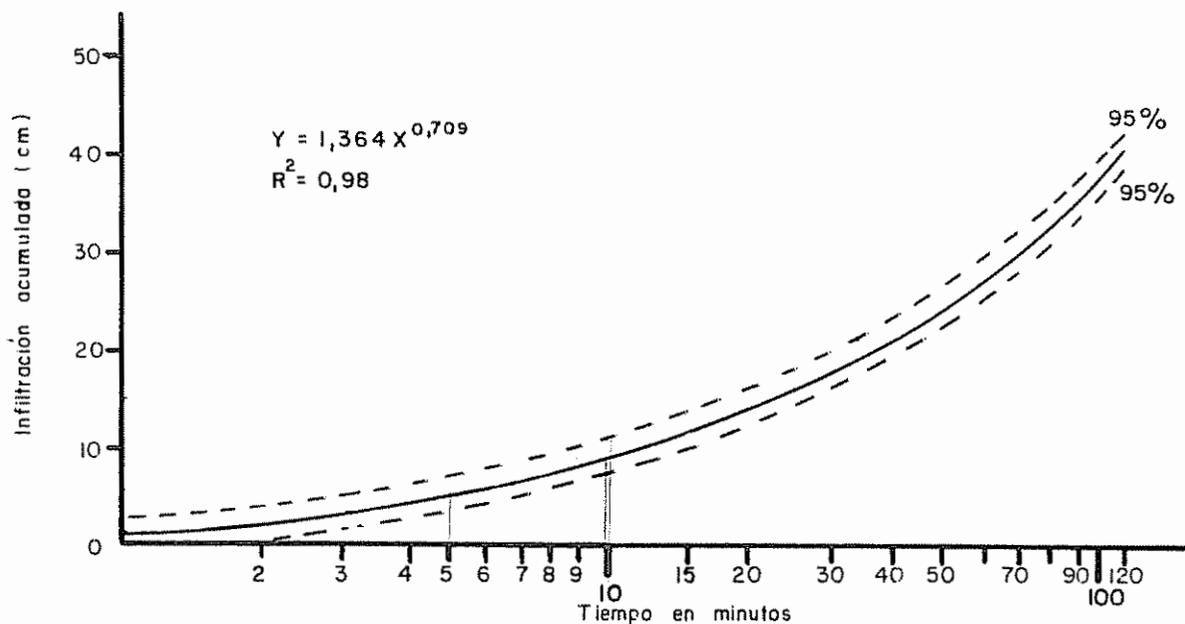


Fig.10 Infiltración acumulada del suelo "Instituto"

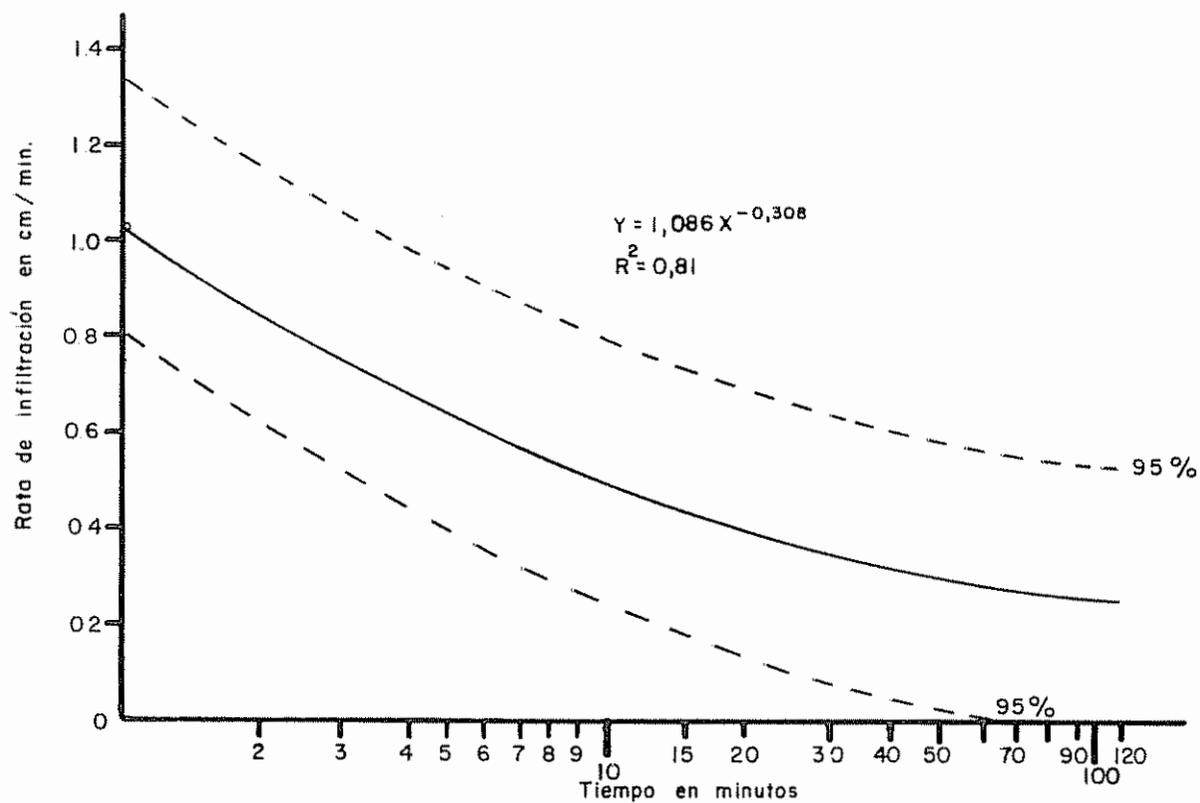


Fig.11 Rata de infiltración del suelo "Instituto"

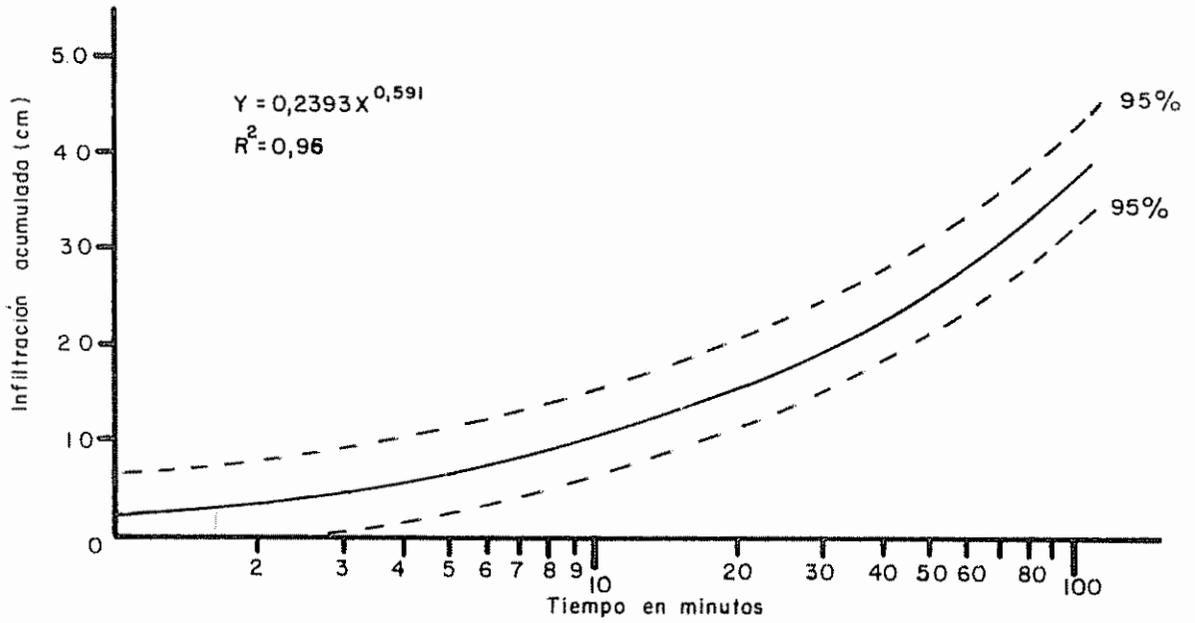


Fig.12 Infiltración acumulada del suelo "Margot"

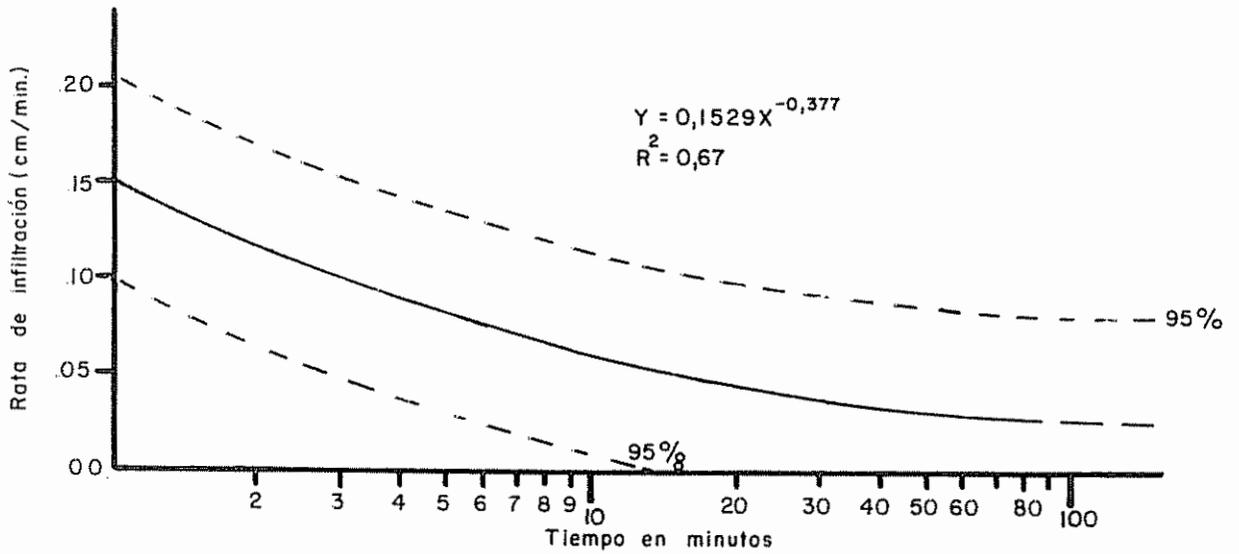


Fig.13 Rata de infiltración del suelo "Margot"

4.3. Redistribución de humedad

4.3.1. Redistribución de humedad para el suelo "Instituto"

En el Cuadro 12 se presentan los resultados del análisis de variancia de los valores de humedad volumétrica (Cuadros 9, 10 y 11) con base en los cuales se puede indicar que:

Los valores de humedad volumétrica resultaron mayores de ($P < 0,05$) a medida que aumentó el contenido de humedad inicial del suelo. De igual manera aumenta la humedad volumétrica ($P < 0,01$) debido al crecimiento simultáneo de la lámina de agua y del tiempo después de aplicada; también con el incremento en magnitud de lámina de agua ($P < 0,01$) y finalmente aumenta por el efecto conjunto del crecimiento de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad. Sin embargo, los valores de humedad volumétrica decrecen ($P < 0,01$) con el tiempo después de aplicada la lámina de agua y también a medida que aumenta la profundidad.

La cobertura de la superficie no afecta ($P < 0,05$) a los valores de humedad volumétrica.

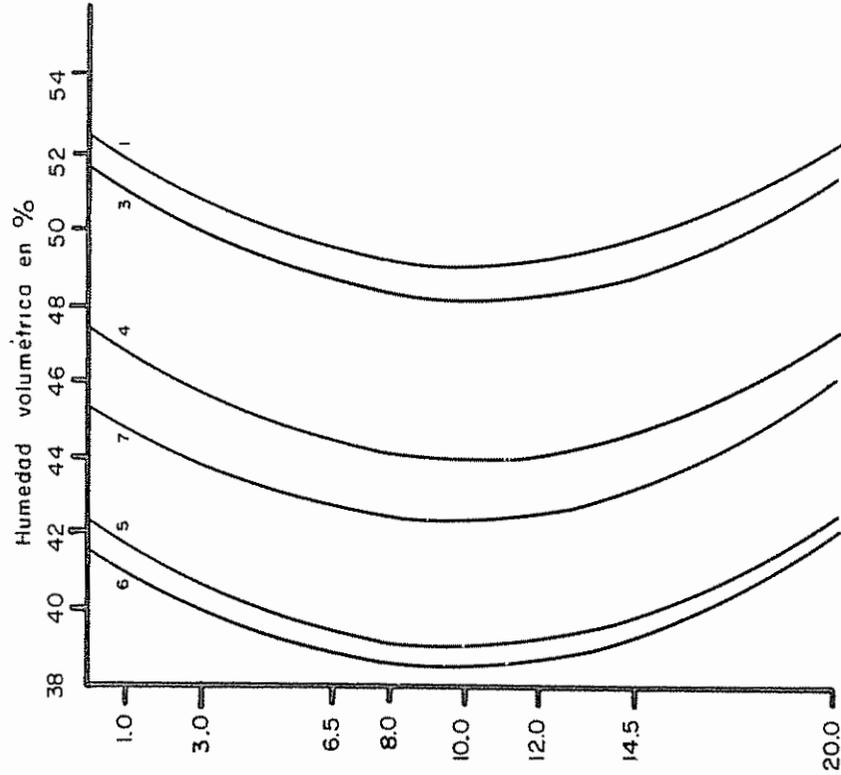
Con base en los resultados del análisis de variancia se procedió a ajustar los valores de humedad volumétrica (correspondientes al caso en que estuvo cubierta) en función del tiempo con el objetivo principal de ver si los resultados se ajustaban a la función logarítmica reportada en la literatura. Se seleccionaron las profundidades de 1 y 3 cm para las 3 láminas de agua considerada. Las ecuaciones obtenidas se presentan en el Cuadro 12, donde se observa que se ajustaron

al modelo de regresión logarítmica [9] tres de los casos considerados y los tres restantes se ajustaron al modelo de regresión cuadrático [40], todos con índices de confiabilidad altos a excepción de la humedad resultante a 3 cm de profundidad al aplicar una lámina de 1 cm de agua que presentó un R^2 de 45%.

Además se logró el ajuste de la humedad volumétrica en función de la lámina de agua, tiempo y profundidad mediante un modelo de regresión cuadrática múltiple [A-1-a] con un alto índice de asociación R^2 de 85% (véase Cuadro 13).

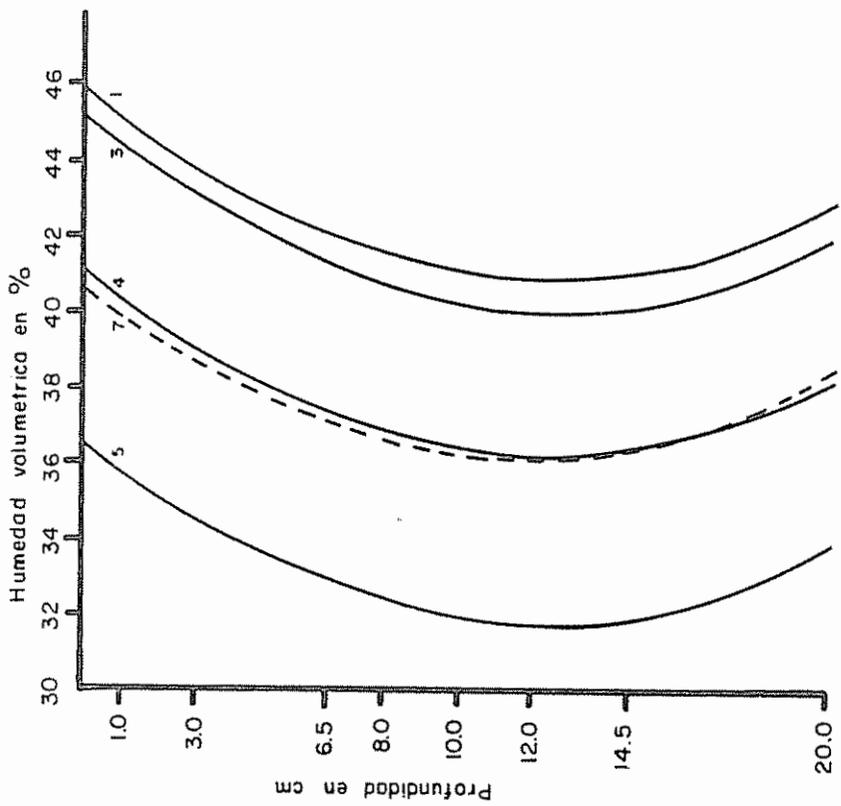
En las Figuras 14 y 15 se muestran los resultados del efecto de las variables lámina de agua, tiempo y profundidad sobre la humedad volumétrica, donde se observa de acuerdo con los coeficientes de la ecuación [A-4-a] que comienza un máximo de contenido de humedad a 1 cm de profundidad, 1 minuto después del cese de la infiltración de agua en el suelo en los 20 cm de capa superficial estudiada para todos los tratamientos, y alcanza valores más altos cuando se aplican a mayores láminas de agua. Por otra parte se observa que se reduce la humedad volumétrica con un incremento en el tiempo con pequeñas variaciones al final para las láminas de 1 cm y de 5 cm. Además la humedad volumétrica disminuye cuando aumenta la profundidad hasta cierto punto a partir de donde se incrementa de nuevo, así para 1 cm de lámina el mínimo se produce a los 12 cm de profundidad, para una lámina de 5 cm se da a los 10 cm y para 10 cm de lámina ocurre a los 7 cm de profundidad.

Por otra parte dados los resultados del análisis de variancia



14 a. para una lámina de 1 cm

Curva N°	1	2	3	4	5	6	7
Minutos	1	6	36	216	576	936	1296



14 b. para una lámina de 5 cm

Fig. 14 Variación de la humedad volumétrica (sin cobertura) en función de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad para el suelo Instituto. Estimado según la ecuación (A-4-a) $R^2 \approx 0,85$

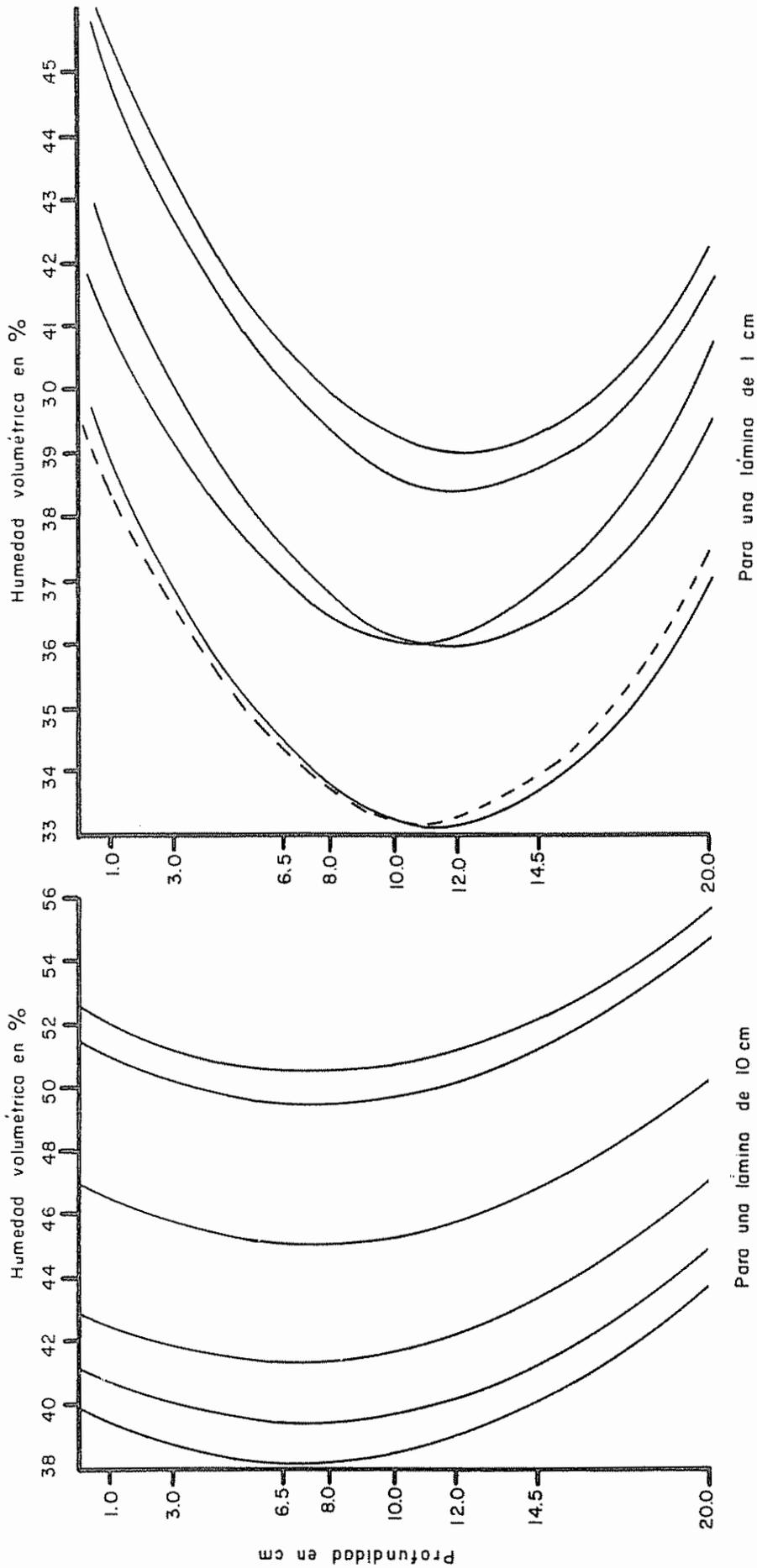


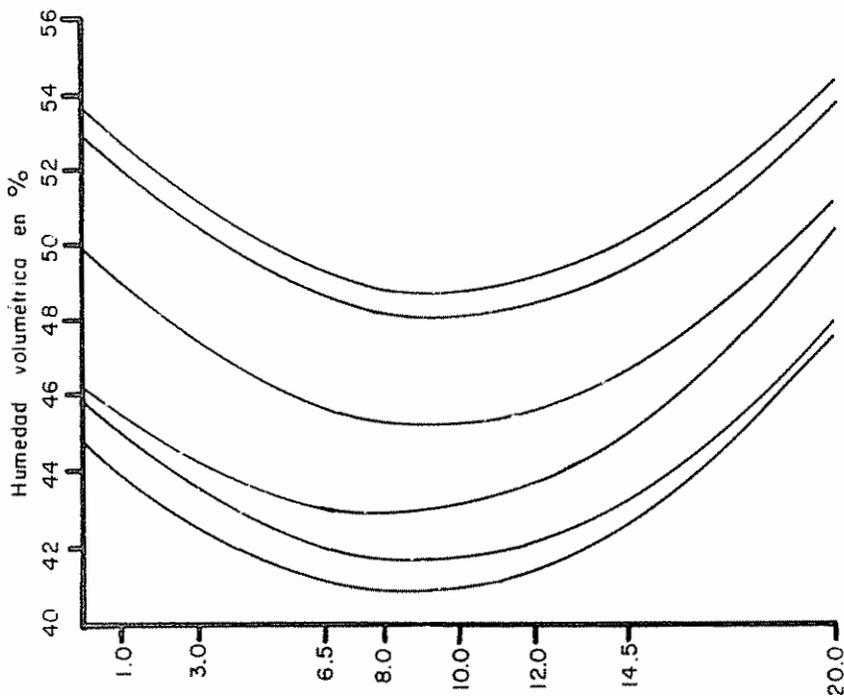
Fig. 15 Variación de la humedad volumétrica sin cobertura, en función de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad para el suelo "Instituto". Estimado según la ecuación (A-4-a) $R^2 = 0,85$

Fig. 16 Variación de la humedad volumétrica con cobertura en función de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad para el suelo "Instituto". Estimado según la ecuación (A-4-b) $R^2 = 0,85$

Curva N.º	1	2	3	4	5	6	7
Minutos	6	6	36	216	576	936	1296

presentados en el Cuadro 12, se consideró necesario incluir la humedad precedente (Cuadro 14) como una cuarta variable influyendo en la humedad volumétrica del suelo resultante de aplicar una lámina de agua. Así para el caso con cobertura, se logró el ajuste mediante una regresión cuadrática múltiple [A-5-a] con una alta confiabilidad de R^2 de 86% (véase el Cuadro 15). Podrá observarse que no se ganó confiabilidad al introducir esta nueva variable, luego no se hace imprescindible su consideración. De cualquier manera se presentan en el Cuadro 15 los valores de humedad volumétrica generados mediante la ecuación [A-5-a], donde se observa lo mismo descrito anteriormente en lo referente a la redistribución de agua en el suelo.

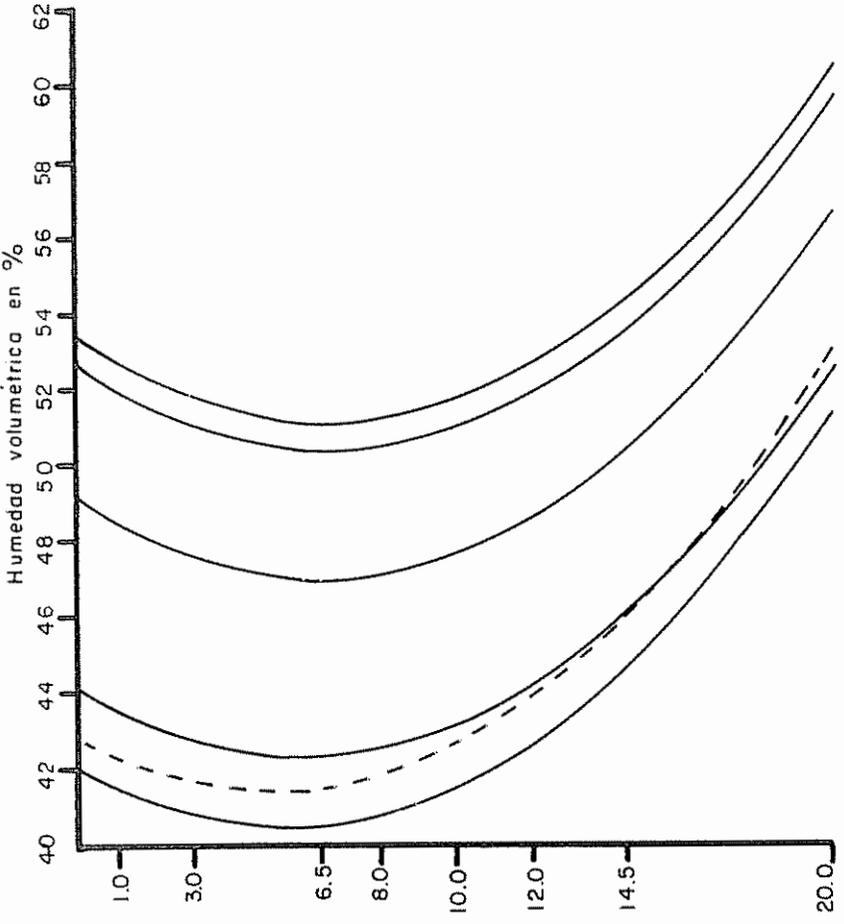
Los resultados de humedad volumétrica para el suelo "Instituto" con cobertura de la superficie ya presentados en los Cuadros 9, 10 y 11 y en las Figuras 16 y 17, donde se representa una regresión cuadrática múltiple [A-4-b] con un alto índice de asociación de R^2 de 85% según se indica en el Cuadro 15. Se observa que el proceso de redistribución de la humedad es similar al caso en que sin cobertura de la superficie del suelo, lo cual resulta obvio por ser similares los modelos de ajuste. Al introducir la humedad volumétrica precedente como variable, se logró el ajuste mediante el modelo de regresión cuadrática [A-5-b] con un índice de asociación prácticamente igual de R^2 de 86% (véase el Cuadro 15), habiéndose generado los valores presentados en el Cuadro 17, observándose la misma distribución que para el caso de no considerarse esta variable.



17 a Para una lámina de 5 cm

Curva N° 1 2 3 4 5 6 7

Minutos 1 6 36 216 576 936 1296



17 b Para una lámina de 10 cm

Fig. 17 Variación de humedad (con cobertura) en función de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad para el suelo "Instituto". Estimados mediante la ecuación (A-4-b) $R^2=0,85$

4.3.2. Redistribución de humedad para el suelo "Margot"

Los resultados de humedad volumétrica para el suelo "Margot" se presentan en los Cuadros 18 y 19 y el correspondiente análisis de variancia en el Cuadro 20, donde se observa lo siguiente:

A juzgar por los valores de humedad volumétrica se puede afirmar que la magnitud de la lámina de agua no afecta ($P > 0,05$) de manera alguna a esta variable. Sin embargo se puede señalar que la humedad volumétrica decrece ($P < 0,01$) a medida que avanza el tiempo después de aplicada la lámina de agua. En forma igual disminuye ($P < 0,01$) con la profundidad. Por otra parte, también decrece debido al aumento en conjunto del tiempo y la profundidad.

De igual manera que en el caso del suelo "Instituto", se estudió la tendencia de la humedad volumétrica en función del tiempo cuando la superficie estuvo cubierta. Se seleccionaron las profundidades de 1 y 3 cm para las 2 láminas de agua. Las ecuaciones obtenidas se presentan en el Cuadro 21, donde se aprecia que una ajustó al modelo logarítmico [9] y tres al modelo cuadrático [40] con altos índices de asociación.

Por otra parte se encontró relación entre la humedad gravimétrica y la densidad aparente del suelo "Margot", la cual se ajustó a un modelo de regresión lineal [39] según se muestra en la Figura 18 para 2 profundidades consideradas, donde se observa que la densidad aparente disminuye con un aumento del contenido de humedad del suelo que tiene la propiedad de expanderse cuando está húmedo y de contraerse cuando se seca.

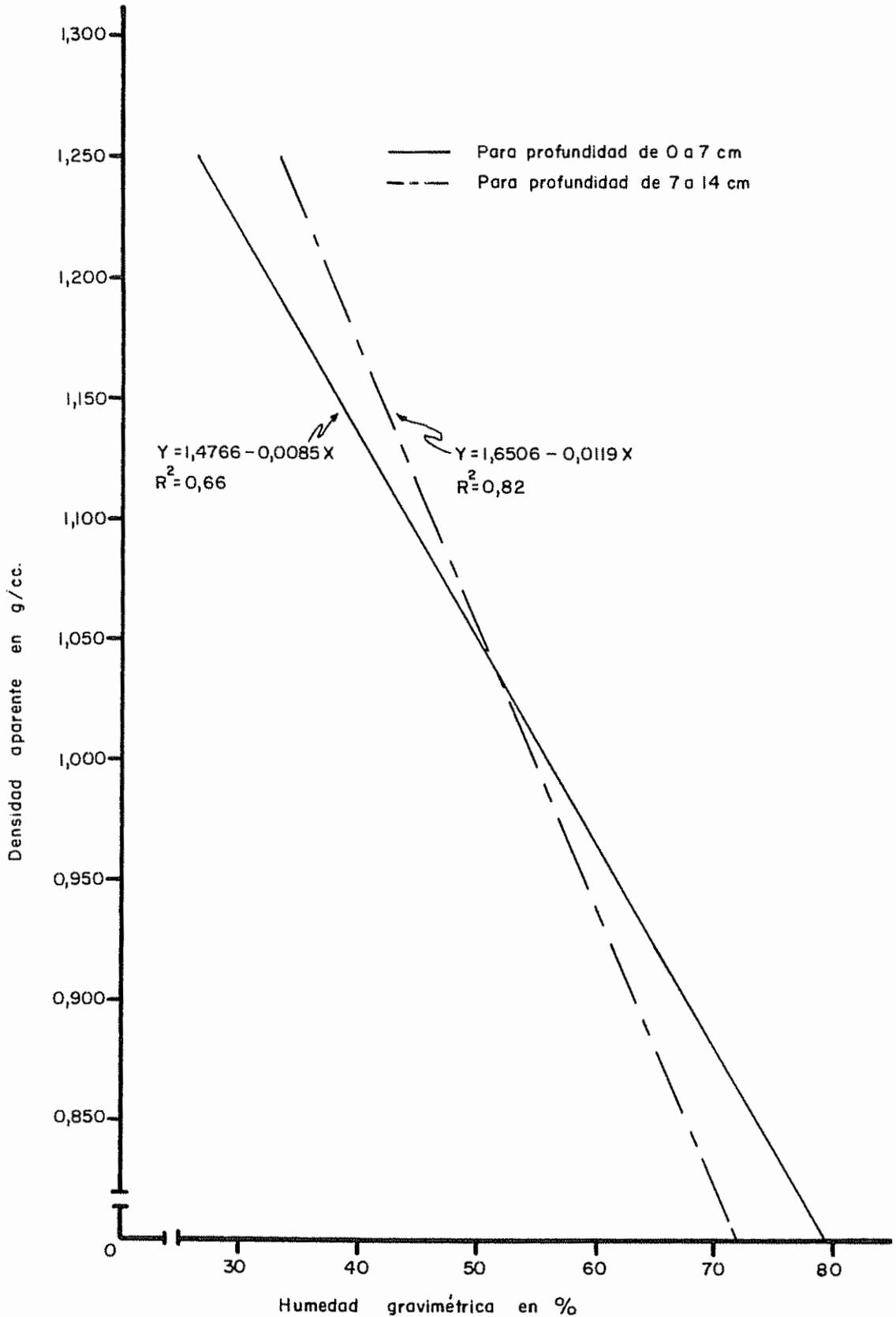
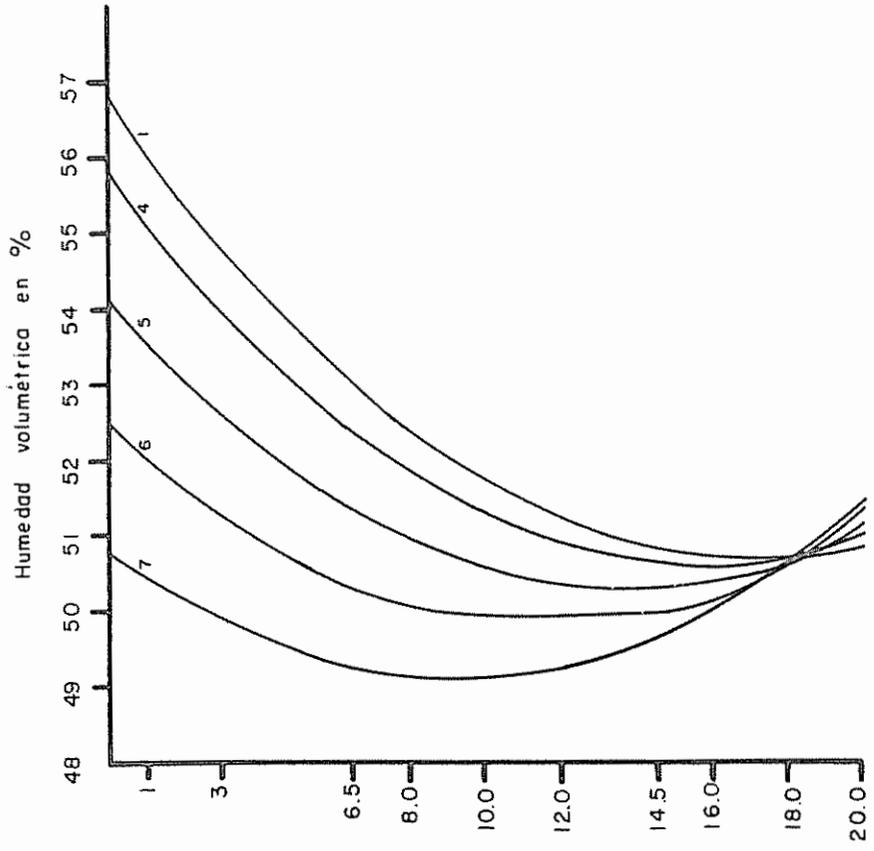


Fig.18 Variación de la densidad aparente con el contenido de humedad en el suelo "Margot"

La Figura 19 representa una regresión cuadrática múltiple [A-4-c] correspondiente a la humedad volumétrica cuando no estuvo cubierto y en función de la lámina de agua, el tiempo y la profundidad según se indica en el Cuadro 22. Se observa en general que no hubo cambios notables en el contenido de humedad en los primeros 36 minutos después de infiltradas las láminas de agua. Por otra parte los máximos en contenido de humedad se dan a 1 cm de profundidad, decreciendo rápidamente hasta alcanzar un mínimo variable en profundidad con la lámina de agua, para luego incrementarse nuevamente y alcanzar otro máximo, debido a que este suelo presenta entre los 20 y 40 cm un horizonte A_3 arcilloso, dando lugar a acumulación de agua inmediatamente por encima de esta profundidad. Para el caso de la lámina de 5 cm se observa que la redistribución fue mucho más rápida y el agua alcanzó a profundidades mayores de los 20 cm.

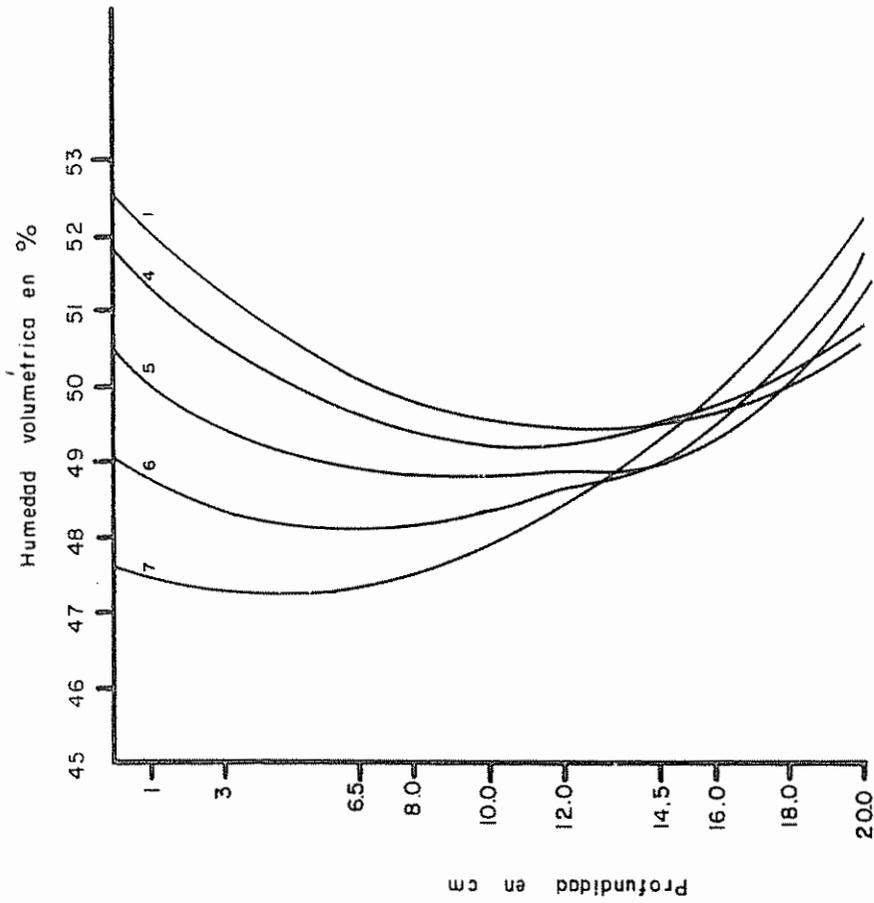
Como resultado de introducir la humedad volumétrica precedente (Cuadro 23) como variable influyente en la humedad volumétrica del suelo "Margot" se logró un ajuste mediante una regresión cuadrática múltiple [A-5-d] con un índice de asociación de R^2 de 65% (véase el Cuadro 22) mayor que el de 58% conseguido cuando no se consideró esta variable. Los resultados obtenidos mediante la citada relación se presentan en el Cuadro 24, donde se puede apreciar la misma redistribución de humedad mostrada en las Figuras 19a y 19b; pero con mayor grado de confiabilidad.

Los resultados de humedad volumétrica del suelo "Margot" con cobertura de la superficie se presentan en los Cuadros 17 y 18 y la



19a Para una lámina de 1cm

Curva Nº 1 2 3 4 5 6 7
 Tiempo 1 6 36 216 576 936 1296



19 b Para una lámina de 5 cm

Fig 19 Variación de la humedad volumétrica (sin cobertura) en función de la lámina de agua aplicada, del tiempo y de la profundidad para el suelo "Margot". Estimados mediante la ecuación (A-4-c) $R^2=0,58$

Figura 20 muestra la regresión cuadrática múltiple [A-4-d] con una alta confiabilidad de R^2 de 83% (véase el Cuadro 22).

Se observa en las Figuras 20a y 20b que los máximos contenidos de humedad se dan siempre a 1 cm de profundidad, pero el proceso de redistribución es algo diferente al ocurrido sin cobertura. Así se observa que con profundidad disminuye rápidamente el contenido de humedad o sea la redistribución fue más lenta y se produce el mínimo de humedad alrededor de los 15 cm y luego aumenta de nuevo hasta los 20 cm, aunque no hay efecto significativo debido a la cobertura y la lámina de 5 cm mostró un mojamiento prácticamente igual a la de 1 cm.

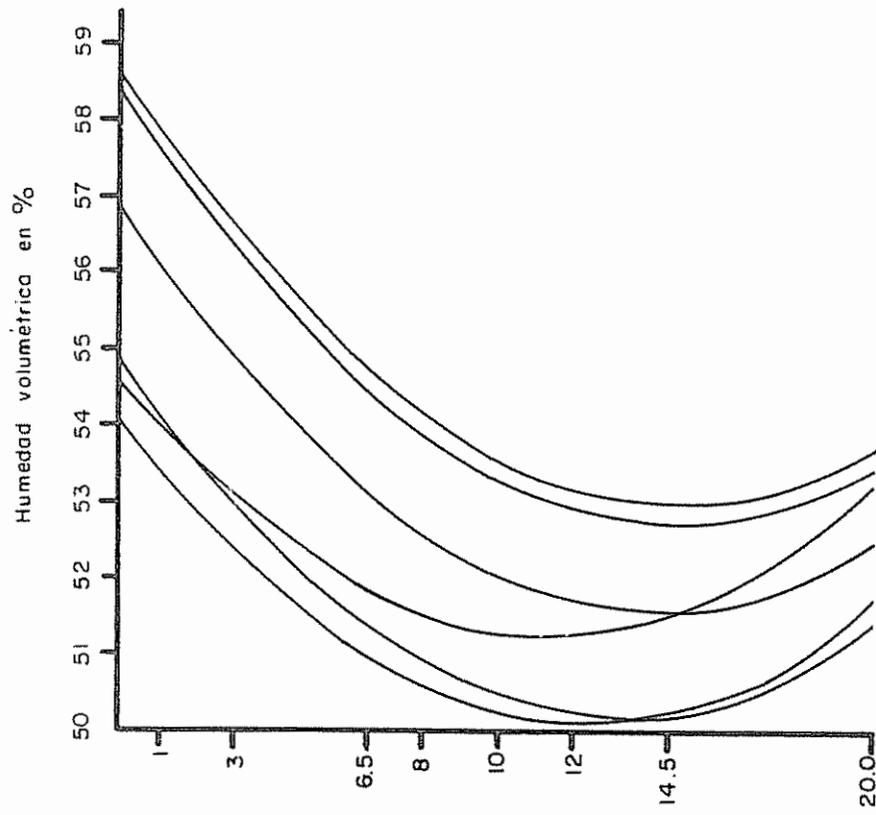
Al introducir como variable a la humedad volumétrica precedente, aumentó la confiabilidad a un R^2 de 88% (véase Cuadro 22), generándose los valores de humedad volumétrica presentados en el Cuadro 25, donde se observa la misma redistribución mostrada en las Figuras 20a y 20b.

4.4. Redistribución de espacio aéreo

4.4.1. Redistribución de espacio aéreo para el suelo "Instituto"

Los resultados de espacio aéreo se presentan en los Cuadros 9, 10 y 11 y el análisis de variancia en el Cuadro 26, donde se observa que:

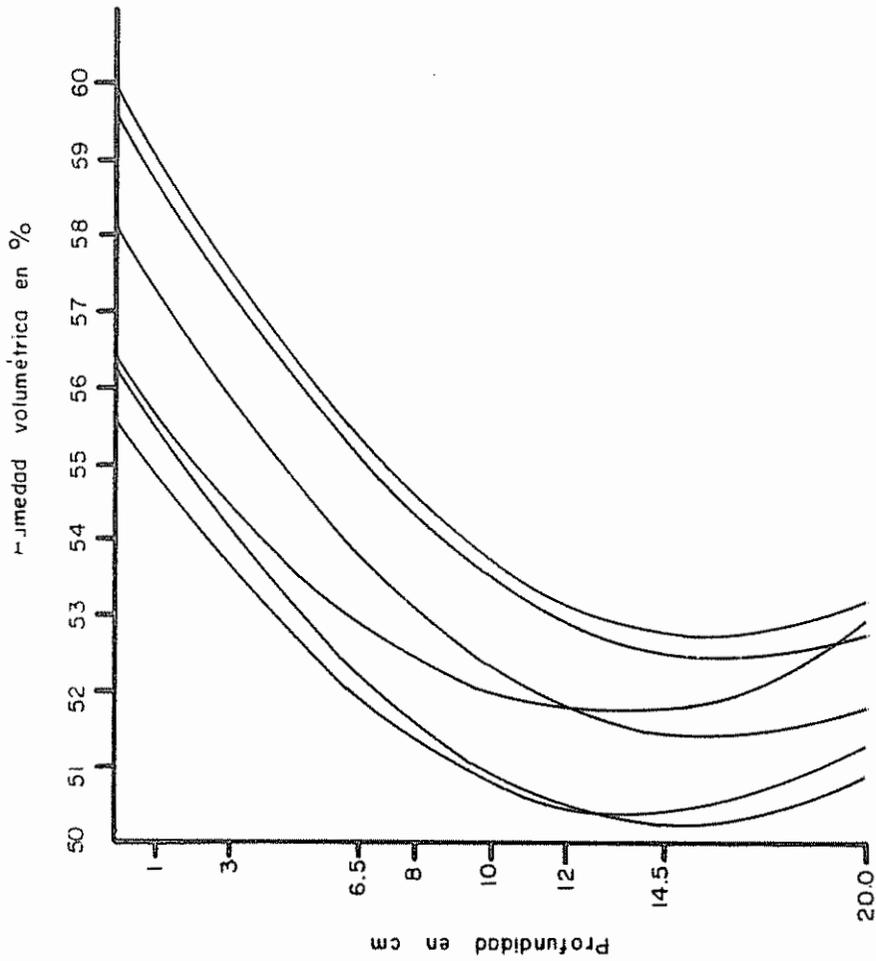
A juzgar por los valores de espacio aéreo (E_a) se puede afirmar que un aumento de la humedad precedente del suelo produce un decrecimiento ($P < 0,05$) de esta variable. Idéntico efecto es producido por la magnitud de la lámina de agua ($P < 0,01$). Sin embargo se puede



20a Para una lámina de 1 cm

Curva Nº 1 2 3 4 5 6 7

Minutos 1,6 6 36 216 576 936 1296



20 b Para una lámina de 5 cm

Fig. 20 Variación de la humedad volumétrica (con cobertura) en función de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad para el suelo "Margot" Estimada según la ecuación (A-4-d) $R^2=0,83$

anotar que el espacio aéreo crece ($P < 0,01$) a medida que transcurre el tiempo de aplicada la lámina de agua. Además el espacio aéreo es afectado por las variaciones simultáneas de lámina y tiempo; de lámina y profundidad, de tiempo y profundidad, de lámina, tiempo y profundidad. Por otra parte hay efecto ($P < 0,01$) debido a profundidad.

Así se estudió en primer lugar el comportamiento del espacio aéreo ponderado (Cuadro 27) en función de la lámina de agua y el tiempo sin cobertura de la superficie. En la Figura 21a se representan una ecuación cuadrática [A-6-a] con su alto índice de asociación de R^2 de 89% (véase el Cuadro 28), donde se observa que un incremento en la lámina de agua produce una disminución de espacio aéreo, dándose el mínimo cuando la lámina es máxima al tiempo de un minuto, lo cual era de esperarse dado el máximo contenido de humedad. Por lo contrario a mayor tiempo aumenta el espacio aéreo, alcanzando un máximo cuando el tiempo es máximo, esto se debe a que el suelo ha comenzado a drenarse y disminuye el contenido de humedad volumétrica con el consecuente aumento del espacio aéreo. Por otra parte sólo cuando la lámina fue de 10 cm se redujo el espacio aéreo a menos del 10% durante los primeros 36 minutos y únicamente alcanzó a 25% a los 1296 minutos de haber aplicado una lámina de 1 cm.

Cuando se mantuvo cubierta la superficie del suelo, el comportamiento del espacio aéreo fue igual y se obtuvo un ajuste mediante una ecuación cuadrática [A-6-b] con un grado de confiabilidad alto de R^2 de 90% (véase el Cuadro 28). La ecuación citada se representa en la Figura 21b, donde se observa que debido a que no hay pérdidas por

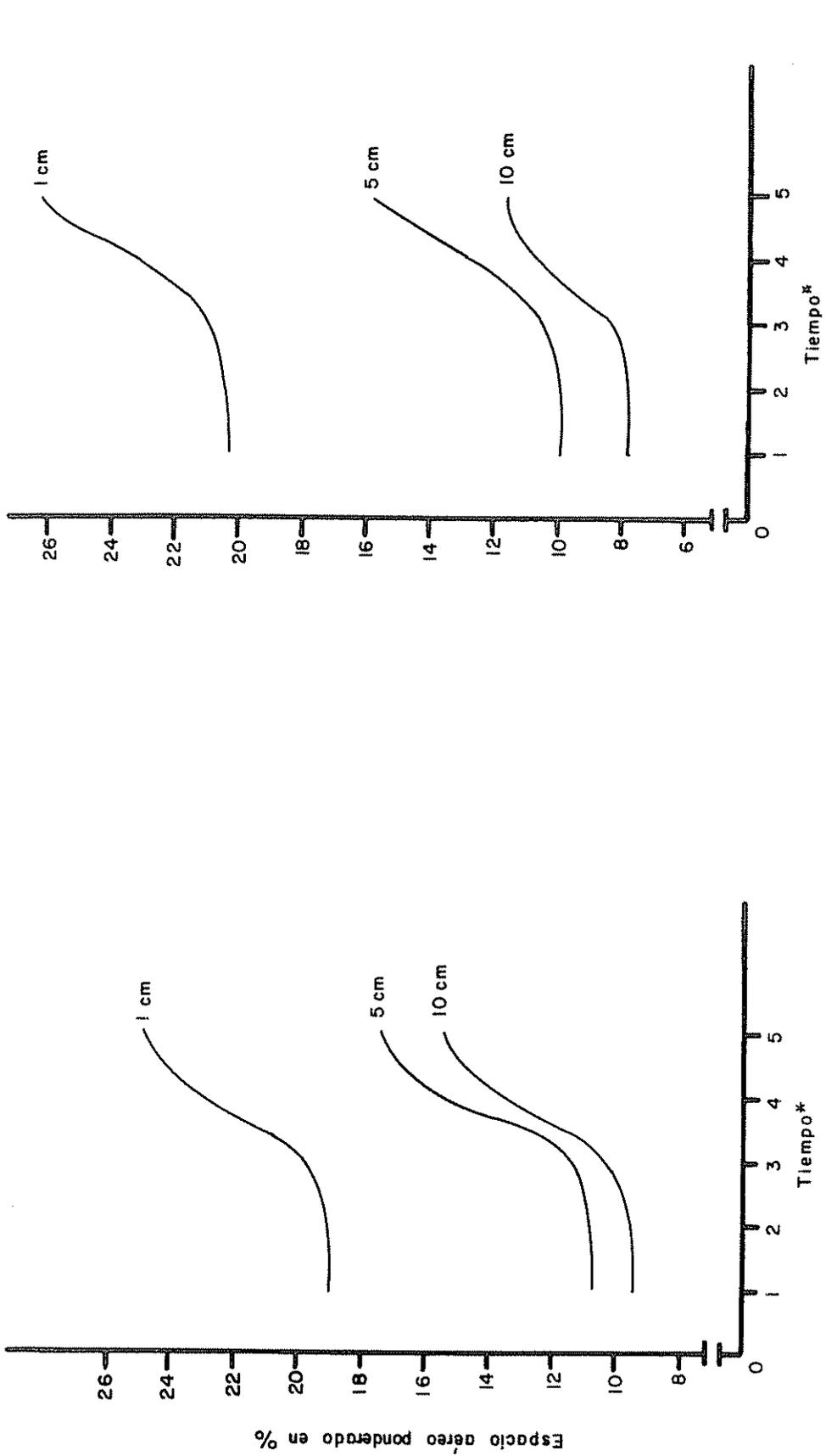


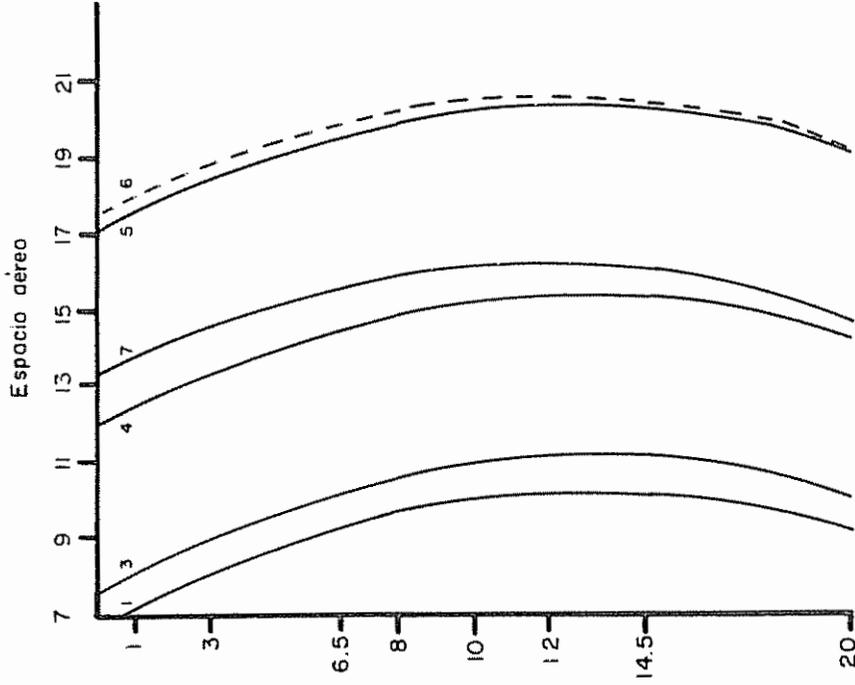
Fig.21 Variación del espacio aéreo ponderado en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Instituto"

evaporación, los niveles de espacio aéreo se mantienen durante más tiempo por debajo del 10% para las láminas de 5 y de 10 cm.

Las Figuras 22a, 22b y 23 representan las variaciones de espacio aéreo para el caso sin cobertura, en función de la lámina de agua, el tiempo y la profundidad mediante una regresión cuadrática múltiple [A-4-e] con un alto índice de asociación de R^2 de 89% (véase Cuadro 15). En las Figuras citadas se observa que la variabilidad del espacio aéreo es contraria a la de la humedad volumétrica. Así alcanza el mínimo cuando la lámina es máxima y viceversa, por otra parte se observa que se alcanzan máximos con un aumento en tiempo y profundidad hasta un cierto valor y luego decrece ligeramente. Además, para las láminas de 5 y de 10 cm se reduce el espacio aéreo a menos del 10% durante los primeros 36 minutos, y sólo para la lámina de 1 cm sobrepasó el 25% de espacio aéreo después de los 216 minutos.

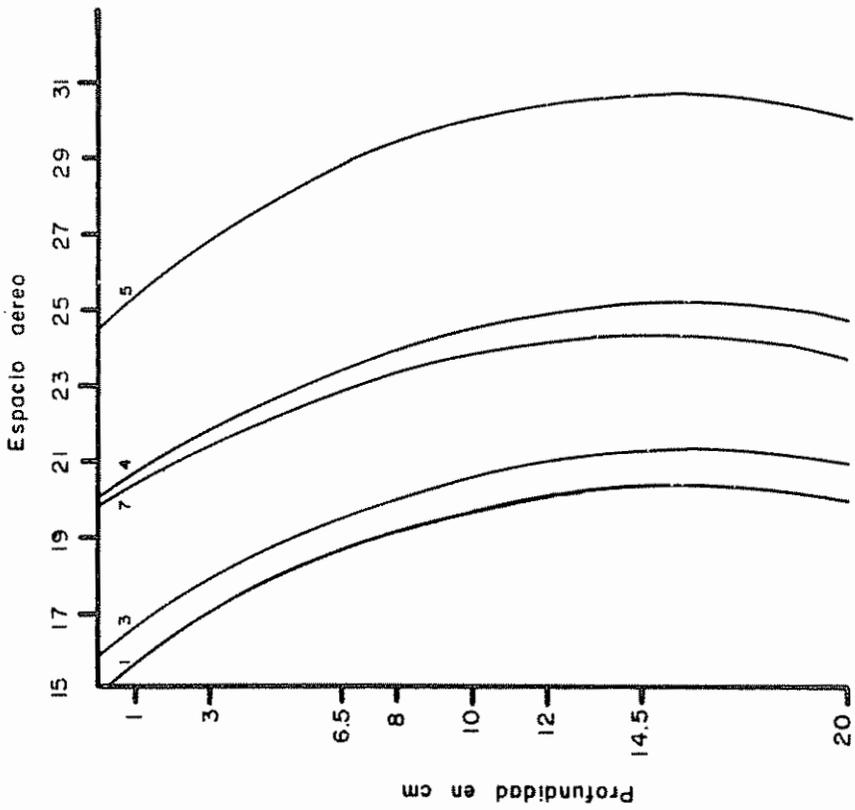
Cuando se introdujo como variable el espacio aéreo precedente (Cuadro 29) se ajustó mediante regresión cuadrática múltiple [A-5-f] con una confiabilidad prácticamente igual, según se indica en el Cuadro 15, el índice de asociación fue de 90%. En el Cuadro 30 se dan los valores de espacio aéreo estimados mediante la ecuación [A-5-f].

Cuando se mantuvo cubierta la superficie se obtuvo la misma distribución de espacio aéreo, la cual se muestra en las Figuras 24 y 25 donde se representa una regresión cuadrática múltiple [A-4-f] con un alto índice de asociación de R^2 de 82% (véase el Cuadro 15). Al introducir como variable el espacio aéreo precedente mejoró el grado de



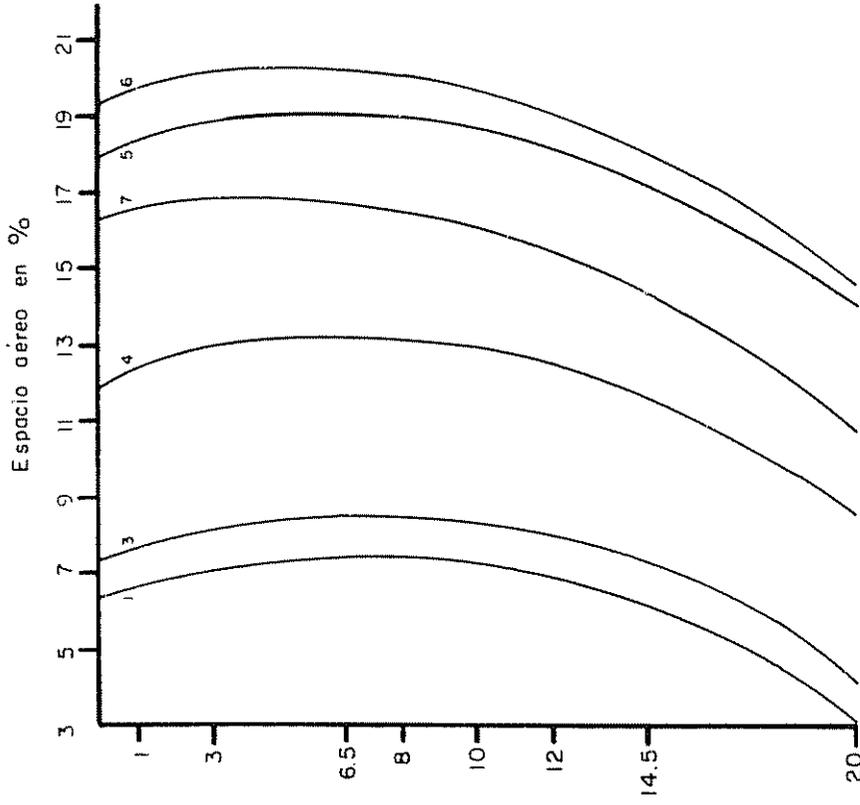
22a Para una lámina de 1 cm

Curva Nº	1	2	3	4	5	6	7
Minutos	1	6	36	216	576	936	1296



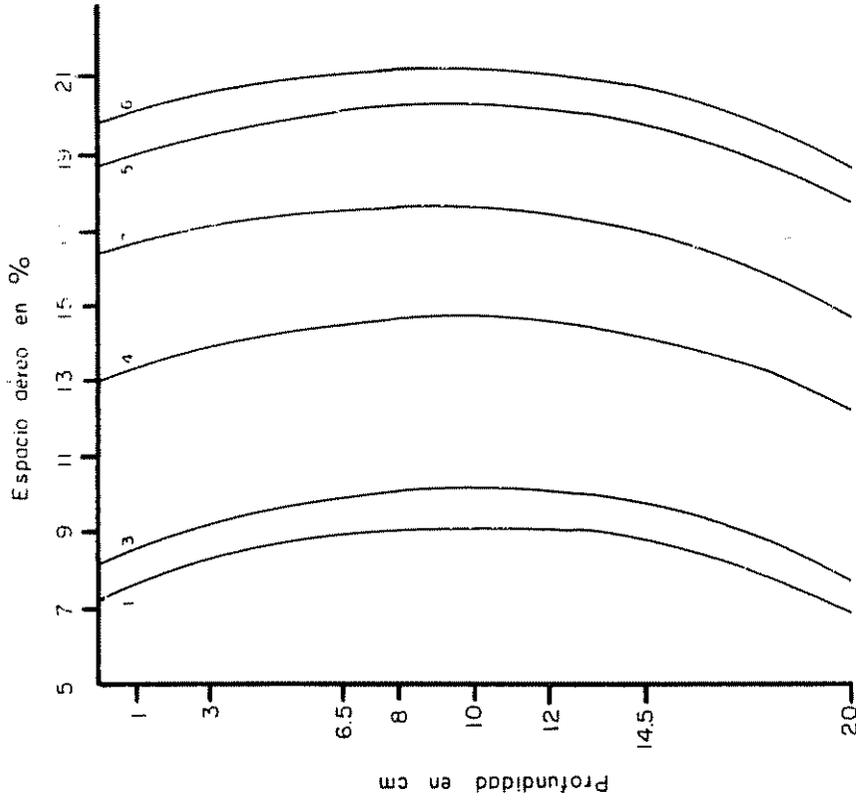
22 b Para una lámina de 5 cm

Fig. 2.2 Variación de espacio aéreo (sin cobertura) en función de la lámina de agua, del tiempo y de la profundidad para el suelo "Instituto". Estimados según la ecuación (A-4-e) $R^2=0,89$



Para una lámina de 10 cm

Fig. 25 Variación del espacio aéreo con cobertura, en función de lámina, tiempo y profundidad para el suelo "Instituto"
Estimados según la ecuación (A-4-f) $R^2=0,82$



Para una lámina de 10 cm

Fig. 23 Variación del espacio aéreo sin cobertura, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad para el suelo "Instituto".
Estimado según la ecuación (A-4-e) $R^2=0,89$

confiabilidad para la regresión cuadrática múltiple [A-5-f] indicada en el Cuadro 15, donde se observa un índice de asociación de 84%; los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 31, donde se nota la misma variación mostrada en las Figuras 24 y 25.

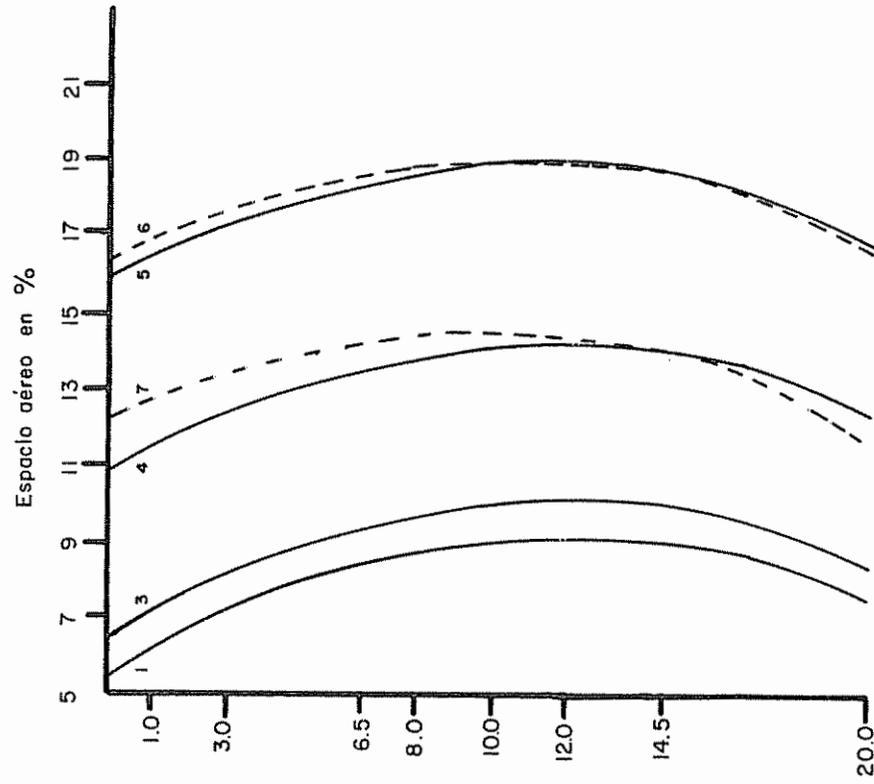
4.4.2. Redistribución de espacio aéreo para el suelo "Margot"

Los resultados de espacio aéreo para el suelo "Margot" se presentan en los Cuadros 18 y 19 y el correspondiente análisis de variancia en el Cuadro 32, donde se observa que:

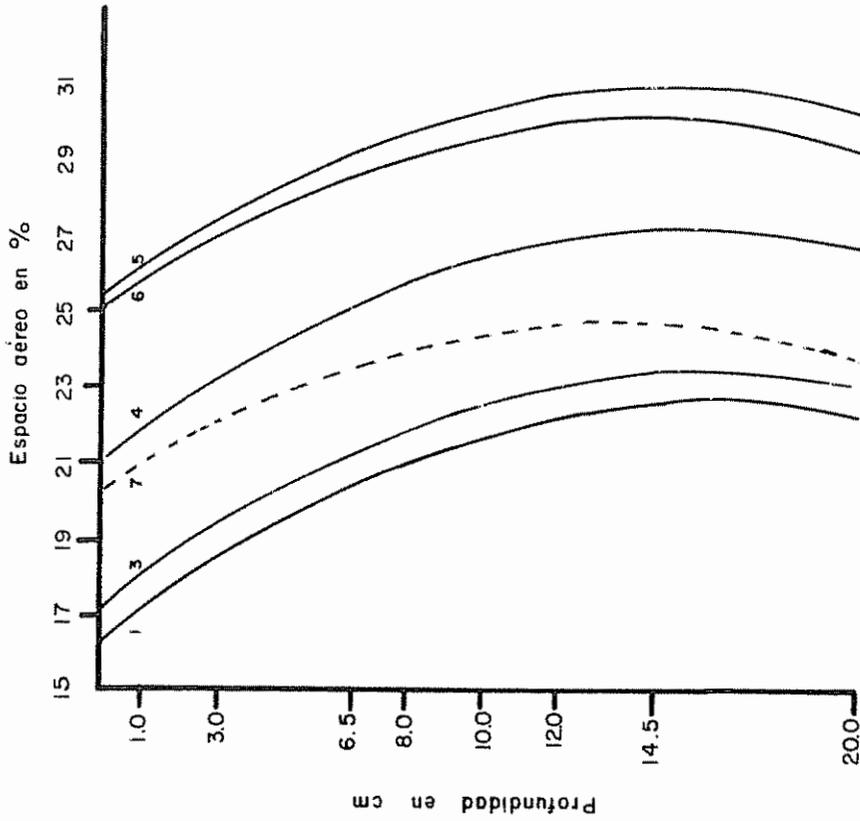
La magnitud de las láminas de agua no afecta de manera alguna ($P < 0,05$) a esta variable. Sin embargo, se observa efecto debido a la interacción tratamiento-cobertura de la superficie.

Al igual que para el suelo "Instituto", a los valores de espacio aéreo ponderado (Cuadro 33) se les ajustó mediante un modelo de regresión cuadrático [A-6-c] con un índice de asociación de R^2 de 78% (véase el Cuadro 34) el cual se representa en la Figura 26, para el caso en que no se cubrió la superficie (Figura 26a) se observa que el espacio aéreo disminuye con un incremento en la lámina de agua y se hace mínimo cuando ésta es máxima, ello se explica por las variaciones en contenido de humedad (véase Figuras 19a y 19b) donde se observa que con el tiempo se produce acumulación de agua por encima de los 20 cm de profundidad originando un decrecimiento en el espacio aéreo.

· Cuando la superficie del suelo se mantuvo cubierta la variación del espacio aéreo fue diferente, se ajustó a una regresión cuadrática [A-6-d] reportada en el Cuadro 34 con un índice de asociación de R^2 de 78% representada en la Figura 25b, donde se produce un mínimo

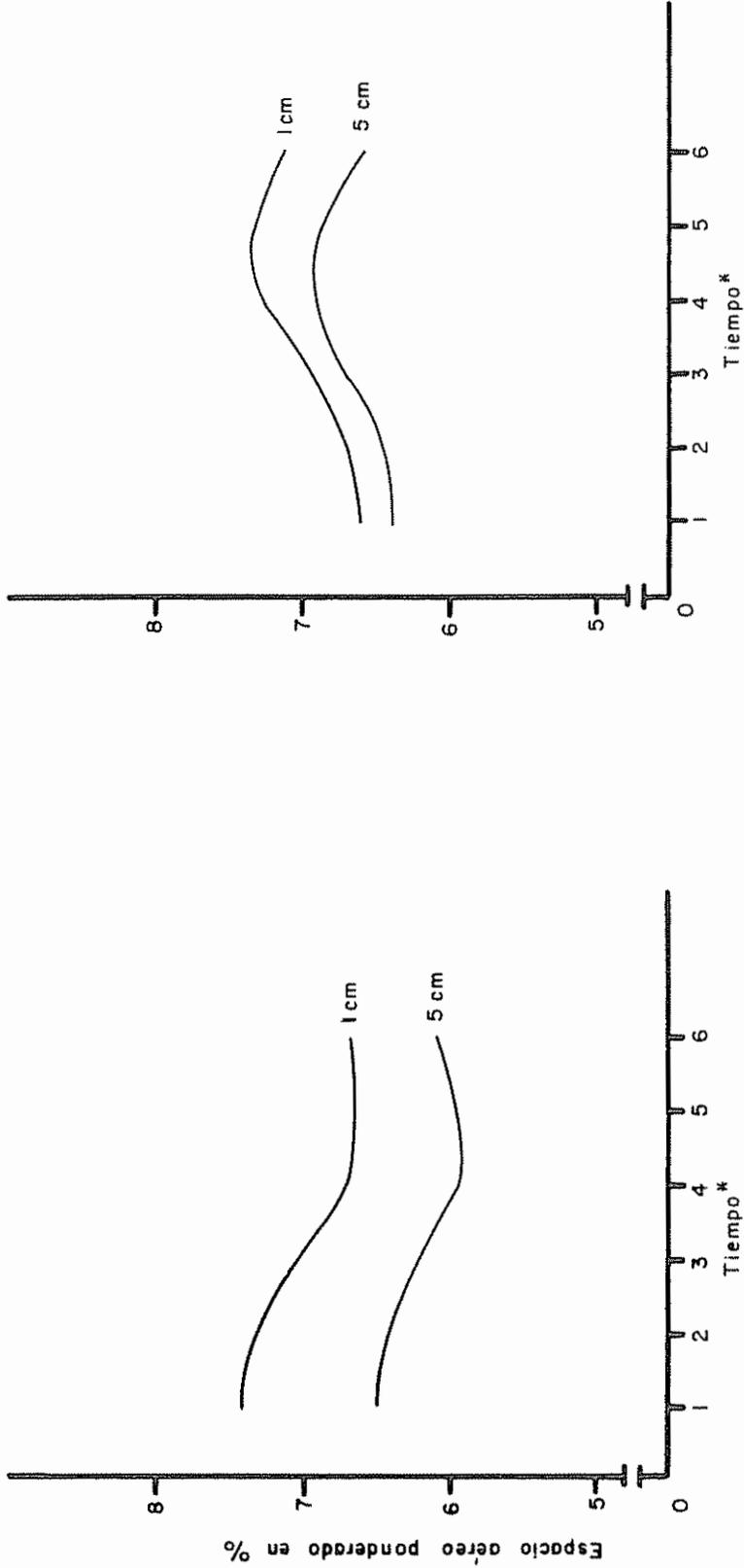


24 a Para una lámina de 1 cm



24 b Para una lámina de 5 cm

Fig.24 Variación de espacio aéreo (con cobertura) para el suelo "Instituto".
Estimado mediante la ecuación (A-4f) $R^2=0,82$



26 a Sin cobertura de la superficie estimada mediante la ecuación (A-6-c) $R^2=0,78$

26 b Con cobertura de la superficie estimada mediante la ecuación (A-6-d) $R^2=0,78$

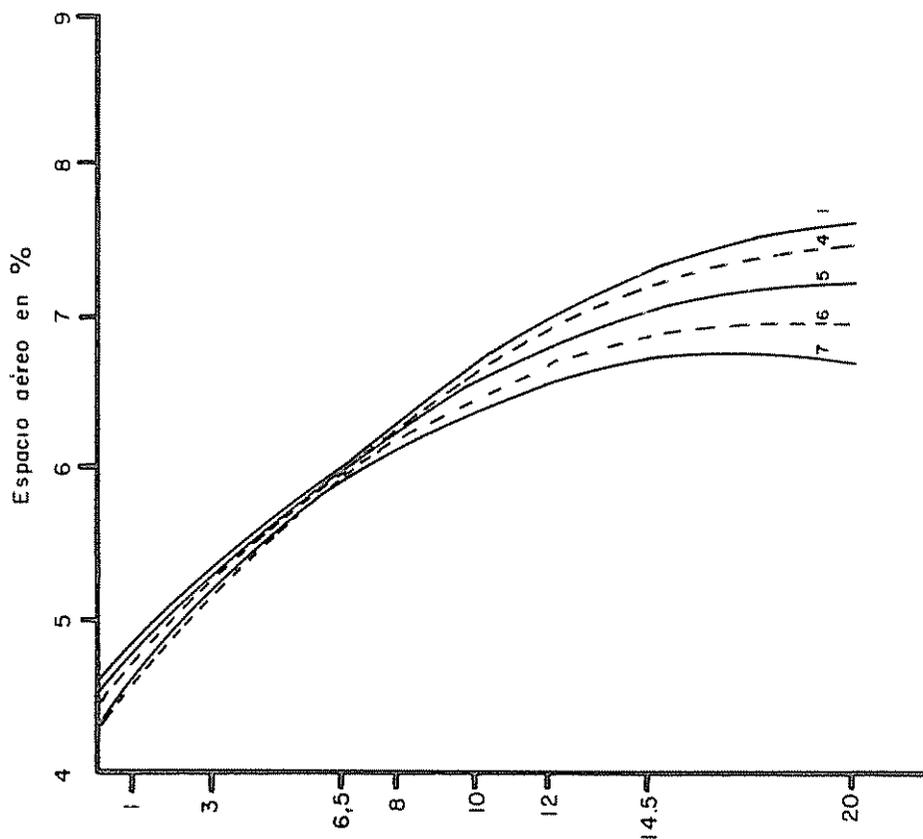
*Tiempo: 1 2 3 4 5 6
 Minutos: 1 36 216 576 936 1296

Fig. 26 Variación del espacio aéreo ponderado en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Margot"

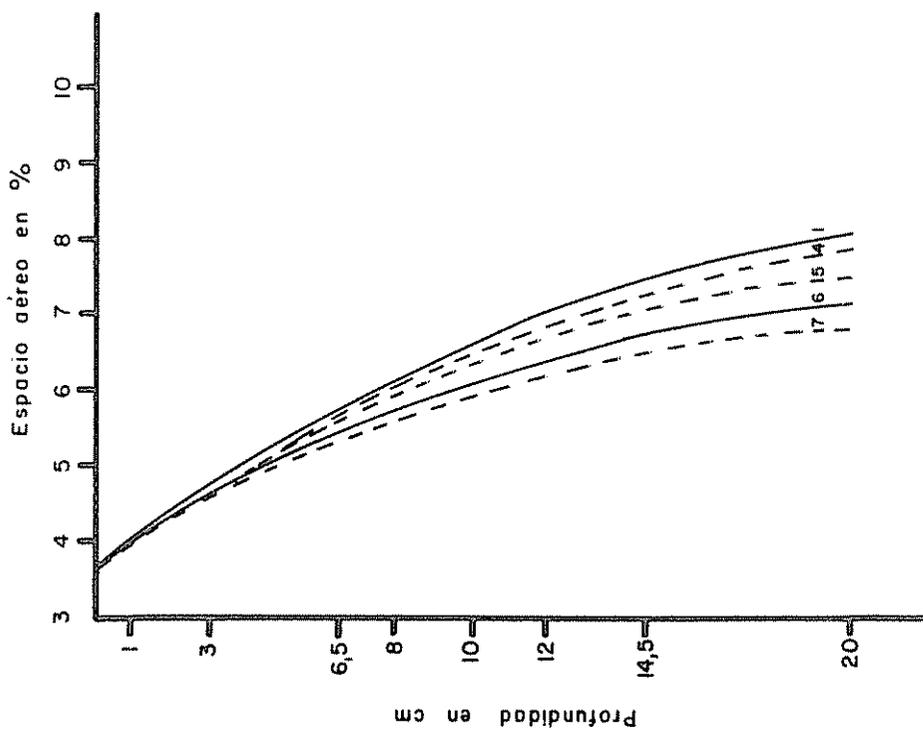
cuando la lámina es máxima, incrementándose con el tiempo para luego disminuir, explicándose lo anterior por los cambios en humedad observados en las Figuras 20a y 20b.

Por otra parte, como resultado del efecto de la lámina de agua, el tiempo y la profundidad sobre el espacio aéreo, se obtuvo una regresión cuadrática [A-4-g] con un índice de asociación bajo de R^2 de 40% (véase el Cuadro 22) para el caso sin cobertura; sin embargo cuando se consideró el efecto del espacio aéreo precedente (Cuadro 35) mediante la ecuación [A-5-g], la confiabilidad fue media de un R^2 de 52% (véase el Cuadro 22). Los valores de espacio aéreo estimados mediante la ecuación [A-5-g] se presentan en el Cuadro 36.

En ausencia de evaporación y como resultado del ajuste mediante un modelo de regresión cuadrática múltiple [A-4-h] con un alto índice de asociación de R^2 de 0,86 (véase el Cuadro 22) se obtuvo la Figura 27a y 27b, donde se observa que el espacio aéreo alcanza un mínimo en profundidad cuando el tiempo es máximo y en superficie al inicio coincidiendo con el máximo contenido de humedad. También se nota que el espacio aéreo aumenta con la profundidad hasta alcanzar un máximo que coincide con los mínimos de humedad (véase las Figuras 20a y 20b). Para el caso de la lámina de 5 cm se observa a medida que aumenta el tiempo un crecimiento del espacio aéreo en superficie. El espacio aéreo resultante siempre fue menor del 10%. Cuando se consideró el efecto del espacio aéreo precedente mediante una regresión cuadrática múltiple [A-5-h] aumentó la confiabilidad a 91% (véase el Cuadro 22), dándose en el Cuadro 37 los correspondientes valores de espacio aéreo,



Para una lamina de 5 cm



Para una lamina de 1cm

Curva Nº	1	2	3	4	5	6	7
Minutos	1	6	36	216	576	936	1296

Fig.27 Variación de espacio aéreo (con c o b e r t u r a), en función de la lámina de agua aplicada, del tiempo y la profundidad para el suelo "Margot" estimado según la ecuación $(A \cdot t \cdot h)$ $R^2=0,86$

cuya distribución es la misma mostrada en las Figuras 20a y 20b para el caso en que no se consideró el espacio aéreo precedente.

4.5. Variaciones de tensión de humedad

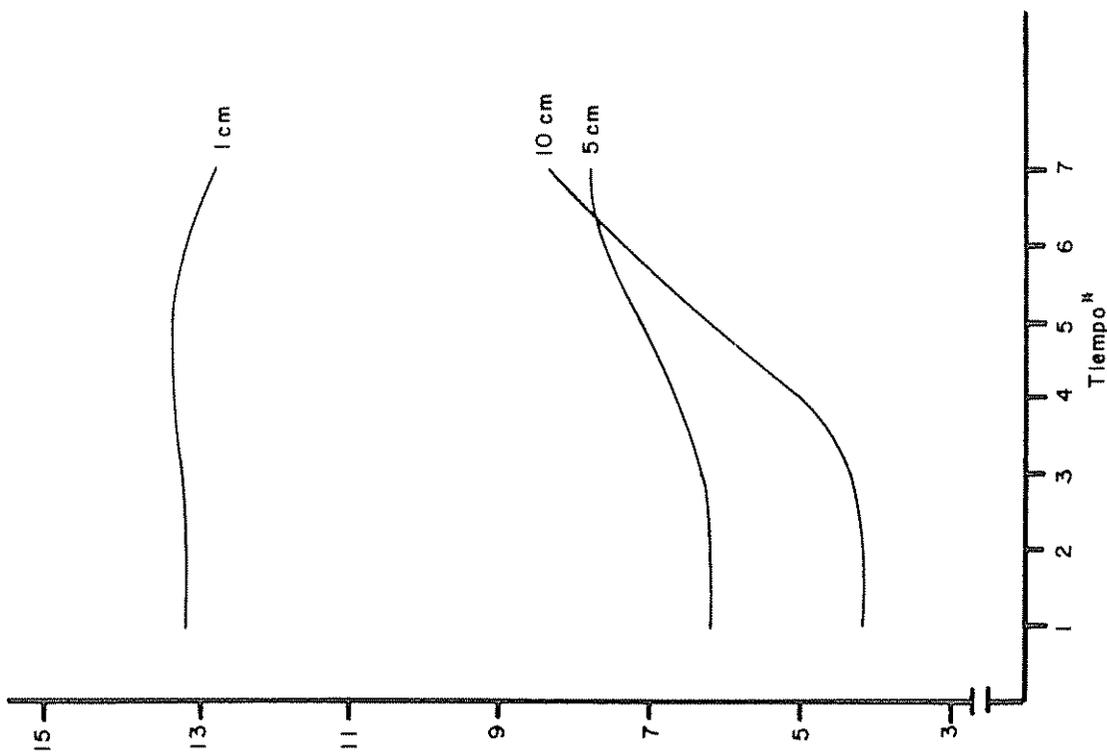
4.5.1. Variaciones de tensión de humedad para el suelo "Instituto"

En el Cuadro 38 se muestran los valores de tensión de humedad del suelo observados para los tres tratamientos y los resultados del análisis de variancia se presentan en el Cuadro 39, de donde se deduce lo siguiente.

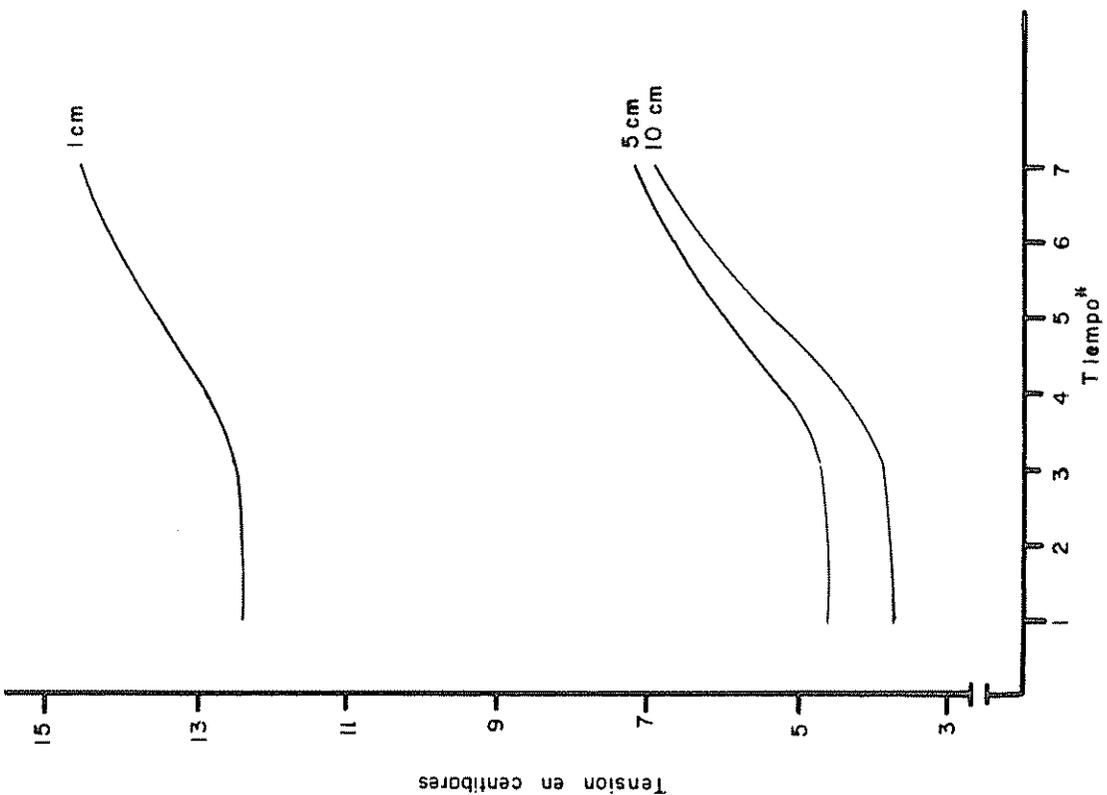
A juzgar por la tensión de humedad se puede afirmar que un aumento en la magnitud de la lámina de agua hace decrecer ($P < 0,05$) a esta variable. Por otra parte los valores de tensión son afectados ($P < 0,01$) por el tiempo y también por el aumento combinado de la lámina de agua y el tiempo.

Con base en el análisis de variancia se procedió a efectuar los análisis de relación y de tendencias. Así, se ajustaron los valores de tensión en función de la magnitud de la lámina de agua y del tiempo mediante un modelo de regresión múltiple.

Para el caso en que no se cubrió la superficie se obtuvo el ajuste mediante una regresión cuadrática [A-6-e] con un índice de asociación de R^2 de 83% reportada en el Cuadro 40 y representada en la Figura 28a, donde se observa en general que la tensión de humedad presenta un mínimo y luego tiende a aumentar con el tiempo independientemente de la magnitud de la lámina de agua, lo cual se explica por la disminución en el contenido de humedad con un incremento en el tiempo



28 a Sin cobertura, estimada mediante la ecuación (A-6-e)



28 b Con cobertura, estimada mediante la ecuación (A-6-f)

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7
Minutos	1	6	36	216	576	936	1296

Fig. 28 Variación de la tensión de humedad en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Instituto"

(Figuras 14a, 14b y 15); también se observa que con un aumento en la lámina de agua disminuye la tensión debido a un mayor contenido de humedad del suelo. Los mínimos de tensión ocurren a 1 minuto cuando se dan los máximos de humedad.

Cuando se cubrió la superficie, se logró el ajuste mediante una regresión cuadrática [A-6-f] con un alto índice de asociación de R^2 de 83% (véase el Cuadro 40). En la Figura 28b se presentan los resultados del análisis de tendencia, donde se aprecia que la tensión tiende a aumentar con el tiempo para cualquier lámina de agua aplicada, haciéndose más notorio este efecto con un aumento en la lámina de agua, esto se explica por la variación en contenido de humedad a la profundidad correspondiente a la medida de tensión (7,5 cm) mostrada en las Figuras 16 y 17. Así se observa en la Figura 16 que la humedad mostró un incremento entre los 936 y los 1296 minutos y a ello se debe la disminución de la tensión mostrada en la Figura 28b para la lámina de 1 cm de agua.

Para el caso de las láminas de agua de 5 cm y de 10 cm el incremento de la tensión entre los 936 y los 1296 minutos se atenúa debido a que el contenido de humedad permanece prácticamente igual al ocurrido a los 576 minutos. Los valores mínimos de tensión se producen al mismo tiempo (1 minuto) que los máximos contenidos de humedad.

4.5.2. Variaciones de tensión de humedad para el suelo "Margot"

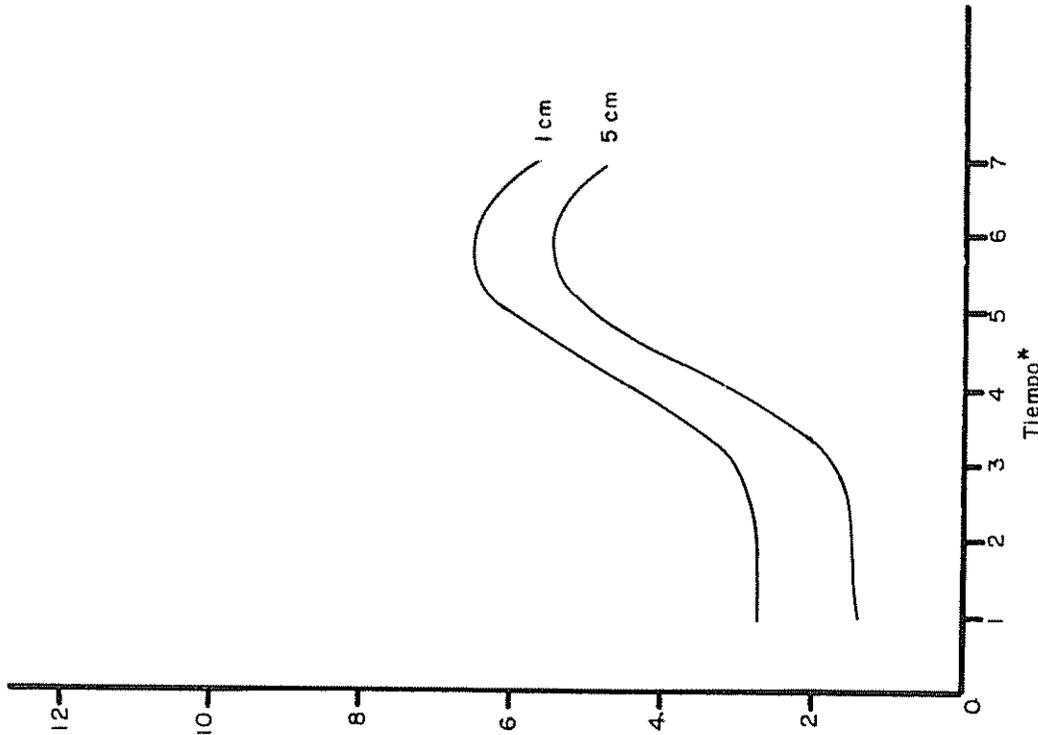
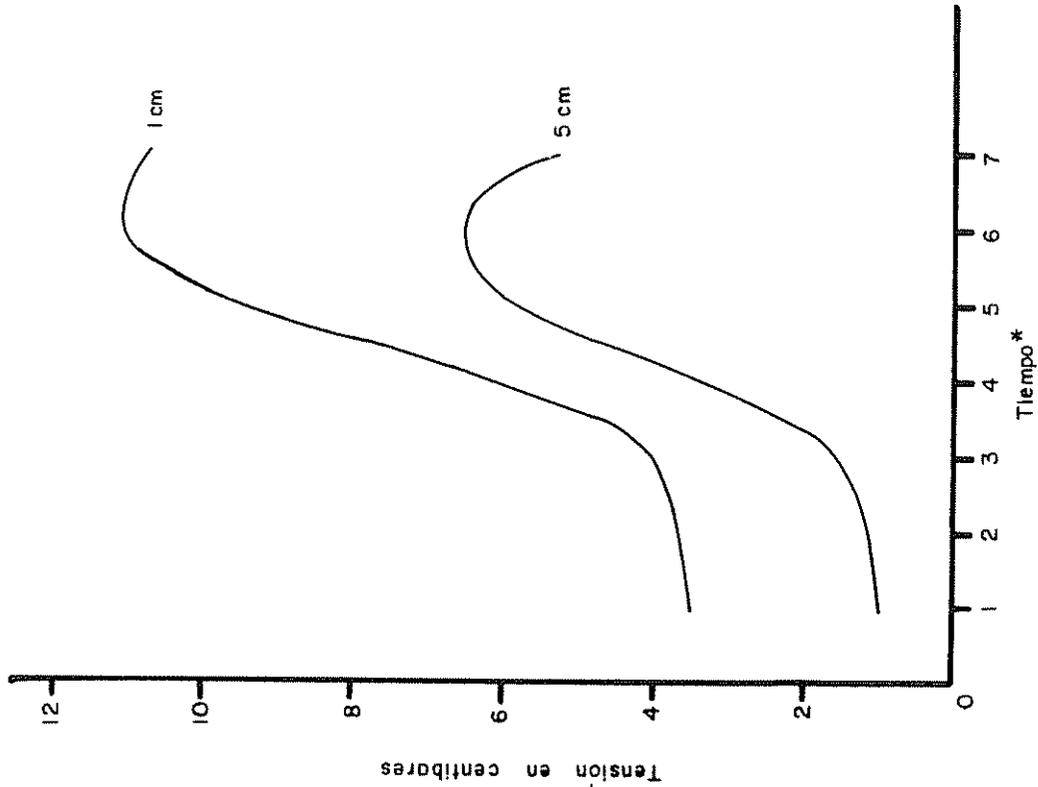
Los valores de tensión de humedad observados para el suelo "Margot" se presentan en el Cuadro 41 y el correspondiente análisis de variancia en el Cuadro 42 de donde se deduce que:

La magnitud de las láminas de agua no afectó de manera alguna ($P > 0,05$) a esta variable. Sin embargo, la tensión de humedad crece ($P < 0,01$) con un aumento en el tiempo después de aplicada la lámina de agua. No se observó efectos debidos a la cobertura de la superficie.

Luego, se logró el ajuste de los valores de tensión en función de la lámina de agua y del tiempo mediante la ecuación [A-6-g] cuadrática con un índice de asociación muy alto de R^2 de 99% mostrada en el Cuadro 43.

En la Figura 29a en la que se representa la ecuación [A-6-g] se observa que la tensión se incrementa con el tiempo hasta los 576 minutos a partir de donde disminuye ligeramente, correspondiendo el mínimo y el máximo de tensión al máximo y mínimo de humedad respectivamente (véase las Figuras 19a y 19b). Además, se nota que el mínimo para el caso que se aplicó una lámina de 1 cm fue 2,5 centibares mayor que el correspondiente a la lámina de 5 cm de agua y entre los máximos se incrementó la diferencia alcanzando a 4,5 centibares.

En la Figura 29b que representa una ecuación cuadrática [A-6-h] reportada en el Cuadro 43, se observa la misma variación para la tensión que la presentada sin cobertura, sólo que se hacen menores las diferencias en tensiones producidas por la aplicación de láminas de agua de 1 cm y de 5 cm. Los mínimos y los máximos de tensión coinciden con los máximos y mínimos de humedad respectivamente para cada lámina de agua. A pesar de no haber significancia estadística debida a cobertura se observa que los valores de tensión en este caso son



29a Sin cobertura, estimado mediante la ecuación(A-6-g)

29 b Con cobertura, estimada mediante la ecuación(A-6-h)

*Tiempo : 1 2 3 4 5 6 7
 Minutos: 1 6 36 216 576 936 1296

Fig. 29 Variación de la tensión de humedad en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Margot"

menores, especialmente los correspondientes a una lámina de 1 cm de agua. Se observa un ligero decrecimiento de la tensión a los 1296 minutos.

4.6. Variaciones de temperatura

4.6.1. Variaciones de temperatura del suelo "Instituto"

En el Cuadro 44 se presentan las temperaturas correspondientes a las horas de observación para los diferentes tratamientos aplicados al suelo "Instituto" y en el Cuadro 45 el análisis de variancia, donde se observa que:

No hubo diferencias significativas entre las temperaturas registradas para los diferentes tratamientos en los diferentes bloques. Sin embargo se observaron temperaturas mayores en 10 C para el caso en que no se cubrió la superficie. Además se observaron diferencias en las temperaturas correspondientes a las diferentes horas de observación, lo cual se explica por las diferencias en las horas iniciales de cada ensayo (véase el Cuadro 44) y aún comenzando todos los ensayos a la misma hora, se hubiesen presentado tales diferencias debido al avance del día.

Por otra parte, se observaron diferencias entre temperaturas debidas a la profundidad, así a 2 cm de profundidad las temperaturas fueron menores en unos 20 C que sus correspondientes a 7,5 cm, lo cual se debe a que la capa superficial del suelo libera calor por evaporación enfriándose.

De cualquier manera, en ningún momento la magnitud de las

diferencias en temperatura fue lo suficientemente grande para inducir diferencias en los valores de rata de difusión de oxígeno, única variable estudiada factible de ser afectada.

4.6.2. Variaciones de temperatura del suelo "Margot"

En el Cuadro 46 se presentan las temperaturas observadas para el suelo "Margot" y en el Cuadro 47 el correspondiente análisis de variancia, de donde se deduce lo siguiente:

Se presentan diferencias en las temperaturas observadas para bloques y tratamientos, las que se atribuyen a las diferencias en las horas de inicio de cada ensayo (véase el Cuadro 46), lo cual es difícil sino imposible de controlar dada la naturaleza del estudio y las condiciones climáticas limitantes (especialmente en lo referente al régimen de lluvias) imperante en el área. No hubo diferencias significativas en las temperaturas para los tratamientos sin cobertura y con cobertura de la superficie. Sin embargo se observaron diferencias en las temperaturas de diferentes horas de observación, dada la variación en la hora de inicio de los ensayos. Por otra parte se observaron diferencias en las temperaturas con la profundidad, resultando mayores en unos 2°C las correspondientes a 7,5 cm respecto a las de 2 cm, lo cual se explica por el enfriamiento de la capa superficial de suelo consecuencia de la liberación de calor por evaporación.

4.7. Variaciones de rata de difusión de oxígeno (R.D.O.)

4.7.1. Variaciones de la rata de difusión de oxígeno para el suelo "Instituto"

En el Cuadro 47 se presentan los valores de rata de difusión de oxígeno medidos para los tres tratamientos durante las diferentes horas de observación y también los valores de rata de difusión de oxígeno precedente.

Los resultados del análisis de variancia de los valores de rata de difusión de oxígeno (R.D.O.) se presentan en el Cuadro 49, donde se observa que:

A juzgar por los valores de rata de difusión de oxígeno (R.D.O.), se puede afirmar que las magnitudes de las láminas de agua no afectan en forma alguna ($P > 0,05$) a esta variable. Sin embargo, se puede indicar que el efecto combinado de la magnitud de la lámina de agua y de la cobertura de la superficie del suelo tiende a disminuir dicha variable ($P < 0,01$) y la presencia de cobertura la aumenta ($P < 0,01$). Por otra parte se observa que los valores de rata de difusión de oxígeno decrecen con el tiempo ($P < 0,01$) después de aplicadas las láminas de agua. Además la R.D.O. decrece ($P < 0,05$) por el efecto conjunto de aumento de la lámina de agua y del tiempo.

Del análisis de tendencia de la R.D.O. sin cobertura, en función de la lámina de agua y del tiempo mediante una regresión cuadrática múltiple [A-6-i] con un índice de confiabilidad alto de R^2 de 92% (Cuadro 50) se obtuvo la Figura 30a. Se observa que independientemente de la lámina de agua, la R.D.O. disminuye con un aumento del

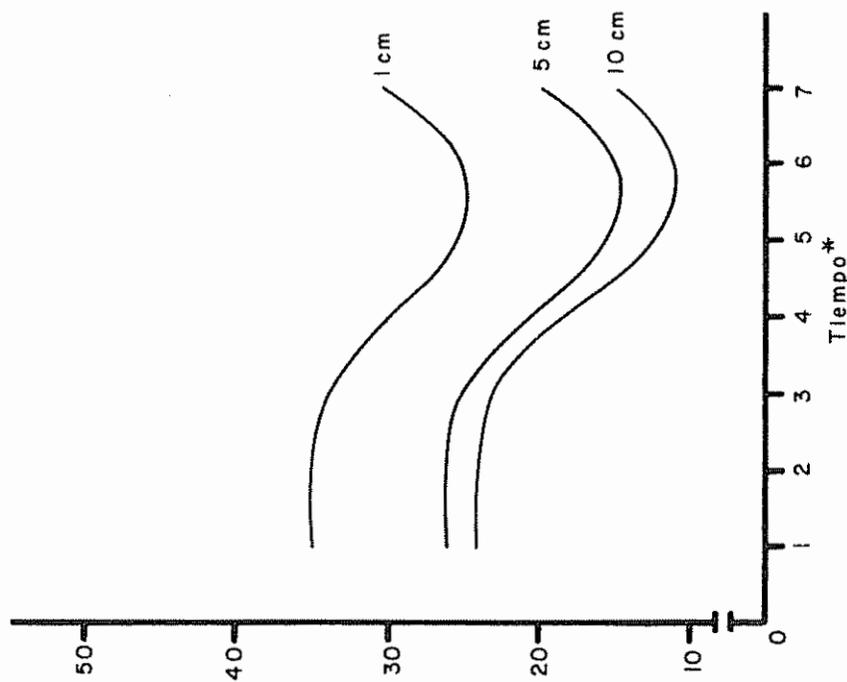
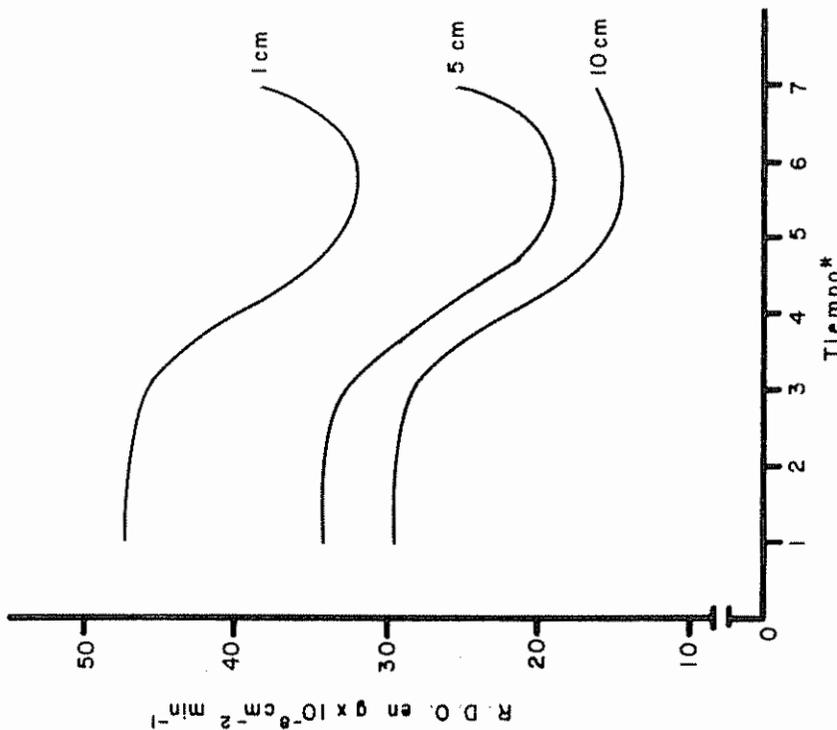


Fig.30 Variación de la rata de difusión en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Instituto" Franco

tiempo hasta alcanzar un mínimo cerca de los 936 minutos y luego tiende a aumentar ligeramente. También se aprecia que la R.D.O. decrece con el aumento de la lámina de agua, lo cual era de esperarse, ya que a mayor lámina de agua aplicada aumenta el contenido de humedad del suelo y disminuye el espacio aéreo.

Lo mismo se aprecia en la Figura 30b, la cual representa una regresión cuadrática múltiple [A-6-j] con un índice de asociación alto de R^2 de 0,84 (Cuadro 50). Sin embargo se observan valores de R.D.O. menores que en presencia de evaporación, lo cual probablemente se explique porque no se experimentan pérdidas de agua desde la superficie del suelo, dándose menores valores de espacio aéreo.

Por otra parte se representa en la Figura 31 una regresión entre la R.D.O. y el espacio aéreo ponderado sin cobertura [A-2-k] y con cobertura [A-2-l] con índices de asociación de R^2 de 62% y R^2 de 63% respectivamente (Cuadro 51). Se observa que cuando no se cubrió la superficie el mínimo de espacio aéreo fue de 12% correspondiéndole unos $26,5 \text{ g de } O_2 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Cuando se cubrió la superficie el mínimo de espacio aéreo fue de 10% y el de R.D.O. de $21,0 \text{ g de } O_2 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Resultaron menores los valores de R.D.O. con cobertura, lo cual se observó anteriormente y se presenta en la Figura 30b.

4.7.2. Variaciones de la rata de difusión de oxígeno para el suelo "Margot"

Los valores de rata de difusión de oxígeno observados para el suelo "Margot" se presentan en el Cuadro 52 y el correspondiente

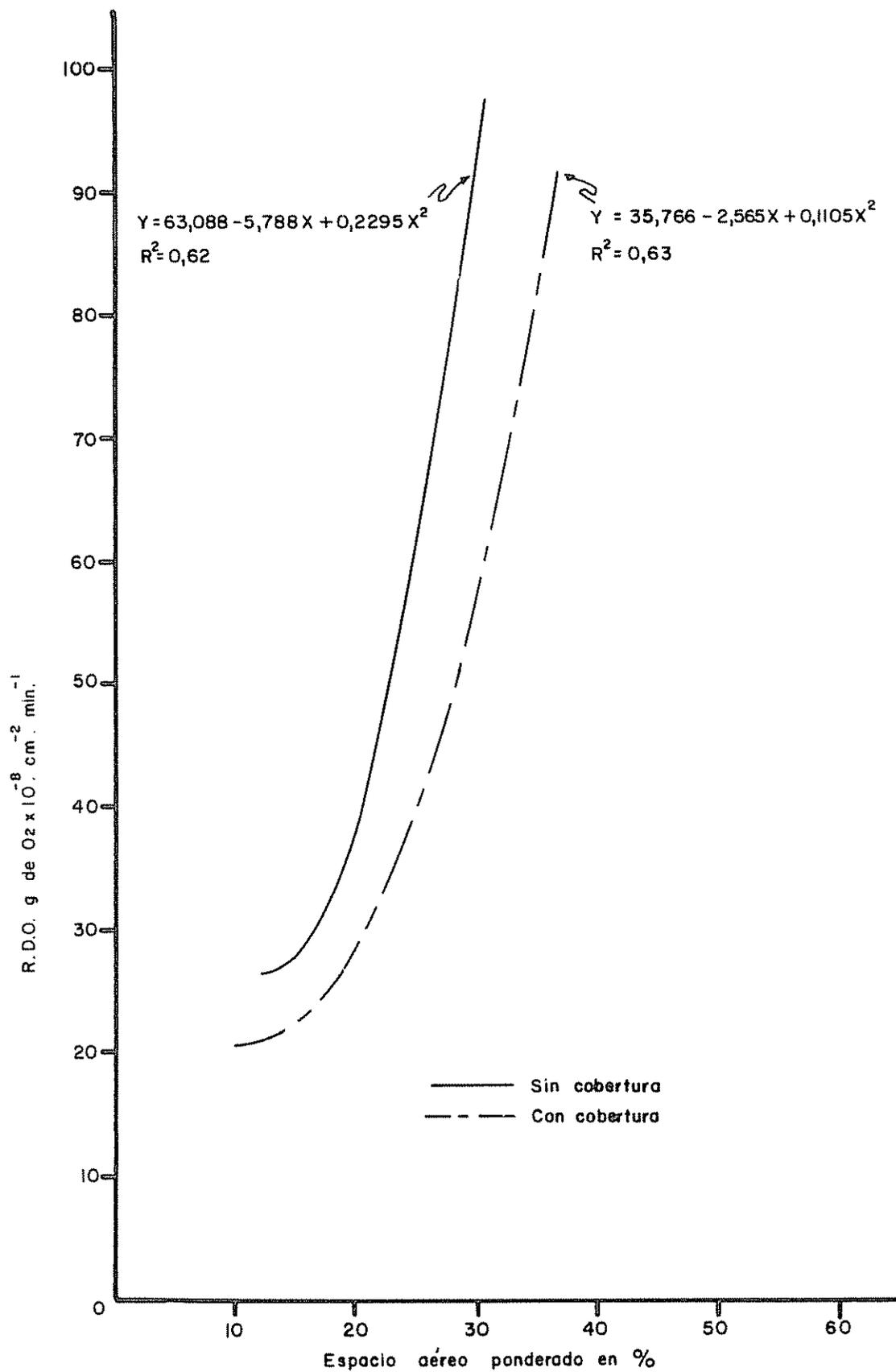


Fig.31 Relación entre espacio aéreo ponderado y la rata de difusión de oxígeno para el suelo "instituto" (Válida para valores de espacio aéreo mayores del 10%)

análisis de variancia en el Cuadro 53, de donde se puede indicar que:

La magnitud de la lámina de agua afectó ($P < 0,05$) a la R.D.O., también hubo efecto ($P < 0,05$) debido a cobertura. Además, el tiempo también afectó ($P < 0,05$) a la R.D.O.

Para el caso en que se aplicó 1 cm de lámina de agua sin cobertura de la superficie, se obtuvo una regresión cuadrática [A-2-m] con un índice de asociación de 77% entre la R.D.O. y el espacio aéreo ponderado representada en la Figura 32a, donde se observa que a mayor espacio aéreo le corresponde una mayor R.D.O. dentro de ciertos límites. De igual manera, se consiguió para el caso con cobertura de la superficie un ajuste del mismo tipo [A-2-n] con un índice de asociación de R^2 de 64%, siendo los valores de R.D.O. significativamente menores ($P < 0,05$), véase la Figura 32b. Ambas ecuaciones se presentan en el Cuadro 54.

Por otra parte se estableció relación para la R.D.O. en función del tiempo, así para el caso de una lámina de agua de 1 cm sin cobertura de la superficie se consiguió un ajuste por regresión cuadrática [A-2-0] con un índice de asociación de R^2 de 67%, la cual se presenta en el Cuadro 55 y se representa en la Figura 33a, donde se observa un decrecimiento de la R.D.O. con el tiempo hasta alcanzar un mínimo y luego alcanza un máximo, lo cual se ajusta hasta cierto grado a la distribución de espacio aéreo ponderado indicada en la Figura 26a.

Para el caso de una lámina de 1 cm cuando se cubrió la superficie, el por ciento de asociación fue bajo de R^2 de 44% (Cuadro 55). En la Figura 33b, se observa que la R.D.O. crece con un aumento del

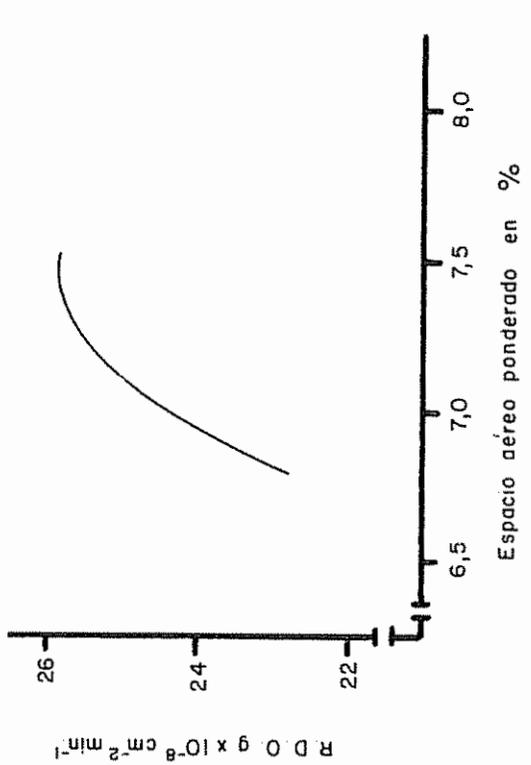
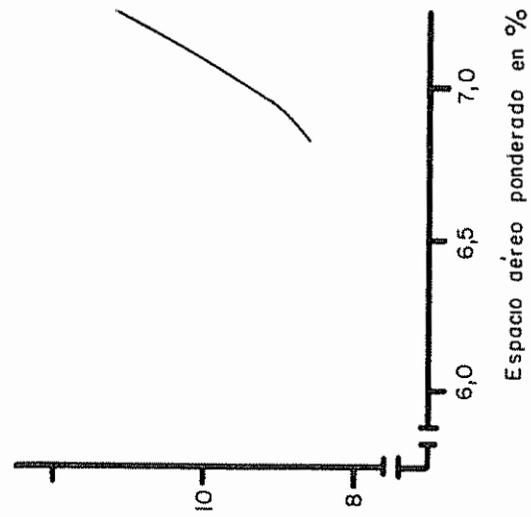
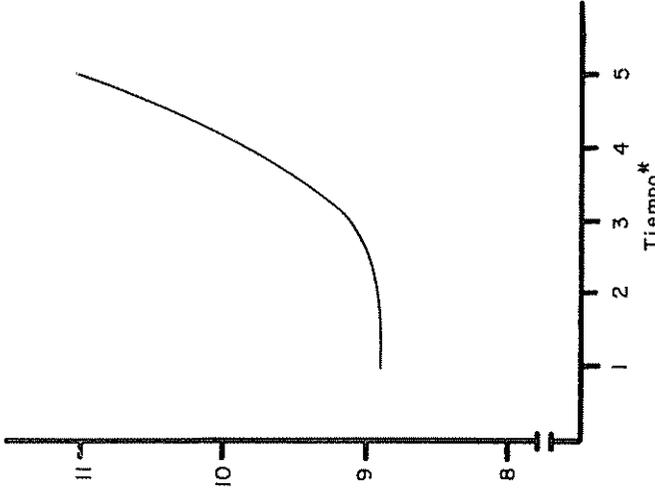
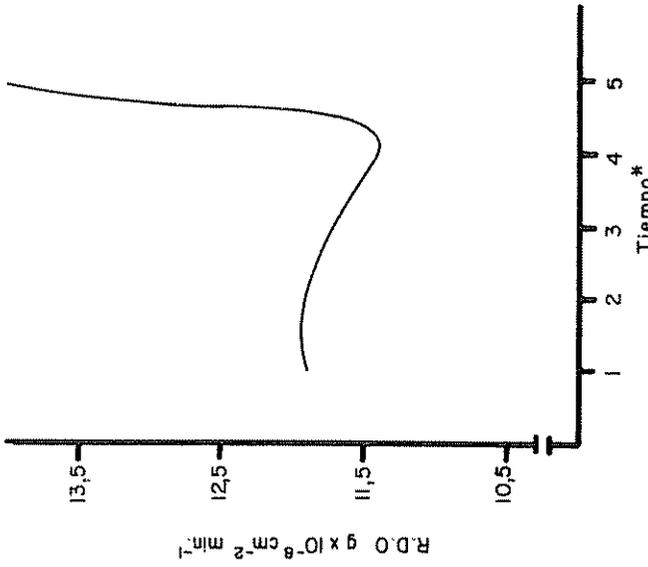
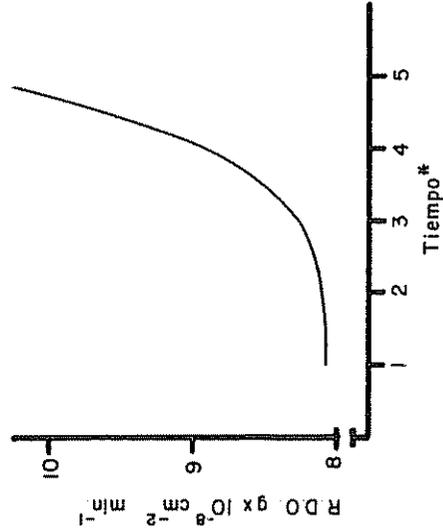


Fig.32 Variación de la R.D.O. en función del espacio aéreo ponderado para el suelo "Margot" Franco Arcilloso



33a Para una lámina de agua de 1 cm, sin cobertura de la superficie. Estimada mediante la ecuación(A-2-o)R²=0,67

33b Para una lámina de 1cm, con cobertura de la superficie. Estimada mediante la ecuación(A-2-p)R²=0,44



*Tiempo 1 2 3 4 5
Minutos 1 6 36 216 1296

Fig.33 Variación de la rata de difusión de oxígeno en función del tiempo para el suelo "Margot" Franco Arcilloso

tiempo, lo cual se explica por el comportamiento ya descrito para el espacio aéreo y mostrado en la Figura 26b.

Para el caso de una lámina de 5 cm sin evaporación de la superficie, se obtuvo un coeficiente de confiabilidad de R^2 de 74% (Cuadro 55) y se observa en la Figura 33c que la R.D.O. crece con un aumento del tiempo, lo cual era de esperarse ya que el espacio aéreo también se incrementa con el tiempo (véase la Figura 26b).

Finalmente se logró relacionar la rata de difusión de oxígeno con la tensión de humedad. Así, para el caso de una lámina de 5 cm de agua con evaporación de la superficie, se obtuvo una regresión cuadrática [A-2-r] con un índice de asociación R^2 de 59% (Cuadro 56), la cual se representa en la Figura 34a, donde se observa un ligero decrecimiento de la R.D.O. con la tensión produciéndose un mínimo y luego aumenta con un incremento en la tensión, lo cual se explica por el comportamiento de la tensión con el tiempo (Figura 29a).

Cuando la lámina aplicada fue de 1 cm sin evaporación de la superficie, se logró una regresión cuadrática [A-2-s] con un índice de asociación de R^2 de 50% (Cuadro 56), la cual se representa en la Figura 34b, donde se observa que la R.D.O. crece con un aumento de la tensión; explicándose por el aumento de la tensión con el tiempo (Figura 29b) y el crecimiento de la R.D.O. con el tiempo (Figura 33b).

Para el caso de una lámina de agua de 5 cm sin evaporación de la superficie, se obtuvo un ajuste mediante la ecuación cuadrática [A-2-t] con un índice de asociación de R^2 de 73% (Cuadro 54) representada en la Figura 34c donde la R.D.O. crece con un aumento en la

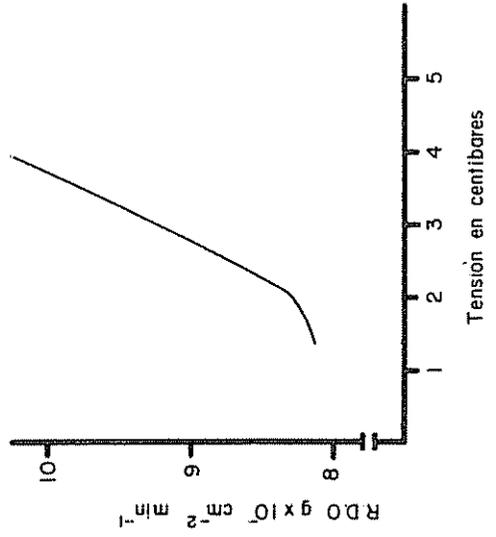
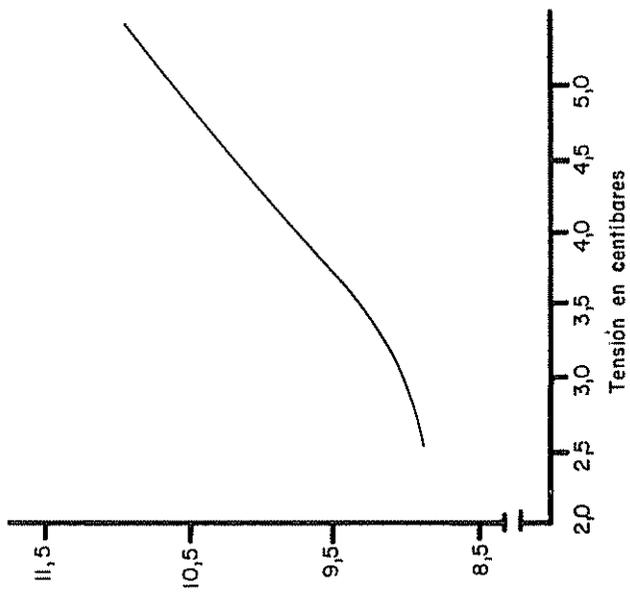
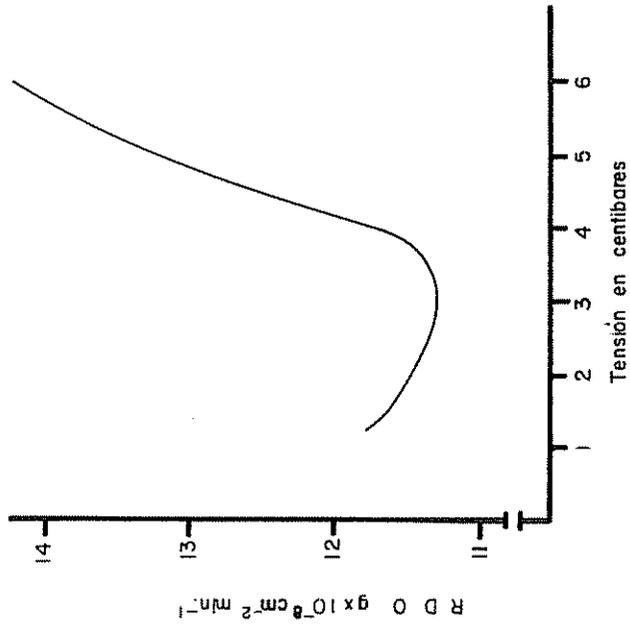


Fig.34 Variación de la R.D.O. en función de la tensión para el suelo "Margot" Franco Arcilloso

tensión, lo cual se explica por el aumento de la tensión con el tiempo (Figura 29b) y también de la R.D.O. con el tiempo (Figura 33c).

4.8. Efecto de una lluvia de 1 cm de lámina sobre las condiciones de humedad, y de aireación del suelo "Margot"

4.8.1. Características de las lluvias

En vista de que se imposibilitó la aplicación del tratamiento de 10 cm de lámina de agua para el suelo "Margot", se trató en su lugar de estudiar el efecto de una lluvia de 1 cm sobre la humedad volumétrica del suelo, el espacio aéreo y la rata de difusión de oxígeno.

Así, se logró conseguir tres lluvias de 1 cm de lámina cada una, cuyas características de intensidad y duración se dan en el Cuadro 57 y se representan en la Figura 35. Se observa que las lluvias 1, 2, 3 como las hemos denominado, presentaron duraciones diferentes, a saber: 75, 70 y 55 minutos respectivamente. Además presentan diferencias en cuanto a la intensidad, así la lluvia 1 presentó las mayores intensidades en los primeros 15 minutos, luego alcanzó un mínimo y en los últimos 5 minutos aumento de nuevo. La lluvia 2 alcanza las máximas intensidades en los primeros 10 minutos, luego decrece hasta alcanzar un mínimo a los 15 minutos manteniéndose constante hasta los 40 minutos, a partir de donde aumenta progresivamente hasta los 70 minutos. La lluvia 3, presentó las máximas intensidades entre los 20 minutos y 25 minutos, decrece y se da un mínimo a los 30 minutos para alcanzar de nuevo un máximo a los 5 minutos y finalmente decae hasta los 55 minutos. Las intensidades medias fueron de 8,0 mm/hora, 8,6 mm/hora y 10,9 mm/hora respectivamente.

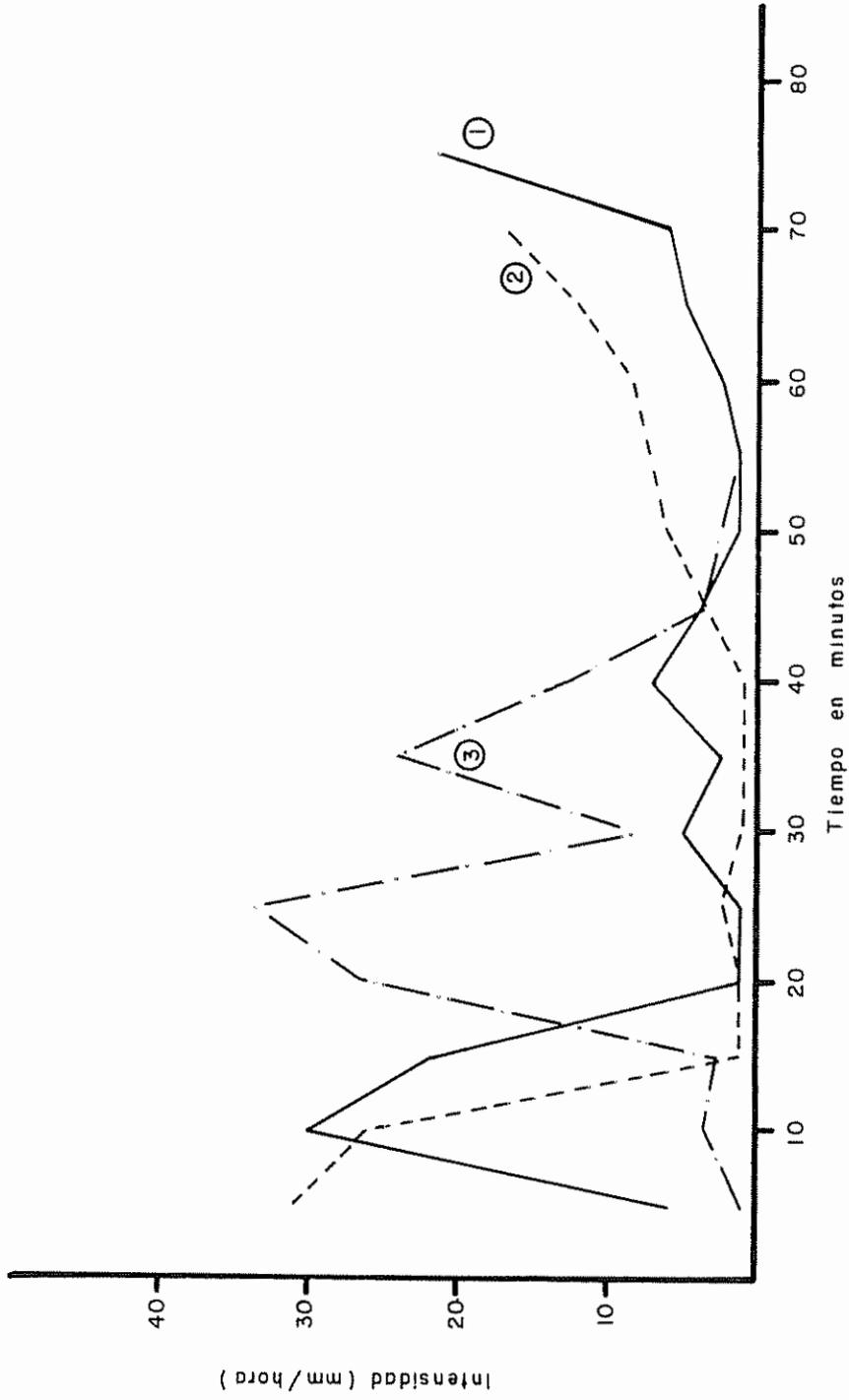


Fig.35 Intensidades de las 3 lluvias de 1cm de lámina de las cuales se estudió su efecto sobre el contenido de humedad, el espacio aéreo y la R.D.O. en el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

Para fines de considerar su efecto sobre las variables contenido de humedad, espacio aéreo y rata de difusión de oxígeno, se hizo abstracción de las diferencias señaladas anteriormente y se les consideró como tres repeticiones de una lluvia de 1 cm.

4.8.2. Variaciones de humedad por efecto de la lluvia

En el Cuadro 58 se presentan los resultados de humedad volumétrica y en el Cuadro 59 el análisis de variancia, donde se observa que:

A juzgar por los valores de humedad volumétrica hubo efecto ($P < 0,01$) de bloque o de repetición sobre esta variable, lo cual era de esperarse dadas las diferencias en la intensidad y duración de las lluvias consideradas. Por otra parte se observó efecto ($P < 0,01$) de bidos al tiempo y a la profundidad ($P < 0,01$).

No se consideró conveniente estudiar tendencias de la humedad volumétrica en función del tiempo y de la profundidad, dadas las diferencias en las lluvias consideradas. Sin embargo, se puede afirmar de manera cualitativa que la redistribución de humedad (véase el Cuadro 58) es bastante semejante a la resultante de aplicar una lámina de agua de 1 cm (véase el Cuadro 9 y la Figura 19a), a excepción de que no hay evidencias sobre si la lluvia dio lugar con el tiempo a un incremento de la humedad por encima de los 20 cm de profundidad.

4.8.3. Variaciones de espacio aéreo por efecto de la lluvia

Los resultados de espacio aéreo se presentan en el Cuadro 58 y el correspondiente análisis de variancia en el Cuadro 60 en donde se observa que:

Con base a los valores de espacio aéreo se puede afirmar que hubo efecto ($P < 0,01$) de bloque o de repetición sobre esta variable, lo cual se explica por la misma razón ya anotada en el caso de la humedad volumétrica. Además se observó efecto ($P < 0,01$) debido al tiempo, a la profundidad ($P < 0,01$) y a la interacción tiempo-profundidad ($P < 0,01$); estos efectos también se encontraron cuando se aplicó la lámina de agua de 1 cm. Al igual que en el caso de la humedad, no se estudiaron tendencias; pero se puede señalar que la distribución de espacio aéreo sigue un patrón semejante al mostrado en el Cuadro 8 para una lámina de agua de 1 cm.

Así, se observa que los mínimos de espacio aéreo se producen en la capa más superficial de suelo (0 a 2 cm) excepto para los 216 y 1296 minutos cuando el mínimo ocurre en la capa de 2 a 4 cm coincidiendo con el máximo de humedad (véase los Cuadros 9 y 58), lo cual probablemente se debió a pérdidas de agua por evaporación de la capa superficial y no a redistribución dado que ésta es muy lenta en este suelo.

4.8.4. Variaciones de la R.D.O. por efecto de la lluvia

Los valores promedios de rata de difusión de oxígeno se presentan en el Cuadro 58 y el análisis de variancia en el Cuadro 61, donde se observa que:

Hubo efecto ($P < 0,01$) debido a bloque sobre esta variable, lo cual tiene la misma explicación dada para el caso de la humedad y del espacio aéreo. Además, no se observó efecto del tiempo sobre esta variable.

Por las razones referidas al hablar sobre la variación de humedad volumétrica, tampoco se realizó estudio de tendencia. Sin embargo se observa que los valores promedios de R.D.O. de las tres lluvias de 1 cm (Cuadro 52) tienen una variación muy similar a los correspondientes a una lámina de 1 cm de agua (Cuadro 52), coincidiendo en los primeros minutos con una reducción de la R.D.O. llegando a un mínimo a los 36 minutos, luego se incrementa ligeramente hasta los 216 minutos para finalmente decrecer hasta los 1296 minutos.

Por otra parte se observa también que la lluvia 3, la cual presentó la más corta duración y más alta intensidad fue la que originó una mayor reducción de la rata de difusión de oxígeno (véase los Cuadros 52 y 57 y la Figura 35).

5. DISCUSION

De los resultados de las características físicas de los suelos, se puede indicar que el suelo "Instituto" fase normal presenta densidad aparente baja (4) la cual según Aguirre (1) se relaciona muy bien con el alto contenido de materia orgánica, la buena porosidad y proporción de agua gravimétrica; la densidad de partículas en los primeros 16 cm es ligeramente menor al valor promedio de $2,65 \text{ g/cm}^3$ y en profundidad es moderadamente alta (4). Además el suelo "Instituto" fase normal no presenta variaciones notables en textura, siendo Franco en superficie y Franco Arcilloso en profundidad.

El suelo "Margot" fase normal tiene densidad aparente baja (4) pero ligeramente superior a la de los primeros 16 cm del suelo "Instituto" fase normal; la densidad de partículas presenta valores ligeramente menores al promedio de $2,65 \text{ g/cm}^3$ de 0 - 20 cm y moderadamente superiores por debajo de los 20 cm (4). Se observa un incremento de la densidad aparente con la profundidad, posiblemente, debido a la disminución del contenido de materia orgánica, aumento de la compactación del suelo y a la presencia de óxidos de hierro (1). De 0 - 20 cm es de textura Franco Arcilloso con un contenido moderado de arcilla de 29% a 35%, el cual se incrementa en el horizonte siguiente A_3 (20-40 cm) a 58%, siendo la textura Arcilloso, luego disminuye el contenido de arcilla hasta que se vuelve Franco Arcilloso a los 98 cm en el horizonte C_2 .

De los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración para el suelo "Instituto" fase normal, se deduce que la rata de infiltración

de 0,25 cm/min es considerada alta y corresponde a tierras clase 6 de la clasificación con fines de riego del Bureau of Reclamation (92). Por otra parte supera al rango de valores señalado como alto según la clasificación hidrológica (66). Con relación a la infiltración acumulada se ajustó bien al modelo logarítmico desarrollado por Kostyakov (49).

El suelo "Margot" fase normal tiene una rata de infiltración de 1,5 cm/hora considerada ligeramente baja y corresponde a tierras clase 2 según el Bureau of Reclamation (92) y es alta según la clasificación hidrológica (49). La rata de infiltración del suelo "Margot", resultó 10 veces menor que la del suelo "Instituto" y el grado de ajuste a la ecuación logarítmica también fue menor, lo cual probablemente se debe a que este suelo presenta un estrato arcilloso de los 20 a los 40 cm y ha sido comprobado por Miller y Gardner (64) que ninguna de las ecuaciones de infiltración funciona bien en suelos estratificados. Como consecuencia este suelo presentó una redistribución de humedad mucho más lenta.

Por otra parte, vale destacar que la zona estudiada de la serie "Margot" fase normal tiene una rata de infiltración mucho más baja que las obtenidas para estudios en otras áreas del mismo suelo conducidos por Garay (33).

Se puede apreciar de las variaciones de humedad volumétrica que el contenido de humedad para dos profundidades consideradas (1 y 3 cm) y en función del tiempo no siempre se ajustó al modelo logarítmico reportado por varios autores (68, 74, 96) para suelos protegidos de

la evaporación. Así, para el suelo "Instituto" de los seis casos estudiados, sólo tres ajustaron al modelo logarítmico y los otros tres a un modelo cuadrático (Cuadro 15). En el caso del suelo "Margot", de los cuatro casos estudiados sólo uno ajustó al modelo logarítmico y tres ajustaron con mayor grado de confiabilidad al modelo cuadrático (Cuadro 21). Sin embargo, generalizando, el contenido de humedad decrece con un aumento en el tiempo. Las diferencias anotadas quizás encuentren explicación en que por una parte, el modelo logarítmico en cuestión fue desarrollado para períodos de tiempo largos expresado en términos de días, no funcionando bien para períodos cortos de tiempo y por la otra, que no funciona para suelos estratificados, como lo es el caso del suelo "Margot". Además, se ha encontrado que el contenido de humedad volumétrica precedente influye en la redistribución de humedad, especialmente en el caso del suelo "Margot" (véase el Cuadro 15).

Con relación a la distribución de agua durante la infiltración con el tiempo y la profundidad, los resultados obtenidos concuerdan con lo encontrado por Bodman y Colman (9), especialmente los del suelo "Instituto". Así, a 1 min del cese de la infiltración la capa de los primeros 3 cm de suelo resultó con el máximo contenido de humedad y para el caso de láminas de agua de 10 cm casi alcanzó el estado de saturación (Figuras 14 a la 17). El flujo de agua por debajo de esta zona saturada ocurrió en una zona con menor contenido de humedad, equivalente a la zona de transmisión de dichos autores terminando en un frente de humedecimiento; siendo la zona de flujo más importante la de

trasmisión, que se extendió con un aumento en el tiempo de infiltración (Figuras 14a, 14b y 15) correspondientes a tiempos de infiltración de 0,75 y 11 minutos respectivamente). Luego, el contenido de humedad disminuye hasta un mínimo y el frente de humedecimiento hace que éste aumente en esta zona denominada humedecida en contraste con la de trasmisión. La zona humedecida termina abruptamente en el frente húmedo.

Los resultados obtenidos referentes a la redistribución de agua, coinciden con los obtenidos por Youngs (100) para material sintético en ensayo protegido de la evaporación, con los de Rubin et al (81) para suelos y con los de Thames y Evans (91) para suelo en columnas de vidrio.

Por otra parte se obtuvo una expresión cuadrática múltiple para la predicción de la humedad volumétrica en función de la lámina de agua, el tiempo, la profundidad y la humedad volumétrica precedente (véase el Cuadro 15), no encontrándose trabajos en la literatura revisada que presenten relaciones de este tipo, la cual indudablemente explica de manera más clara el proceso complejo y dinámico de la redistribución de agua en el suelo.

Durante la redistribución de agua no se observó en ninguno de los dos suelos efecto significativo, debido a la cobertura de la superficie, aunque no dejan de haber diferencias.

Por otra parte se encontró que el contenido de humedad aumenta con un incremento de la lámina de agua para el caso del suelo "Instituto", lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Rubin et al (81), Youngs (101) y Budagovski citado por Rubin et al (81) para el

caso de aplicación de diferentes intensidades de lluvia (equivalente a diferentes láminas) y además coincide con la teoría de flujo de humedad desarrollada por Rubin y Steinhardt (80); sin embargo algunos autores (62, 78) señalan lo contrario.

Para el suelo "Margot" con una redistribución lenta debido a un extracto arcilloso de los 20 cm a los 40 cm, se hace necesaria la consideración de la humedad precedente del suelo para la predicción de humedad después de aplicar una lámina de agua, ya que la confiabilidad aumentó en un 7% y un 5% cuando no se cubrió la superficie y cuando estuvo cubierta respectivamente.

Se encontró una reducción del espacio aéreo significativamente mayor en los primeros 3 cm de la capa de suelo de 20 cm estudiada, lo cual está de acuerdo con los resultados de Nielsen, Kirkham y Wijk (67) para suelos franco-arcillosos y franco-limosos; con los de Kirillina (48) para suelos arcillosos y franco-arcillosos y con los de Finkel y Nir (28) para suelos arcillosos.

Se introdujo el concepto de "espacio aéreo ponderado" (en función de la profundidad de cada subcapa de suelo considerada) para evaluar el estado de aireación del suelo. Se obtuvo una expresión cuadrática de segundo orden para el espacio aéreo ponderado en función del tiempo y de la lámina. Así, se encontró que el espacio aéreo ponderado disminuye con un incremento en la lámina de agua y aumenta con el tiempo. El espacio aéreo resultó menor del 10% señalado como límite crítico general para la aireación de la zona radical de las plantas (39, 89) durante los primeros 36 minutos a lo largo de los 20 cm cuando

se aplicó una lámina de 10 cm de agua para el suelo "Instituto", atribuyéndose la corta duración de la zona de barrera a la rápida redistribución de agua debida a la alta infiltración que presentó este suelo.

El espacio aéreo para el suelo "Margot" resultó menor del 10% durante todo el período de observación (21 horas y 36 minutos) en un espesor mayor de los 20 cm, debido a que casi alcanzó el estado de saturación por efecto de la acumulación de agua por encima del estrato arcilloso.

Luego, se deduce que el espesor y la duración de la zona de barrera aumentan con un incremento en la lámina de agua aplicada. Además resultan mayores el espesor y la duración para el caso de suelos estratificados, lo cual está de acuerdo con la teoría de Van Bavel (94) sobre aireación, según la cual ésta depende principalmente de la profundidad del suelo activo y de las propiedades de la parte más profunda de la capa; considerándose entonces que el parámetro "espacio aéreo ponderado" permite evaluar en mejor forma el estado de aireación de los suelos ya que viene dado en función del espesor y de la magnitud del espacio aéreo de cada subcapa considerada.

Por otra parte se observa que en el caso del suelo "Margot" de redistribución lenta, se hace necesario en mayor grado la consideración del espacio aéreo precedente como factor de ajuste para la predicción de los cambios en espacio aéreo, ya que la confiabilidad aumentó en un 12% cuando no estuvo protegida la superficie y en un 5% cuando se cubrió. Así, al igual que en el caso de la humedad se obtuvo

mediante análisis de regresión múltiple una expresión analítica para el espacio aéreo como una función de la lámina de agua, del tiempo, de la profundidad y del espacio aéreo precedente (véase el Cuadro 22).

La rata de difusión de oxígeno para el caso del suelo "Instituto" no presentó diferencias significativas debido a las diferentes láminas de agua aplicadas, lo cual probablemente se debe a que éste suelo presentó una redistribución rápida de humedad; observándose sin embargo, decrecimiento del espacio aéreo con el aumento de la lámina de agua, ya que ésta da lugar a un mayor contenido de humedad. Además, independientemente de la lámina de agua la R.D.O. tiende a decrecer con el tiempo hasta cierto punto alcanzando un mínimo y luego aumenta, lo cual está de acuerdo con los resultados de Erickson y Van Doren (27) para experiencias de riego de algodón (Gossypium herba-ceum), y donde la R.D.O. fue medida mediante la técnica del electrodo de platino.

Por otra parte la R.D.O. aumenta con un incremento en el espacio aéreo ponderado según un modelo de regresión cuadrática de mediana confiabilidad. Se obtuvo un valor mínimo de R.D.O. de $26 \text{ g} \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ para un espacio aéreo ponderado del 12% cuando no se cubrió la superficie y una R.D.O. de $20 \text{ g} \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ para un espacio aéreo de 10% cuando estuvo cubierta, valores que resultan ligeramente limitantes para los cultivos en general.

Para el caso del suelo "Margot", la magnitud de la lámina de agua si dio lugar a diferencias significativas en la rata de difusión de oxígeno, lo cual probablemente se explique por una mayor reducción del espacio aéreo durante más tiempo debido a la acumulación de agua por

encima de los 20 cm. Así, la R.D.P. fue menor de $10 \text{ g} \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ para una lámina de 1 cm con cobertura y sin cobertura durante 216 minutos y para una lámina de 5 cm varió de 8 a $10 \text{ g} \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-2}$ de uno a 1.296 minutos. Además, el comportamiento de la R.D.O. con el tiempo estuvo regida por una regresión cuadrática y la tendencia es la de aumentar con el tiempo, lo cual se explica porque el espacio aéreo tiende a aumentar con el tiempo especialmente para el caso con cobertura de la superficie.

En General la R.D.O. aumenta con un incremento en la tensión de humedad, lo cual se debe al incremento en el espacio aéreo por disminución del contenido de humedad, coincidiendo con lo obtenido por Legarda (51) y está en desacuerdo con los resultados de Stolzy y Letey (87) y Gavande (35) quienes encontraron que la R.D.O. aumenta rápidamente con la succión máxima del suelo, llega a un máximo y después decrece.

En relación al efecto de la lluvia de 1 cm de lámina, se observaron variaciones cualitativamente iguales en humedad volumétrica, espacio aéreo y en rata de difusión de oxígeno que las obtenidas cuando se aplicó una lámina de agua de 1 cm al suelo "Margot"; habiéndose explicado las razones de tales variaciones anteriormente.

Finalmente se puede señalar que suelos con una rata de infiltración de 1,5 cm/hora o menores presentan problemas de aireación suficiente debidos a lluvias de 10 mm o mayores. Luego se puede destacar que es perfectamente factible la planificación de experimentos tendientes a establecer relaciones entre la rata de infiltración y el

espacio aéreo diario (promedio de 3 ó 4 observaciones) para suelos diferentes a fin de determinar familias de curvas, con las tendencias de recuperación del espacio aéreo y de la rata de difusión de oxígeno en función de la rata de infiltración en cm/hora y del tiempo en días, lo cual sería de mucha utilidad en prácticas de riego y de drenaje de tierras agrícolas.

6. CONCLUSIONES

1. En las capas superficiales del suelo y durante 1296 minutos de redistribución no funciona bien la expresión logarítmica $y = a \cdot x^b$ que expresa el contenido de humedad en función del tiempo, ajustándose mejor en muchos casos un modelo cuadrático $y = a + b_1x + b_{11}x^2$.
2. Los contenidos de humedad volumétrica precedente y de espacio aéreo precedente influyen en la redistribución de humedad y de espacio aéreo ligeramente para el caso de suelos de perfil uniforme y fuertemente en suelos estratificados.
3. La cobertura de la superficie del suelo no afecta significativamente a la redistribución de agua en el suelo, durante los primeros 1296 minutos, aunque se observa tendencia a disminuir en los valores de humedad cuando estuvo cubierta.
4. El contenido de humedad es mayor durante la redistribución con un incremento en la lámina de agua aplicada al suelo.
5. El contenido de humedad volumétrica y el espacio aéreo durante la redistribución, son afectados por la lámina de agua, el tiempo, la profundidad y la humedad volumétrica y el espacio aéreo precedentes respectivamente, explicándose las variaciones mediante una expresión cuadrática de cuarto orden, siendo esto de suma utilidad para las prácticas de riego y drenaje de tierras agrícolas.

6. El parámetro físico "espacio aéreo ponderado" permite evaluar en forma más consistente el estado de aireación de un suelo, en lugar del espacio aéreo promedio para una profundidad considerada.
7. En general los máximos en contenido de humedad y los mínimos de espacio aéreo durante la redistribución se producen en los primeros 3 cm del suelo para láminas de 1 cm de agua; son iguales en los primeros 3 cm en los últimos 3 cm de la capa de 20 cm cuando se aplican láminas de 5 cm de agua y se dan en los últimos 3 cm cuando las láminas aplicadas alcanzan los 10 cm.
8. El espesor y la duración de la zona de barrera aumentan con un incremento en la lámina de agua aplicada y resultan mayores en el caso de suelos estratificados, así para el suelo "Margot" el espacio aéreo y la rata de difusión de oxígeno fueron limitantes para los cultivos.
9. La cobertura de la superficie del suelo disminuye la rata de difusión de oxígeno y en el suelo de perfil uniforme no se vio afectada significativamente por la lámina de agua; pero en el caso del suelo estratificado disminuye al aumentar la lámina de agua.
10. La rata de difusión de oxígeno aumenta con un incremento en el espacio aéreo y también con un aumento en el tiempo y en la tensión de humedad.
11. Las variaciones de humedad volumétrica, espacio aéreo y de R.D.O. debidas al efecto de una lluvia de 1 cm, fueron aparente-

mente iguales a las producidas por una lámina de agua de 1 cm aplicada al suelo.

12. Se hace necesario la ejecución de experimentos con el objeto de determinar las tendencias del espacio aéreo (%) y de la R.D.O. ($\text{g} \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$) en función de la rata de infiltración (cm/h) y del tiempo (días) para suelos diferentes.

7. RESUMEN

Se estudió el proceso de infiltración y de redistribución en el suelo de diferentes aplicaciones de agua y su efecto sobre las condiciones de aireación en las capas superficiales (primeros 20 cm) de dos suelos (con cobertura y sin cobertura de la superficie) dentro de del área del IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. Para ello se trabajó in situ con dos suelos, uno de la serie "Instituto" (Typic Dystropept, fine mixed isohyperthermic) y otro de la serie "Margot" (Typic Dystropept, fine, mixed isohyperthermic).

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con 3 tratamientos y 5 repeticiones. Los tratamientos consistieron en 3 aplicaciones de agua de 1 cm, 5 cm y 10 cm; pero para el suelo "Margot" solamente se aplicaron los 2 primeros y se estudió el efecto de una lluvia de 1 cm. El estudio demostró que la redistribución de humedad y la variación de espacio aéreo vienen dadas mediante una expresión cuadrática múltiple en función de la humedad precedente y del espacio aéreo precedente respectivamente, de la aplicación de agua, del tiempo y de la profundidad. Además, demostró que la cobertura de la superficie del suelo durante los primeros 1.296 minutos no afecta la redistribución de agua en el suelo; pero disminuye la rata de difusión de oxígeno. Por otra parte el espesor y la duración de la zona de barrera aumentan a mayor lámina de agua aplicada, así se encontró que para un suelo (Instituto) fue insignificante para láminas de agua de 1 cm y de 5 cm y para 10 cm tuvo un espesor de 20 cm y una duración de 36 minutos y para el caso del suelo estratificado (Margot), el

espesor resultó mayor de 20 cm y la duración mayor de 1.296 minutos, siendo el espacio aéreo y la R.D.O. limitantes para los cultivos.

Se demostró que la rata de difusión de oxígeno aumenta con un incremento en el espacio aéreo, en el tiempo y en la tensión de humedad. Además, aparentemente una lluvia de 1 cm de lámina dio lugar al mismo efecto producido por una lámina de 1 cm sobre la redistribución de humedad y sobre las variaciones de espacio aéreo y de rata de difusión de oxígeno de un suelo.

Por otra parte se demostró la necesidad de realizar experimentos para determinar las tendencias del espacio aéreo y de la R.D.O. en función del tiempo y de la rata de infiltración.

7a. SUMMARY

The process of infiltration and redistribution in the soil of different applications of water were studied in relation to their effect on aeration conditions in the surface layers (first 20 cm) of two soils, with and without surface cover, found on the grounds of IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. The two soils were studied in the field; one is of the "Instituto" series (Typic Dystropept, fine, mixed isohyperthermic) and the other of the "Margot" series (Typic Dystropept, fine, mixed, isohyperthermic).

A random block experimental design was used with 3 treatments and 5 repetitions. The treatments consisted of 3 applications of water of 1 cm, 5 cm and 10 cm. However, only the first two were applied to the "Margot" soil, in addition to the effect of 1 cm of rain. The study showed that moisture redistribution and air-space variation can be expressed by a multiple quadratic function of previous soil moisture, previous air-space, height of water application, time and depth. In addition, it was shown that soil cover during the first 1,296 minutes does not affect water redistribution in the soil, but reduces oxygen diffusion rate. On the other hand the thickness and duration of the barrier zone increases with greater water application, but for one soil (Instituto) they were insignificant for water applications of 1 cm and 5 cm. For an application of 10 cm they were 20 cm and 26 minutes respectively. For the stratified soil (Margot), the thickness was greater than 20 cm and the duration greater than 1,296

minutes. During this time the air-space and oxygen diffusion rate were limiting for crops.

It was shown that the oxygen diffusion rate increases with an increase in air-space, time and moisture tension. In addition, apparently a rain of 1 cm had the same effect as an application of 1 cm, on moisture redistribution, air-space variation and soil oxygen diffusion rate.

On the other hand, a need was shown for experiments to determine the trends of air-space and oxygen diffusion rate in relation to soil infiltration rate and time.

8. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE ASTE, V. Estudio de los suelos del área del Centro de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 139 p.
2. ANDERSON, B. C. A method of determining soil moisture content based on the variation of the electrical capacitance of soil of low frequency, with moisture content. Soil Science 56: 29-41. 1943.
3. BAKKER, J. W. y HIDDING, A. P. The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soils. Netherlands Journal of Agricultural Science 18:37-48. 1970.
4. BAVER, L. D. Soil physics. 3rd. ed. New York, Wiley, 1968. 487 p.
5. BERTRAND, A. R. Rate of water intake in the field. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 202-208.
6. BLACK, T. A., GARDNER, W. R. y THORTELL, G. W. The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bar soil. Soil Science Society of America. Proceedings 33: 655-660. 1969.
7. BLAKE, C. R. Particle density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 371-373.
8. _____. Bulk density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 374-390.
9. BODMAN, G. B. y COLMAN, E. A. Moisture and energy conditions during downward entry of water into soils. Soil Science Society of America. Proceedings 8:116-122. 1943.
10. BOUYOUCOS, C. J. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal 43(9): 434-438. 1961.
11. BOYTON, D. Y COMPTON, O. C. Normal season changes of oxygen and carbon dioxide percentages in gas from the larger pores of three orchard soils. Soil Science 57:107-117. 1944.
12. BUCKINGHAM, E. Contribution to our knowledge of the aeration of soils. U.S. Department of Agriculture. Division of Soils. Bulletin nº 15. 1904. 51 p.

13. BUDOWSKI, G. y SCHREUDER, G. F. The climate at Turrialba. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Communications from Turrialba nº 68. 1961. 10 p.
14. CALL, F. Soil fumigation. V. Diffusion of ethylene dibromide through soils. Journal of the Science of Food and Agriculture 8:143-150. 1957.
15. CLINE, M. G. Methods of collecting and preparing soil samples. Soil Science 59(1):3-5. 1943.
16. COSTA RICA. INSTITUTO GEOGRAFICO. Mapa Topográfico. Hoja: Tucurrique. San José, 1963. Escala 1:50.000.
17. CURRIE, J. A. Gaseous diffusion in porous media. I. A non-steady method. British Journal of Applied Physics 11:314-324. 1960.
18. _____. Gaseous diffusion in porous media. III. Wet granular material. British Journal of Applied Physics 12:275-281. 1961.
19. DANFORS, L. E. A study of soil aeration during drainage using the platinum microelectrode technique. Dissertation Abstracts 22(5):1325-1326. 1961.
20. DASBERG, S. y BAKKER, J. W. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. Agronomy Journal 62:689-692. 1970.
21. DAVIDSON, J. M. et al. Field measurement and use of soil water properties. Water Resources Research 5(6):1312-1321. 1969.
22. DAY, P. R. 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 VRIES, D. A. Some remarks on gaseous diffusion in soils. In International Congress of Soil Science, 4th. Transactions 2:41-44. 1950.
24. DOMBY, C. W. y KOHNKE, H. The influence of soil crust on gaseous diffusion. Soil Science Society of America. Proceedings 20:1-5. 1956.
25. DONDOLI, C. y TORRES, M. J. Estudio agroecológico de la región Oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1964. 180 p.

26. ERICKSON, A. E. Short-term oxygen deficiencies and plant responses. In Drainage for efficient crop production conference, Chicago, Ill., 1945. Conference Proceedings. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, 1965. pp. 11-12.
27. _____ y VAN DOREN, D. M. The relation of plant growth and yield to soil oxygen availability. In International Congress of Soil Science, 7th. Transactions 4:428-434. 1960.
28. FINKEL, H. J. y NIR, D. Gravity v. s. sprinkling methods of irrigation: a comparative study. Soil Science 88:16-24. 1959.
29. FORSYTHE, W. M. Aireación del suelo. Lima, IICA, Zona Andina. s.f. 16 p.
30. _____. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del hidrómetro. Agronomía (Perú) 33(1):16-27. 1966.
31. _____. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica) 4:81-94. 1967.
32. _____. Densidad, porosidad, empaquetamiento y estructura. In Física de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1970. 32 p.
33. GARAY, A. F. Aireación del suelo en un campo de café. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 95 p.
34. GARDNER, W. H. Water content. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 82-127.
35. GAVANDE, S. A. Influencia de la succión del suelo en la porosidad de aireación y en la difusión de oxígeno en el café cultivado en seis suelos de Costa Rica. Turrialba 19:39-48. 1969.
36. GRABLE, A. R. y SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. Soil Science Society of America. Proceedings 32:180-186. 1968.
37. GRADWELL, M. W. A laboratory study of the diffusion of oxygen through pasture topsoils. New Zealand Journal of Science 4:250-270. 1961.

38. GRADWELL, M. W. Soil physical conditions of winter and the growth of rye grass plants. I. The effects of compaction and puddling. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 8:238-269. 1965.
39. GRINGRISH, J. R. y RUSSELL, M. B. Effect of soil moisture tension and osmotic stress on root growth. *Soil Science* 84:185. 1957.
40. HARDY, F. The soils of the I.A.I.A.S. area, (Turrialba, Costa Rica). Turrialba, Inter-American Institute of Agricultural Science, 1961. 75 p.
41. _____. Soil sampling: a review of some recent literature. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1962. 4 p.
42. HOLDRIDGE, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1959. Escala 1:1.000.000.
43. ISRAELSEN, O. W. y HANSEN, V. E. Principios y aplicaciones del riego. 2a. ed. Barcelona, Reverté, 1965. 396 p.
44. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. CENTRO TROPICAL DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION. Archivos de la Sección de Climatología. Turrialba, Costa Rica, 1970. p.irr.
45. _____. Resumen de datos meteorológicos anuales. Turrialba, Costa Rica, 1970. p.irr.
46. JAMISON, V. C. The significance of air adsorption by soils colloids in pycnometric measurements. *Soil Science Society of America. Proceedings* 17:17-19. 1953.
47. KEMPER, W. D. y AMENIYA, M. Alfalfa growth is affected by aeration and soil moisture stress under flood irrigation. *Soil Science Society of America. Proceedings* 21:657-660. 1964.
48. KIRILLINA, A. V. Change in water physical properties of Chernozems during irrigation. *Soviet Soil Science* 4:503-508. 1968.
49. KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying amelioration. In *International Congress of Soil Science Society Russian, 6th. Transactions Part A:17-21. 1932.* (Also *Pochvedenie* n° 3. 1932).
50. KUMMER, F. A. y COOPER, A. W. The dynamic properties of soil. Soil porosity determination with the air pressure pycnometer as compared with the tension method. *Agricultural Engineering* 26(1):31-33. 1945.

51. LEGARDA BURBANO, L. E. Influencia de la succión máxima del agua y del espacio aéreo del suelo sobre la producción de la variedad "27-R" de frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 120 p.
52. LEMON, E. R. y ERICKSON, A. E. The measurement of oxygen diffusion in the soil with the platinum microelectrode. Soil Science Society of America. Proceedings 16(2):160-163. 1952.
53. _____ y ERICKSON, A. E. Principle of platinum microelectrode as a method of characterizing soil aeration. Soil Science 79:383-392. 1955.
54. _____ y KRISTENSEN, J. An edaphic expression of soil structure. In International Congress of Soil Science, 7th. Transactions 1:232-240. 1960.
55. _____ y WIEGAND, C. L. Soil aeration and plant root relation. II. Root respiration. Agronomy Journal 54:171-175. 1955.
56. LETEY, J. et al. Effect of temperature on oxygen diffusion rates and subsequent shoot growth, and mineral content of two plant species. Soil Science 92:314-321. 1961.
57. _____ et al. Influence of the oxygen diffusion rate on sunflower growth at various soils and air temperatures. Agronomy Journal 54:316-319. 1962.
58. _____ y STOLZY, L. H. Measurement of oxygen diffusion rate with the platinum microelectrode. I. Theory and equipment. Hilgardia 35(20):545-554. 1964.
59. _____, STOLZY, L. H. y KEMPER, W. D. Soil aeration. In Hagan, R. M., Haise, H. y Edmister, T. W., eds. Irrigation of agricultural lands. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1967. pp. 941-949. (Agronomy nº 11).
60. MARSH, A. W. Questions and answers about tensiometers and their use. University of California. Agricultural Extension Service. Publication AXT-92. 1963. 16 p.
61. MARSHALL, T. L. The diffusion of gasses through porous media. Journal of Soil Science 10:79-82. 1959.
62. MARSHALL, T. J. y STIRK, G. B. Pressure potential of water moving downward into soil. Soil Science 68:359-370. 1949.

63. MENZEL, R. G. Elements analysis by polarography. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 879-890.
64. MILLER, D. E. y GARDNER, W. H. Water infiltration into stratified soil. Soil Science Society of America. Proceedings 26:115-119. 1962.
65. MILLINGTON, R. J. Gas diffusion in porous media. Science 130: 100-102. 1959.
66. MUSGRAVE, C. W. How much of the rain enters the soils? In U.S. Department of Agriculture. The Year Book of Agriculture, Water. Washington, D. C., U.S. Government Printing Office, 1955. pp. 151-159.
67. NIELSEN, D. R., KIRKMAN, D. y WIJK, W. R. Measuring water stored temporarily above the field moisture capacity. Soil Science Society of America. Proceedings 23(6):408-412. 1959.
68. OGATA, G. y RICHARDS, L. A. Water contents changes following irrigation of bare-field soils that is protected from evaporation. Soil Science Society of America. Proceedings 21(4):355-356. 1957.
69. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma, 1968. 60 p.
70. PENMAN, H. L. Gas and vapour movements in soil. I. The diffusion of vapours through porous solids. Journal of Agricultural Science 30:437-462. 1940.
71. PETERSSEN, S. Introduction to meteorology. 2nd. ed. New York, McGraw-Hill, 1958. 327 p.
72. REPORT OF definitions by Committee in terminology. Soil Science Society of America. Proceedings 20(3):430-440. 1956.
73. RICHARDS, E. H. Dissolved oxygen in rain-water. Journal of Agricultural Science 8:331-337. 1917.
74. RICHARDS, L. A., GARDNER, W. R. y OGATA, G. Physical processes determining water loss from soil. Soil Science Society of America. Proceedings 20:310-314. 1956.
75. RICKMAN, R. W. et al. Platinum microelectrode poisoning factors. Soil Science Society of America. Proceedings 32:204-208. 1968.

76. ROMELL, L. G. Luftväxlingen i marken som e kologish faktor. Med. Statens Skogsfarsöksanstalt 19(2):125. 1922.
77. _____. Mechanism of soil aeration (En francés). Annales Agronomiques (n.s.):373-384. 1935.
78. ROSE, C. W. Some effects of rainfall radiant drying, and soil factors on infiltration under rainfall into soils. Soil Science 13:286-298. 1962.
79. RUBIN, J. Numerical method for analyzing hysteresis-affected, post-infiltration redistribution of soil moisture. Soil Science Society of America. Proceedings 31(1):13-20. 1967.
80. _____ y STEINHARDT, R. Soil water relations during rain infiltration. I. Theory. Soil Science Society of America. Proceedings 27:246-251.
81. _____, STEINHARDT, R. y REINIGER, P. Soil water during rain infiltration. II. Moisture content profils during rains of low intensities. Soil Science Society of America. Proceedings 28(1):1-5. 1964.
82. RUSSELL, M. B. A simplified air-pycnometer for field use. Soil Science Society of America. Proceedings 14:73-76. 1949.
83. RUSSELL, E. J. y APPELYARD, A. The atmosphere of the soil: its composition and causes of variation. Journal of Agricultural Science 7:1-48. 1915.
84. SOIL MOISTURE EQUIPMENT. Operation instructions for catalog no. 270013. Soil Moisture gage. 8 p.
85. STAPLE, W. J. Hysteresis effects in soil moisture movement. Canadian Journal of Soil Science 42(2):247-253. 1962.
86. STOLZY, L. H. y LETEY, J. Measurement of the oxigen diffusion rates with the platinum microelectrode. III. Correlation of plant response to soil oxigen diffusion rates. Hilgardia 35:567-576. 1964.
87. _____ y LETEY, J. Characterizing soil oxigen conditions with a platinum microelectrode. Advances in Agronomy 16:249-279. 1964.
88. _____ et al. Root growth and diffusion rates as functions of oxigen concentration. Soil Science Society of America. Proceedings 25:463-467. 1961.

89. TAYLOR, S. A. Oxigen diffusion in porous media as a measure of soil aeration. Soil Science Society of America. Proceedings 14:55-61. 1949.
90. TAYLOR, G. S. y ABRAHAMS, J. H. A diffusion equilibrium method for obtaining soil gases under field conditions. Soil Science Society of America. Proceedings 17:201-206. 1958.
91. THAMES, J. L. y EVANS, D. D. An analysis of vertical infiltrations of water into soils columns. Water Resources Research 4(4):817-828. 1968.
92. U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR. BUREAU OF RECLAMATION MANUAL. Irrigated land use. II. Land classification. Manual de clasificación de tierras con fines de riego. Trad. del inglés de Antonio J. Estrada B. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1963 p.irr.
93. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. SOIL SURVEY STAFF. Supplement to soil classification system (7th Approximation). Washington, D. C., U.S. Government Printing Office, 1967. 204 p.
94. VAN BAVEL, C. H. M. A soil aeration theory based on diffusion. Soil Science 72:33-46. 1951.
95. _____. Gaseous diffusion and porosity of porous media. Soil Science 73:91-104. 1952.
96. WILCOX, J. C. Rate of soil drainage following an irrigation. I. Nature of soil drainage curves. Canadian Journal of Soil Science 39(1):107-119. 1959.
97. WILLEY, C. R. y TANNER, C. B. Membrane-covered electrode for measurement of oxigen concentration in soil. Soil Science Society of America. Proceedings 27:511-515. 1963.
98. _____ y TANNER, C. B. A steady-state method for laboratory measurements of oxigen diffusivity in porous materials. Soil Science Society of America. Proceedings 28:733-737. 1964.
99. YOUNGS, E. G. Redistribution of moisture in porous materials after infiltration. I. Soil Science 86:117-125. 1958a.
100. _____. Redistribution of moisture in porous materials after infiltration. II. Soil Science 86:202-207. 1958b.
101. _____. The hysteresis effect in soil moisture studies. In International Congress of Soil Science, 7th. Transactions 1:107-113. 1960.

A P P E N D I C E

Definición de términos

Se ha considerado de interés dar algunas definiciones que son de uso común en la terminología de la dinámica del agua en el suelo.

1. Infiltración

Entrada descendente de agua a través del perfil del suelo (69).

2. Velocidad de infiltración

Volumen de agua que se mueve de la superficie hacia adentro del perfil del suelo por unidad de área y tiempo. Volumen instantáneo local es el límite alcanzado cuando el área y el intervalo de tiempo se hacen pequeños. La máxima velocidad de infiltración es el ritmo de infiltración (69).

3. Rata de infiltración

Es la máxima rata a la cual un suelo, en una condición dada a un tiempo dado, puede absorber agua depositada sobre la superficie a poca profundidad, tomando precauciones de los efectos de borde o de franja. Tiene dimensiones de velocidad, $L T^{-1}$ (69).

4. Redistribución

Consiste en los cambios de humedad ocurridos después de la infiltración en función del contenido de humedad precedente del suelo, del tiempo y de la profundidad.

5. Percolación

Flujo de agua hacia abajo en suelo saturado o muy cerca de la saturación a gradientes hidráulicos de 1 ó menores (69).

Generalmente se le confunde con infiltración; pero no son términos equivalentes. La percolación, es un término cualitativo aplicado al movimiento hacia abajo del agua a través del suelo.

6. Infiltrómetro

Es un aparato que consta de dos anillos concéntricos y una escala graduada, para medición de la rata de entrada de un fluido hacia adentro de un cuerpo poroso. Ejemplo: agua hacia adentro del suelo (69).

7. Capacidad de campo

Es la cantidad de agua que permanece en un suelo bien drenado cuando la velocidad de flujo hacia abajo, dentro de un suelo no saturado, ha resultado pequeña. Esta se expresa como un porcentaje del peso del suelo secado al horno(69).

8. El fenómeno de aireación

Según el Comité de Terminología de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (69), la aireación es el proceso mediante el cual el aire y otros gases en el suelo se renovan. La rata de aireación del suelo depende del espacio aéreo total del suelo y de la cantidad

de agua que obstruyen los poros. Un suelo con mucho espacio aéreo que permite rápida aireación, se dice que está bien aireado; mientras que un suelo pobremente aireado no presenta poros grandes o tiene la mayoría de ellos bloqueados por el agua.

Descripción del Perfil de la Serie "Instituto", Fase normal*

- Ap₁ 0 - 16 cm Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y de pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; franco; estructura granular, fina y media, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco; muchos poros tubulares, finos y muy finos; muy pocas gravas, finas de bordes redondeadas (0,5 a 2 cm); raíces comunes, finas y medianas; límite neto, plano.
- Ap₂ 16 - 28 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo fuerte (7,5YR 5/6) en seco; franco; estructura de bloques subangulares, fina, débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco: muchos poros tubulares, finos y medianos; muchas gravas, finas, redondeadas (0,5 a 5 cm); raíces comunes, finas y medianas; límite brusco, plano.

* Descripción hecha por el autor con la colaboración del Ing. Agr. Orlando Vásquez N., con fecha 11 de setiembre de 1970.

- A₃ 28 -- 48 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo fuerte (7,5YR 5/6) en seco; franco arcilloso; estructura de bloques subangulares, fina y mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco, muchos poros tubulares, muy finos, finos, medianos y gruesos; pocas raíces, finas y medianas; límite gradual, plano.
- B₁ 48 - 62 cm Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y de pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; franco arcilloso; estructura granular, fina y mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco; muchos poros tubulares, muy finos, finos, medianos y gruesos; presencia de nódulos, finos, suaves y oscuros; muy pocas raíces, finas; límite neto, plano.
- BC 62 - 84 cm Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y de pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; franco arcilloso; estructura granular, fina y mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco; muchos poros tubulares, finos y medianos; muy pocas raíces, finas; límite neto, plano.

- C₁ 84 - 103 cm Pardo 7,5YR 5/4) en húmedo y pardo claro (10YR 6/4) en seco; franco arcilloso; estructura granular, fina, débil; adherente, plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros tubulares, finos y medianos; abundantes formaciones nodulosas, firmes y duras negras; muy pocas raíces, muy finas; límite neto, plano.
- C₁ 103 - 130 cm Pardo (10YR 5/3) en húmedo y pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco; franco arcilloso; estructura granular, fina, débil; adherente, plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros tubulares, finos y medianos; abundantes nódulos, suaves de colores pardo-amarillento; límite gradual, irregular.
- C₃ - 130 + cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo fuerte (7,5YR 5/6) en seco; arcilloso; estructura de bloques subangulares, mediana y gruesa, débil; adherente, plástico, firme en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros tubulares, finos y medianos; abundantes nódulos, suaves, negros y pardo amarillentos.

Descripción del Perfil de la Serie "Margot", Fase normal*

- A_p 0 - 20 cm Pardo rojizo (5YR 3/2) en húmedo y de pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; franco arcilloso; estructura de bloques subangulares que se disgregan en gránulos finos, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros tubulares e intersticiales, finos; muy pocas gravas finas, de bordes redondeados (0,5 a 1,5 cm); raíces comunes, finas y medianas; límite neto, plano.
- A₃ 20 - 40 cm Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en seco; arcilloso; estructura de bloques subangulares, microestructura granular, fina, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; muchos poros tubulares e intersticiales, finos; pocas raíces, finas y medianas; límite neto, plano.
- BC 40 - 63 cm Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco; arcilloso; adherente, plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros tubulares, finos y medianos; muchas gravas medianas y gruesas de bordes redondeados (4 a 15 cm); muy pocas raíces, finas; límite neto, ondulado.

* Descripción hecha por el autor con la colaboración del Ing. Agr. Orlando Vásquez N., con fecha 10 de setiembre de 1970.

- C₁ 63 - 98 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco; muy pocos moteados, finos, medianos, difusos, rojizos y amarillentos; arcilloso; estructura de bloques subangulares, fina y media, muy débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros intersticiales, finos y medianos; pocas gravas gruesas, de bordes redondeados (5 a 10 cm); muy pocas raíces, medianas; límite gradual, irregular.
- C₂ 98 - 115 cm Pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo y pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco; muy pocos moteados, finos, difusos, rojizos y amarillentos; franco arcilloso; estructura de bloques angulares, fina y mediana, muy débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros tubulares, finos y medianos; presencia de abundantes fragmentos rocosos, muy intemperizados.

Cuadro 1. Valores de densidad de partículas para el suelo "Instituto", fase normal.

Repetición	1	2	3	4	5	Promedio \pm Sd
Profundidad en cm						
0 - 5	2,61	2,59	2,59	2,57	2,57	2,59 \pm 0,02
5 - 10	2,62	2,57	2,61	2,56	2,56	2,58 \pm 0,03
10 - 20	2,62	2,64	2,63	2,56	2,56	2,60 \pm 0,04

Cuadro 2. Valores de densidad aparente para el suelo "Instituto", fase normal.

Repetición	1	2	3	4	5	Promedio \pm Sd
Profundidad en cm						
0 - 5	0,96	1,03	0,97	1,04	1,09	1,02 \pm 0,05
5 - 10	0,96	1,03	0,97	1,04	1,09	1,02 \pm 0,05
10 - 20	0,98	1,02	0,93	1,02	1,07	1,00 \pm 0,05

Cuadro 3. Resumen de las características físicas del suelo "Instituto", fase normal.

Horizontes	Subcapa	Profundidad cm	Densidad aparente ± Sd	Densidad partículas las ± Sd	Distribución de partículas + Sd			Clase textural
					Arena	Limo	Arcilla	
					%			
1	0 - 5	5	1,02	2,59	37,50	40,50	22,00	Franco
			±0,05	±0,02	±0,97	±1,01	±0,72	
Ap ₁	5 - 10	10	1,02	2,58	37,10	35,65	27,65	Franco
			±0,05	±0,03	±0,96	±1,03	±0,77	
3	10 - 16	16	1,00	2,60	36,50	37,75	25,75	Franco
			±0,05	±0,04	±0,99	±1,05	±0,73	
Ap ₂	16 - 28	28	1,27	2,80	44,90	28,10	27,00	Franco
A ₃	28 - 48	48	1,18	2,80	36,90	29,60	33,50	Franco Arcilloso
B ₁	48 - 62	62	1,07	2,80	39,50	26,60	33,90	Franco Arcilloso
BC	62 - 84	84	1,09	2,70	32,50	31,50	36,00	Franco Arcilloso
C ₁	84 - 103	103	1,04	2,80	42,50	26,40	31,10	Franco Arcilloso
C ₂	103 - 130	130	1,13	2,70	42,00	24,10	33,90	Franco Arcilloso
C ₃	130 +	130 +	1,14	2,80	26,20	26,80	47,00	Arcilloso

Cuadro 4. Valores de densidad de partículas para el suelo "Margot", fase normal.

Repetición	1	2	3	4	5	Promedio \pm Sd
Profundidad en cm						
0 - 5	2,50	2,44	2,53	2,51	2,58	2,51 \pm 0,05
5 - 10	2,54	2,53	2,59	2,56	2,58	2,56 \pm 0,03
10 - 20	2,52	2,62	2,60	2,66	2,66	2,61 \pm 0,06

Cuadro 5. Valores de densidad aparente para el suelo "Margot", fase normal.

Repetición	1	2	3	4	5	Promedio \pm Sd
Profundidad en cm						
0 - 5	1,13	0,92	1,10	1,03	1,10	1,06 \pm 0,08
5 - 10	1,13	0,92	1,10	1,03	1,10	1,06 \pm 0,08
10 - 20	1,04	0,96	1,14	1,12	1,15	1,08 \pm 0,08

Cuadro 6. Resumen de las características físicas del suelo "Margot", fase normal.

Horizontes	Subcapa	Profundidad cm	Densidad aparente		Densidad partículas + Sd	Distribución de partículas + Sd			Clase textural
			+ Sd	gr/cc		Arena	Limo	Arcilla	
A _p	1	0 - 5	1,06 ±0,08	2,51 ±0,05	26,00 ±0,85	45,00 ±1,04	29,00 ±0,96	Franco Arcilloso	
	2	5 - 10	1,06 ±0,08	2,56 ±0,03	24,50 ±0,87	43,00 ±1,01	32,50 ±0,99	Franco Arcilloso	
	3	10 - 20	1,08 ±0,08	2,61 ±0,06	23,60 ±0,82	41,00 ±1,03	35,40 ±1,02	Franco Arcilloso	
A ₃		20 - 40	1,24	2,70	15,80	26,20	58,00	Arcilloso	
BC		40 - 63	1,14	2,70	25,00	30,00	45,00	Arcilloso	
C ₁		63 - 98	1,06	2,70	27,20	31,90	40,90	Arcilloso	
C ₂		98 - 115	1,06	2,90	29,50	30,60	39,90	Franco Arcilloso	

Cuadro 7. Resultados de las pruebas de infiltración del suelo "Instituto", Franco.

Repetición	1		2		3		4		5	
	R.I. mm/min	I.A. mm								
1	1,20	1,20	1,00	1,00	1,40	1,40	1,50	1,50	2,00	2,00
2	0,80	2,00	0,60	1,60	1,00	2,40	1,30	2,80	1,00	3,00
3	0,80	2,80	0,60	2,20	0,70	5,10	0,50	5,30	1,00	4,00
4	0,50	3,30	0,60	2,80	0,60	3,70	0,90	4,10	0,60	4,60
5	0,80	4,10	0,40	3,20	0,60	4,30	0,60	4,70	0,70	5,30
10	0,44	6,30	0,40	5,20	0,54	7,00	0,56	7,50	0,40	5,30
20	0,36	9,90	0,47	9,90	0,41	11,10	0,40	11,50	0,45	11,80
30	0,31	13,00	0,38	13,70	0,46	15,70	0,54	16,90	0,50	16,80
45	0,35	18,30	0,31	18,40	0,37	21,10	0,39	22,80	0,39	22,60
60	0,26	22,20	0,35	23,60	0,41	27,40	0,21	25,90	0,21	25,80
90	0,25	29,80	0,31	32,90	0,29	36,10	0,38	37,40	0,32	35,40
120	0,25	37,40	0,21	39,10	0,23	42,90	0,31	46,70	0,27	43,60

R.I. = Ritmo de Infiltración

I.A. = Infiltración Acumulada

Cuadro 8. Resultados de las pruebas de infiltración del suelo "Margot", Franco arcilloso.

Repetición	1		2		3		4		5	
	R.I. mm/min	I.A. mm								
1	0,30	0,30	0,20	0,20	0,30	0,30	0,27	0,27	0,24	0,24
2	0,10	0,40	0,10	0,30	0,10	0,40	0,10	0,37	0,10	0,34
3	0,10	0,50	0,10	0,40	0,10	0,50	0,10	0,47	0,10	0,44
4	0,10	0,60	0,05	0,45	0,10	0,60	0,08	0,55	0,07	0,51
5	0,10	0,70	0,05	0,50	0,10	0,70	0,08	0,63	0,07	0,58
10	0,06	1,00	0,02	0,60	0,06	1,00	0,05	0,87	0,03	0,74
20	0,07	1,70	0,04	1,00	0,06	1,60	0,06	1,43	0,05	1,22
30	0,06	2,30	0,02	1,20	0,05	2,10	0,04	1,89	0,03	1,54
45	0,05	3,10	0,02	1,50	0,04	2,70	0,04	2,43	0,03	1,96
60	0,04	3,70	0,03	1,90	0,04	3,30	0,03	2,97	0,03	2,43
90	0,17	4,20	0,02	2,60	0,04	4,40	0,03	3,73	0,03	2,67
120	0,04	5,30	0,02	3,20	0,02	5,00	0,03	4,50	0,02	3,85

R.I. = Ritmo de Infiltración

I.A. = Infiltración Acumulada

Cuadro 9. Resultados obtenidos de los valores de Humedad[★] y Espacio Aéreo[★] para el tratamiento 1 (1 cm de lámina de aplicado al suelo "Instituto", franco.

Tiempo (minutos)	Profundidad (cm)	Humedad		Espacio Aéreo	
		A	B	A	B
1	0 - 2	47,57	48,45	13,04	12,25
	2 - 4	43,34	43,55	17,28	17,16
	4 - 9	38,77	38,78	21,84	22,22
	9 - 20	39,01	38,29	22,35	24,18
6	0 - 2	46,95	46,07	13,67	14,62
	2 - 4	43,50	40,61	17,12	20,10
	4 - 9	39,06	37,62	21,56	23,38
	9 - 20	40,09	37,56	21,27	24,91
36	0 - 2	45,19	44,70	15,43	16,00
	2 - 4	41,92	41,92	18,69	18,78
	4 - 9	40,88	37,96	19,73	23,04
	9 - 20	38,65	38,79	22,71	23,68
216	0 - 2	42,38	43,81	22,59	16,90
	2 - 4	41,85	43,17	18,77	17,54
	4 - 9	39,58	39,31	21,04	21,69
	9 - 20	39,07	39,15	22,29	23,32
1296	0 - 2	37,69	39,90	23,25	20,80
	2 - 4	38,55	40,41	22,06	22,30
	4 - 9	39,18	39,40	21,43	21,61
	9 - 20	40,10	40,13	21,27	22,34

★ En porcentaje por volumen y promedio de 5 repeticiones.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 10. Resultados obtenidos de los valores de Humedad[†] y Espacio Aéreo[†] para el tratamiento 2 (5 cm de lámina de agua) en el suelo "Instituto", franco.

Tiempo (minutos)	Profundidad (cm)	Humedad		Espacio Aéreo	
		A	B	A	B
1	0 - 2	53,02	51,64	6,75	7,04
	2 - 4	50,02	49,42	8,63	8,84
	4 - 9	53,34	51,56	7,16	6,99
	9 - 20	52,53	48,68	8,00	11,44
6	0 - 2	52,95	54,42	6,00	4,53
	2 - 4	49,36	53,42	9,29	5,11
	4 - 9	52,54	55,50	7,35	3,55
	9 - 20	51,33	50,37	9,35	9,76
36	0 - 2	50,33	50,76	8,32	7,76
	2 - 4	47,90	47,58	10,75	10,66
	4 - 9	47,15	48,19	11,50	10,36
	9 - 20	46,26	49,22	13,99	10,91
216	0 - 2	46,00	49,71	12,65	8,77
	2 - 4	42,61	47,13	16,05	11,11
	4 - 9	44,57	45,31	14,08	13,24
	9 - 20	45,43	46,72	14,83	13,41
1296	0 - 2	47,36	47,17	11,30	11,07
	2 - 4	45,20	43,48	13,45	14,75
	4 - 9	43,81	43,90	14,84	14,65
	9 - 20	41,81	45,05	18,45	15,08

† En porcentaje por volumen, promedio de 5 repeticiones.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 11. Resultados obtenidos de los valores de Humedad^x y Espacio Aéreo^x para el tratamiento 3 (10 cm de lámina de agua) en el suelo "Instituto, Franco.

Tiempo (minutos)	Profundidad (cm)	Humedad		Espacio Aéreo	
		A	B	A	B
1	0 - 2	52,82	54,80	6,90	4,61
	2 - 4	51,95	51,97	7,77	7,40
	4 - 9	53,98	55,47	5,85	5,74
	9 - 20	55,27	58,85	6,29	2,60
6	0 - 2	52,40	53,60	7,31	5,77
	2 - 4	49,62	50,55	10,10	8,82
	4 - 9	53,39	53,14	6,33	6,63
	9 - 20	51,35	54,44	9,09	5,48
36	0 - 2	50,11	49,93	9,61	9,45
	2 - 4	47,46	47,11	12,26	12,26
	4 - 9	48,23	48,40	11,49	11,26
	9 - 20	49,02	51,38	11,42	8,54
216	0 - 2	44,75	48,54	12,97	10,82
	2 - 4	43,88	45,50	15,84	13,86
	4 - 9	44,95	45,14	14,77	14,51
	9 - 20	45,92	48,88	14,52	11,04
1296	0 - 2	45,30	46,38	14,42	12,99
	2 - 4	43,06	43,17	16,66	16,20
	4 - 9	42,41	43,59	17,31	16,07
	9 - 20	43,34	46,35	17,10	13,57

^x En porcentaje por volumen, promedio de 5 repeticiones.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 12. Análisis de variancia de la humedad volumétrica del suelo "Instituto", Franco.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	4414,92	1103,73	6,94	7,01 NS	3,84 *
A	2	8202,96	4101,48	25,81	8,65 **	4,46 **
Error A	8	1271,26	158,90			
B	1	60,89	60,89	0,79	9,33 NS	4,75 NS
AB	2	55,59	27,79	0,36	6,93 NS	3,89 NS
Error B	12	917,89	76,49			
C	4	3729,39	932,34	46,59	3,48 **	2,45 **
AC	8	1049,24	131,15	15,57	2,66 **	2,02 **
BC	4	50,95	12,73	0,63	3,48 NS	2,45 NS
ABC	8	137,52	17,18	0,86	2,66 NS	2,02 NS
Error C	96	1920,10	20,01			
D	3	751,80	250,59	37,29	3,78 **	2,60 **
AD	6	702,64	117,10	17,42	2,80 **	2,10 **
BD	3	18,00	6,00	0,89	3,78 NS	2,60 NS
ABD	6	56,04	9,34	1,39	2,80 NS	2,10 NS
CD	12	83,42	6,95	1,03	2,18 NS	1,75 NS
ACD	24	859,30	24,55	3,65	1,79 NS	1,52 NS
BCD	12	55,38	4,61	0,68	2,18 NS	1,75 NS
ABCD	24	97,95	4,08	0,61	1,79 NS	1,52 NS
Error D	360	2420,03	6,72			
Total	599	26585,29				

** Altamente significativo

* Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

D = Profundidad

Cuadro 13. Ecuaciones que expresan la Humedad volumétrica (Hv) en función del tiempo para el suelo "Instituto".

Tipo	Lámina en cm	Profundidad en cm	Función	Ecuación	R ²
A-1-a	1	1	Logarítmica	$Y = 3,883 X^{-0,0245}$	0,93
A-2-a			Cuadrática	$Y = 46,7427 - 0,0169X + 0,00008 X^2$	0,86
A-2-b	5	1	Cuadrática	$Y = 52,557 - 0,016 X + 0,000009 X^2$	0,78
A-3-a			Geométrica	$Y = 3,9498 - 0,00077^X$	0,69
A-1-b	10	1	Logarítmica	$Y = 4,0095 X^{-0,0241}$	0,98
A-2-c			Cuadrática	$Y = 53,3102 - 0,0279X + 0,000017 X^2$	0,82
A-2-d	1	3	Cuadrática	$Y = 41,9625 + 0,0064X - 0,000005 X^2$	0,45
A-3-b			Geométrica	$Y = 3,7458 - 0,000032^X$	0,29
A-2-e	5	3	Cuadrática	$Y = 50,5299 - 0,0197 X + 0,000011 X^2$	0,71
A-3-c			Geométrica	$Y = 3,9069 - 0,00011^X$	0,65
A-1-c	10	3	Logarítmica	$Y = 3,9570 X^{-0,0265}$	0,99
A-2-f			Cuadrática	$Y = 50,4180 - 0,0286 X + 0,000017 X^2$	0,84

Y = Humedad volumétrica en %

X = Tiempo en minutos después del cese de la infiltración.

Cuadro 14. Valores de humedad volumétrica precedente* en porcentaje observados para el suelo "Instituto", Franco.

BLOQUE N°	1		2		3		4		5		Promedio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
Tratamiento Lámina cm												
Profundidad cm												
0 - 2	31,29	30,17	21,03	25,62	16,07	17,81	19,36	23,80	22,50	19,70	22,05	23,42
2 - 4	29,14	33,98	29,30	30,60	22,38	23,04	27,33	29,44	30,08	25,93	26,13	28,60
4 - 9	34,14	33,62	31,39	31,92	28,06	30,79	31,15	32,55	33,00	34,02	31,55	32,58
9 - 20	36,90	39,56	40,52	36,80	26,06	36,21	33,70	33,60	36,69	39,19	34,81	37,07
<hr/>												
0 - 2	18,15	18,78	23,45	18,30	9,03	12,50	27,42	23,72	16,51	22,30	18,91	19,12
2 - 4	15,74	24,16	21,95	23,86	17,75	11,71	31,45	28,52	30,18	29,70	23,41	23,59
4 - 9	20,77	32,04	30,59	28,41	23,23	23,25	30,48	33,13	34,31	38,44	27,87	31,05
9 - 20	31,64	37,10	34,00	35,82	31,73	29,37	38,03	40,52	40,54	42,48	35,19	37,06
<hr/>												
0 - 2	18,56	28,77	23,71	14,38	8,94	15,29	20,12	17,48	16,28	18,87	17,52	18,92
2 - 4	23,09	33,75	22,73	13,82	14,61	18,78	26,16	29,12	23,41	32,37	22,00	25,57
4 - 9	31,63	33,03	27,39	25,67	22,14	22,38	32,73	33,01	33,00	32,95	29,38	29,41
9 - 20	36,26	39,44	33,86	34,90	29,20	27,25	33,60	34,84	38,83	37,16	34,35	34,72

* Se refiere a la humedad del suelo antes de aplicar los tratamientos.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 15. Ecuaciones que expresan la humedad volumétrica (Hv) o el espacio aéreo en función de la lámina de agua, el tiempo, la profundidad y la humedad volumétrica precedente o el espacio aéreo precedente para el suelo "Instituto".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-4-a	Cuadrática múltiple	$Y = 43,5882 + 2,7644X_1 - 0,0258X_2 -$ $0,8750X_3 - 0,1867X_1^2 + 0,00002X_2^2$ $+ 0,0339X_3^2 - 0,0003X_1X_2 +$ $0,0359X_1X_3 + 0,00004X_2X_3$	0,85
A-5-a	Cuadrática múltiple	$Y = 85,5360 + 0,2386X_1 - 0,0222X_2 +$ $0,8402X_3 - 2,7705X_4 - 0,1383X_1^2$ $0,000017X_2^2 - 0,0410X_3^2 + 0,381X_4^2 -$ $0,000411X_1X_2 - 0,0174X_1X_3 +$ $0,0796X_1X_4 + 0,00022X_2X_3 -$ $0,00017X_2X_4$	0,86
A-4-b	Cuadrática múltiple	$Y = 43,9740 + 2,9649X_1 - 0,0174X_2 -$ $1,3357X_3 - 0,2018X_1^2 + 0,00001X_2^2 +$ $0,0525X_3^2 - 0,0005X_1X_2 + 0,0639X_1X_3$ $+ 0,0001X_2X_3$	0,85

Y = Humedad volumétrica en % o espacio aéreo en %

X₁ = Lámina de agua en cm

X₂ = Tiempo en minutos

X₃ = Profundidad en cm

X₄ = Humedad volumétrica precedente o espacio aéreo precedente en %.

Cont. Cuadro 15.

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-4-e	Cuadrática múltiple	$Y = 18,3256 - 3,5978X_1 + 0,0266X_2 +$ $0,7255X_3 + 0,2484X_1^2 - 0,00002X_2^2$ $-0,0222X_3^2 + 0,0004X_1X_2 - 0,0301X_1X_3 -$ $0,00004X_2X_3$	0,89
4-4-f	Cuadrática múltiple	$Y = 20,3856 - 4,5408X_1 + 0,0259X_2 +$ $0,8809X_3 + 0,3121X_1^2 - 0,00002X_2^2 -$ $0,0262X_3^2 + 0,0005X_1X_2 - 0,0509X_1X_3$ $- 0,0001X_2X_3$	0,82
A-5-b	Cuadrática múltiple	$Y = 67,0161 + 1,9994X_1 - 0,0178X_2$ $- 0,3501X_3 - 1,6800X_4 - 0,1771X_1^2 +$ $0,00001X_2^2 + 0,0398X_3^2 + 0,0295X_4^2 -$ $0,0005X_1X_2 + 0,0498X_1X_3 + 0,0268X_1X_4$ $+ 0,0001X_2X_3 + 0,00001X_2X_4 - 0,0236X_3X_4$	0,86
A-5-e	Cuadrática múltiple	$Y = 173,6850 - 7,5481X_1 + 0,0304X_2$ $+ 10,7795X_3 + 11,0604X_4 + 0,2898X_1^2 -$ $0,00002X_2^2 - 0,1374X_3^2 - 0,1569X_4^2 +$ $0,0004X_1X_2 + 0,0446X_1X_3 + 0,0959X_1X_4$ $- 0,00014X_2X_3 - 0,0001X_2X_4 - 0,2955X_3X_4$	0,90
A-5-f	Cuadrática múltiple	$Y = -111,8011 - 2,1399X_1 + 0,0359X_2$ $+ 9,3012X_3 + 6,6994X_4 + 0,3448X_1^2$ $- 0,00002X_2^2 - 0,1423X_3^2 - 0,0838X_4^2 +$ $0,0005X_1X_2 - 0,1451X_1X_3 - 0,0716X_1X_4$ $- 0,0003X_2X_3 - 0,0003X_2X_4 - 0,2177X_3X_4$	0,84

Cuadro 16. Valores estimados de humedad volumétrica para el suelo "Instituto" en presencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y humedad volumétrica precedente.

LÁMINA	TIEMPO	PROFUND.	HUMEDAD VOLUMÉTRICA PRECEDENTE						
			16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00
1.00	1.00	1.00	53.08	47.80	43.74	40.89	39.26	38.86	39.66
1.00	1.00	3.00	54.40	49.12	45.05	42.21	40.58	40.17	40.98
1.00	1.00	6.50	55.92	50.63	46.57	43.72	42.10	41.69	42.50
1.00	1.00	14.50	55.61	50.33	46.26	43.42	41.79	41.38	42.19
1.00	1.00	20.00	52.35	47.07	43.01	40.16	38.54	38.13	38.94
1.00	36.00	1.00	52.23	46.92	42.83	39.97	38.31	37.88	38.67
1.00	36.00	3.00	53.56	48.25	44.17	41.30	39.65	39.22	39.99
1.00	36.00	6.50	55.10	49.80	45.71	42.84	41.19	40.76	41.55
1.00	36.00	14.50	54.86	49.55	45.47	42.60	40.95	40.51	41.30
1.00	36.00	20.00	51.64	46.34	42.25	39.38	37.75	37.30	38.09
1.00	216.00	1.00	48.49	43.06	38.85	35.86	34.09	33.54	34.21
1.00	216.00	3.00	49.90	44.47	40.27	37.28	35.51	34.95	35.62
1.00	216.00	6.50	51.58	46.16	41.95	38.96	37.19	36.64	37.30
1.00	216.00	14.50	51.65	46.23	42.02	39.03	37.26	36.71	37.37
1.00	216.00	20.00	48.66	43.23	39.03	36.04	34.26	33.71	34.38
1.00	536.00	1.00	44.56	38.92	34.50	31.30	29.31	28.54	28.99
1.00	536.00	3.00	46.12	40.48	36.05	32.85	30.86	30.09	30.54
1.00	536.00	6.50	48.05	42.40	37.98	34.78	32.79	32.02	32.47
1.00	536.00	14.50	46.68	43.04	38.62	35.41	33.43	32.66	33.11
1.00	536.00	20.00	46.07	40.43	36.01	32.90	30.82	30.05	30.50
1.00	936.00	1.00	44.55	38.64	33.95	30.46	28.22	27.19	27.57
1.00	936.00	3.00	46.28	40.37	35.68	32.21	29.95	28.92	29.10
1.00	936.00	6.50	48.52	42.61	37.92	34.44	32.19	31.15	31.33
1.00	936.00	14.50	49.86	43.95	39.26	35.76	33.53	32.49	32.67
1.00	936.00	20.00	47.73	41.82	37.13	33.66	31.40	30.37	30.55
1.00	1296.00	1.00	49.20	43.05	38.11	34.40	31.90	30.62	30.96
1.00	1296.00	3.00	51.08	44.93	40.00	36.28	33.79	32.51	32.85
1.00	1296.00	6.50	53.60	47.45	42.51	38.80	36.33	35.02	35.36
1.00	1296.00	14.50	55.57	49.42	44.49	40.77	38.27	36.99	37.33
1.00	1296.00	20.00	53.88	47.73	42.80	39.06	36.55	35.21	35.55
5.00	1.00	1.00	55.74	51.73	48.95	47.37	47.02	47.89	48.77
5.00	1.00	3.00	56.92	52.91	50.12	48.55	48.20	49.07	50.00
5.00	1.00	6.50	58.19	54.18	51.40	49.83	49.47	50.34	51.22
5.00	1.00	14.50	57.33	53.32	50.53	48.96	48.61	49.47	50.36
5.00	1.00	20.00	53.69	49.68	46.89	45.32	44.97	45.83	46.72
5.00	36.00	1.00	54.83	50.80	47.99	46.39	46.02	46.88	47.77
5.00	36.00	3.00	56.02	51.99	49.18	47.59	47.21	48.06	48.95
5.00	36.00	6.50	57.32	53.29	50.48	48.95	48.57	49.43	50.32
5.00	36.00	14.50	56.52	52.49	49.68	48.08	47.70	48.55	49.44
5.00	36.00	20.00	52.92	48.89	46.08	44.48	44.11	44.95	45.84
5.00	216.00	1.00	50.80	46.64	43.71	42.00	41.63	42.22	42.95
5.00	216.00	3.00	52.07	47.92	44.98	43.27	42.77	43.38	44.03
5.00	216.00	6.50	53.51	49.35	46.42	44.71	44.21	44.83	45.47
5.00	216.00	14.50	53.02	48.87	45.93	44.22	43.72	44.33	44.98
5.00	216.00	20.00	49.64	45.49	42.55	40.84	40.35	41.05	41.71
5.00	536.00	1.00	46.35	41.98	38.83	36.90	36.17	36.89	37.62
5.00	536.00	3.00	47.76	43.39	40.24	38.31	37.60	38.31	39.03
5.00	536.00	6.50	49.44	45.08	41.93	40.00	39.47	40.17	40.82
5.00	536.00	14.50	49.52	45.15	42.00	40.07	39.56	40.25	40.90
5.00	536.00	20.00	46.53	42.16	39.01	37.06	36.33	37.04	37.71
5.00	936.00	1.00	45.68	41.04	37.63	35.43	34.45	34.68	35.34
5.00	936.00	3.00	47.27	42.63	39.22	37.02	36.04	36.27	36.93
5.00	936.00	6.50	49.26	44.62	41.21	39.01	38.03	38.26	38.92
5.00	936.00	14.50	50.04	45.40	41.99	39.79	38.81	39.05	39.71
5.00	936.00	20.00	47.53	42.90	39.48	37.28	36.30	36.54	37.19
5.00	1296.00	1.00	49.73	44.85	41.19	38.75	37.53	37.52	38.24
5.00	1296.00	3.00	51.48	46.60	42.94	40.50	39.28	39.27	40.00
5.00	1296.00	6.50	53.75	48.87	45.21	42.77	41.55	41.79	42.52
5.00	1296.00	14.50	55.16	50.28	46.62	44.15	42.96	42.96	43.71
5.00	1296.00	20.00	53.09	48.21	44.55	42.11	40.99	40.99	41.71
10.00	1.00	1.00	52.85	50.43	49.24	49.26	50.50	52.95	55.43
10.00	1.00	3.00	53.85	51.44	50.24	50.26	51.50	53.95	57.43
10.00	1.00	6.50	54.82	52.40	51.21	51.23	52.47	54.93	58.43
10.00	1.00	14.50	53.25	50.84	49.64	49.66	50.90	53.36	57.34
10.00	1.00	20.00	49.13	46.72	45.52	45.54	46.78	49.24	52.72
10.00	36.00	1.00	51.86	49.42	48.20	48.20	49.42	51.86	55.31
10.00	36.00	3.00	52.88	50.44	49.22	49.22	50.44	52.87	56.33
10.00	36.00	6.50	53.87	51.44	50.22	50.22	51.43	53.87	57.32
10.00	36.00	14.50	52.37	49.93	48.71	48.71	49.93	52.37	55.02
10.00	36.00	20.00	48.29	45.86	44.64	44.64	45.85	48.29	51.59
10.00	216.00	1.00	47.46	44.90	43.56	43.44	44.53	46.95	50.38
10.00	216.00	3.00	48.56	46.00	44.66	44.54	45.63	47.95	51.48
10.00	216.00	6.50	49.69	47.13	45.79	45.67	46.75	49.00	52.61
10.00	216.00	14.50	48.50	45.94	44.60	44.48	45.58	47.89	51.42
10.00	216.00	20.00	44.64	42.08	40.74	40.62	41.72	44.03	47.56
10.00	536.00	1.00	42.35	39.58	38.02	37.68	38.56	40.66	43.98
10.00	536.00	3.00	43.59	40.82	39.26	38.92	39.80	41.90	45.22
10.00	536.00	6.50	44.97	42.19	40.64	40.30	41.18	43.25	46.50
10.00	536.00	14.50	44.35	41.57	40.02	39.68	40.36	42.64	45.75
10.00	536.00	20.00	40.87	38.10	36.54	36.21	37.09	39.19	42.59
10.00	936.00	1.00	40.86	37.82	35.99	35.39	36.00	37.83	40.88
10.00	936.00	3.00	42.28	39.23	37.41	36.80	37.42	39.25	42.29
10.00	936.00	6.50	43.96	40.92	39.10	38.49	39.10	40.93	43.98
10.00	936.00	14.50	44.04	41.00	39.18	38.57	39.18	41.01	44.06
10.00	936.00	20.00	41.06	38.01	36.19	35.58	36.19	38.02	41.07
10.00	1296.00	1.00	44.17	40.89	38.82	37.97	38.34	39.93	42.74
10.00	1296.00	3.00	45.75	42.46	40.39	39.55	39.92	41.51	44.31
10.00	1296.00	6.50	47.71	44.42	42.36	41.51	41.86	43.47	46.28
10.00	1296.00	14.50	48.42	45.14	43.07	42.23	42.66	44.18	46.99
10.00	1296.00	20.00	45.87	42.59	40.52	39.67	40.04	41.63	44.44

Cuadro 17. Valores estimados de humedad volumétrica para el suelo "Instituto" en ausencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y humedad volumétrica precedente.

LÁMINA	TIEMPO	PROFUND.	HUMEDAD VOLUMÉTRICA PRECEDENTE						
			16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00
1.00	1.00	1.00	49.27	46.81	45.29	44.72	45.09	46.40	46.65
1.00	1.00	3.00	48.23	45.58	43.88	43.11	43.29	44.41	46.48
1.00	1.00	6.50	47.18	44.20	42.16	41.07	40.92	41.71	43.44
1.00	1.00	14.50	48.44	44.70	41.91	40.05	39.15	39.18	40.16
1.00	1.00	20.00	52.26	48.00	44.68	42.31	40.89	40.40	40.86
1.00	36.00	1.00	48.66	46.20	44.68	44.11	44.44	45.80	45.05
1.00	36.00	3.00	47.63	44.98	43.27	42.51	42.69	43.82	45.89
1.00	36.00	6.50	46.59	43.61	41.57	40.48	40.33	41.13	42.86
1.00	36.00	14.50	47.87	44.14	41.35	39.50	38.59	38.63	39.61
1.00	36.00	20.00	51.71	47.46	44.14	41.77	40.35	39.47	40.33
1.00	216.00	1.00	45.93	43.48	41.98	41.42	41.80	43.13	43.40
1.00	216.00	3.00	44.94	42.30	40.61	39.86	40.05	41.19	43.27
1.00	216.00	6.50	43.96	40.99	38.97	37.89	37.75	38.56	40.31
1.00	216.00	14.50	45.40	41.67	38.89	37.05	36.16	36.21	37.20
1.00	216.00	20.00	49.33	45.09	41.79	39.45	38.02	37.55	38.02
1.00	936.00	1.00	42.84	40.42	38.93	38.39	38.79	40.14	42.43
1.00	936.00	3.00	41.92	39.30	37.63	36.90	37.11	38.27	40.37
1.00	936.00	6.50	41.05	38.11	36.10	35.04	34.93	35.75	37.52
1.00	936.00	14.50	42.75	39.04	36.28	34.47	33.59	33.66	34.08
1.00	936.00	20.00	46.87	42.64	39.36	37.02	35.63	35.13	35.67
1.00	936.00	1.00	42.15	39.75	38.29	37.78	38.21	39.58	41.89
1.00	936.00	3.00	41.31	38.71	37.07	36.36	36.60	37.78	39.71
1.00	936.00	6.50	40.59	37.67	35.69	34.65	34.56	35.41	37.21
1.00	936.00	14.50	42.61	38.93	36.19	34.40	33.55	33.65	34.66
1.00	936.00	20.00	46.95	42.75	39.50	37.19	35.82	35.39	35.71
1.00	1296.00	1.00	44.54	42.16	40.73	40.23	40.66	42.05	44.42
1.00	1296.00	3.00	43.77	41.20	39.57	38.89	39.15	40.36	42.51
1.00	1296.00	6.50	43.18	40.28	38.32	37.31	37.24	38.12	39.43
1.00	1296.00	14.50	45.49	41.83	39.12	37.35	36.53	36.65	37.71
1.00	1296.00	20.00	51.03	45.86	42.65	40.34	38.99	38.59	39.14
5.00	1.00	1.00	54.93	52.90	51.81	51.66	52.46	54.20	55.08
5.00	1.00	3.00	54.29	52.07	50.79	50.45	51.05	52.61	53.11
5.00	1.00	6.50	53.94	51.38	49.77	49.11	49.35	50.60	52.77
5.00	1.00	14.50	56.79	53.48	51.11	49.69	49.21	49.68	51.08
5.00	1.00	20.00	61.70	57.86	54.99	53.05	52.05	51.99	52.88
5.00	36.00	1.00	54.25	52.22	51.13	50.98	51.75	53.25	55.21
5.00	36.00	3.00	53.61	51.39	50.12	49.78	50.39	51.95	53.74
5.00	36.00	6.50	53.27	50.72	49.11	48.45	48.73	49.95	52.12
5.00	36.00	14.50	56.15	52.85	50.48	49.06	48.59	49.05	50.46
5.00	36.00	20.00	61.09	57.26	54.38	52.44	51.44	51.39	52.30
5.00	216.00	1.00	51.16	49.14	48.06	47.93	48.74	50.49	53.17
5.00	216.00	3.00	50.56	48.35	47.09	46.77	47.39	48.95	51.46
5.00	216.00	6.50	50.29	47.75	46.15	45.50	45.79	47.02	49.40
5.00	216.00	14.50	53.31	50.02	47.67	46.26	45.79	46.27	47.69
5.00	216.00	20.00	58.35	54.53	51.66	49.73	48.75	48.70	49.61
5.00	936.00	1.00	47.43	45.43	44.37	44.26	45.09	46.87	49.58
5.00	936.00	3.00	46.90	44.71	43.46	43.16	43.81	45.39	47.92
5.00	936.00	6.50	46.74	44.22	42.64	42.01	42.32	43.57	45.77
5.00	936.00	14.50	50.02	46.75	44.42	43.03	42.56	43.08	44.52
5.00	936.00	20.00	55.24	51.44	48.59	46.68	45.72	45.70	46.62
5.00	936.00	1.00	45.93	43.96	42.93	42.84	43.70	45.50	48.24
5.00	936.00	3.00	45.48	43.32	42.10	41.83	42.49	44.11	46.06
5.00	936.00	6.50	45.47	42.97	41.42	40.81	41.15	42.43	44.06
5.00	936.00	14.50	49.08	45.93	43.52	42.16	41.74	42.27	43.73
5.00	936.00	20.00	54.52	50.75	47.92	46.04	45.10	45.11	46.05
5.00	1296.00	1.00	47.60	45.65	44.64	44.58	45.46	47.25	50.05
5.00	1296.00	3.00	47.22	45.08	43.89	43.63	44.32	45.96	48.54
5.00	1296.00	6.50	47.33	44.86	43.33	42.75	43.11	44.41	46.66
5.00	1296.00	14.50	51.24	48.01	45.73	44.39	43.99	44.54	45.33
5.00	1296.00	20.00	56.88	53.14	50.33	48.47	47.56	47.58	48.55
10.00	1.00	1.00	54.03	52.54	51.98	52.37	53.70	55.99	59.20
10.00	1.00	3.00	53.89	52.21	51.46	51.66	52.80	54.69	57.92
10.00	1.00	6.50	54.41	52.39	51.32	51.19	52.00	53.76	56.46
10.00	1.00	14.50	59.26	56.48	54.65	53.77	53.82	54.02	56.77
10.00	1.00	20.00	65.55	62.25	59.90	58.49	58.03	58.51	59.73
10.00	36.00	1.00	53.26	51.77	51.21	51.61	52.94	55.22	58.44
10.00	36.00	3.00	53.13	51.44	50.70	50.90	52.05	54.14	57.17
10.00	36.00	6.50	53.66	51.64	50.57	50.44	51.26	53.02	55.72
10.00	36.00	14.50	58.54	55.76	53.94	53.05	53.11	54.11	56.06
10.00	36.00	20.00	64.84	61.55	59.20	57.80	57.33	57.82	59.24
10.00	216.00	1.00	49.72	48.24	47.70	48.10	49.45	51.74	54.97
10.00	216.00	3.00	49.63	47.95	47.22	47.44	48.59	50.69	53.74
10.00	216.00	6.50	50.22	48.22	47.16	47.04	47.87	49.63	52.35
10.00	216.00	14.50	55.24	52.48	50.67	49.79	49.86	50.88	52.83
10.00	216.00	20.00	61.65	58.37	56.03	54.64	54.19	54.68	55.12
10.00	936.00	1.00	45.19	43.72	43.20	43.63	44.99	47.30	50.56
10.00	936.00	3.00	45.16	43.50	42.79	43.03	44.21	46.33	49.39
10.00	936.00	6.50	45.87	43.88	42.84	42.75	43.59	45.38	48.12
10.00	936.00	14.50	51.15	48.41	46.61	45.76	45.85	46.89	48.86
10.00	936.00	20.00	57.74	54.48	52.16	50.79	50.36	50.87	52.33
10.00	936.00	1.00	42.69	41.25	40.76	41.21	42.60	44.93	48.21
10.00	936.00	3.00	42.74	41.11	40.43	40.69	41.89	44.04	47.13
10.00	936.00	6.50	43.59	41.63	40.62	40.55	41.42	43.24	46.00
10.00	936.00	14.50	49.20	46.49	44.72	43.89	44.01	45.07	47.07
10.00	936.00	20.00	56.01	52.78	50.49	49.14	48.74	49.28	50.76
10.00	1296.00	1.00	43.45	42.04	41.56	42.04	43.45	45.81	49.11
10.00	1296.00	3.00	43.37	41.97	41.31	41.59	42.82	44.99	48.10
10.00	1296.00	6.50	44.56	42.62	41.63	41.58	42.48	44.31	47.10
10.00	1296.00	14.50	50.46	47.77	46.02	45.22	45.35	46.46	48.46
10.00	1296.00	20.00	57.47	54.26	51.99	50.67	50.29	50.85	52.36

Cuadro 18. Resultados obtenidos de los valores de Humedad[★] y Espacio Aéreo[★] para el tratamiento 1 (1 cm de lámina de agua) aplicado al suelo "Margot" Franco-Arcilloso.

Tiempo (minutos)	Profundidad (cm)	Humedad		Espacio Aéreo	
		A	B	A	B
1	0 - 2	53,95	61,36	5,73	3,82
	2 - 4	51,44	57,60	6,70	4,12
	4 - 9	50,61	54,50	8,02	6,12
	9 - 20	50,35	53,74	8,29	7,25
6	0 - 2	52,58	59,30	5,53	4,83
	2 - 4	50,61	58,64	6,75	4,08
	4 - 9	41,49	54,00	6,45	6,57
	9 - 20	49,43	53,08	7,67	7,54
36	0 - 2	52,12	57,98	6,07	3,93
	2 - 4	53,31	57,54	5,54	4,27
	4 - 9	51,46	54,36	7,30	5,83
	9 - 20	50,01	51,47	7,66	7,54
216	0 - 2	50,91	56,26	6,86	4,34
	2 - 4	50,94	56,62	6,51	4,46
	4 - 9	50,81	53,43	7,50	6,05
	9 - 20	50,38	52,26	7,18	7,00
1296	0 - 2	46,81	53,71	9,13	5,35
	2 - 4	50,00	56,22	7,21	4,34
	4 - 9	49,67	54,39	8,15	5,75
	9 - 20	49,82	51,38	7,41	7,53

★ En porcentaje por volumen, promedio de 5 repeticiones.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 19. Resultados obtenidos de los valores de Humedad[★] y Espacio Aéreo[★] para el tratamiento 2 (5 cm de lámina de agua) en el suelo "Margot" Franco-Arcilloso.

Tiempo (minutos)	Profundidad (cm)	Humedad		Espacio Aéreo	
		A	B	A	B
1	0 - 2	59,44	58,77	4,17	4,61
	2 - 4	56,58	56,96	4,47	5,24
	4 - 9	54,22	54,03	6,07	6,76
	9 - 20	51,25	53,50	7,41	7,10
6	0 - 2	55,04	58,27	5,57	4,44
	2 - 4	55,72	57,98	4,61	4,26
	4 - 9	52,55	54,45	6,84	5,58
	9 - 20	50,30	52,88	7,43	7,26
36	0 - 2	54,73	57,56	5,05	4,74
	2 - 4	54,94	56,00	5,00	4,93
	4 - 9	53,78	54,66	6,19	6,65
	9 - 20	51,00	53,14	7,29	7,17
216	0 - 2	53,42	56,45	5,59	5,19
	2 - 4	54,34	55,23	5,40	4,76
	4 - 9	52,46	54,09	6,78	5,36
	9 - 20	50,23	50,91	7,73	7,72
1296	0 - 2	51,16	54,13	6,50	5,34
	2 - 4	51,32	53,08	6,88	5,56
	4 - 9	52,32	52,36	6,90	7,00
	9 - 20	50,19	51,34	7,58	7,07

★ En porcentaje por volumen, promedio de 5 repeticiones.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 20. Análisis de variancia de la humedad volumétrica del suelo "Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	2973,09	743,27	4,19	15,98 NS	6,39 NS
A	1	1105,36	1105,36	6,23	7,71 NS	21,20 NS
Error A	4	709,64	177,41			
B	1	139,31	139,31	1,59	5,32 NS	11,26 NS
AB	1	300,40	300,40	3,45	5,32 NS	11,26 NS
Error B	8	697,23	87,15			
C	4	438,02	109,50	7,17	2,53 ^{xx}	3,65 ^{xx}
AC	4	94,43	23,61	1,55	2,53 NS	3,65 NS
BC	4	45,40	11,35	0,74	2,53 NS	3,65 NS
ABC	4	39,02	9,75	0,64	2,53 NS	3,65 NS
Error C	64	977,06	15,26			
D	3	1007,44	335,81	34,17	2,60 ^{xx}	3,78 ^{xx}
AD	3	69,39	23,13	2,35	2,60 NS	3,78 NS
BD	3	45,04	15,01	1,53	2,60 NS	3,78 NS
ABD	3	68,55	22,85	2,33	2,60 NS	3,78 NS
CD	12	346,32	28,86	2,94	1,75 ^{xx}	2,18 ^{xx}
ACD	12	75,12	6,26	0,64	1,75 NS	2,18 NS
BCD	12	122,33	10,19	1,04	1,75 NS	2,18 NS
ABCD	12	51,33	4,28	0,43	1,75 NS	2,18 NS
Error D	240	2358,71	9,83			
Total	399	11663,22				

xx Altamente significativo

x Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

D = Profundidad

Cuadro 21. Ecuaciones que expresan la humedad volumétrica en función del tiempo para el suelo "Instituto".

Tipo	Lámina en cm	Profundidad en cm	Función	Ecuación	R ²
A-1-d	1	1	Logarítmica	$Y = 4,1184 x^{-0,0178}$	0,98
A-2-g			Cuadrática	$Y = 59,9170 - 0,0207 X + 0,000012 X^2$	0,89
A-2-h	5	1	Cuadrática	$Y = 58,3739 - 0,0106 X + 0,000005 X^2$	0,97
A-1-e			Logarítmica	$Y = 4,0824 x^{-0,0109}$	0,90
A-2-i	1	3	Cuadrática	$Y = 58,0436 - 0,0077 X + 0,000004 X^2$	0,81
A-1-f			Logarítmica	$Y = 4,0653 - X^{0,0046}$	0,64
A-2-j	5	3	Cuadrática	$Y = 57,1711 - 0,0108 X + 0,000005 X^2$	0,89
A-3-d			Geométrica	$Y = 4,0390 - 0,00005^X$	0,80

Y = Humedad volumétrica en %

X = Tiempo en minutos después del cese de la infiltración.

Cuadro 22. Ecuaciones que expresan la humedad volumétrica (Hv) o el espacio aéreo en función de la lámina de agua, el tiempo, la profundidad y la humedad volumétrica precedente o el espacio aéreo precedente para el suelo "Margot".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-4-c	Cuadrática múltiple	$Y = 51,5709 + 1,049X_1 - 0,0036X_2 - 0,4654X_3$ $+ 0,4654X_3^2 - 0,0002X_1X_2 - 0,048X_1X_3 +$ $0,0002X_2X_3$	0,58
A-4-d	Cuadrática múltiple	$Y = 60,3210 - 0,3004X_1 - 0,0092X_2^2$ $- 0,9094X_3 + 0,0267X_3^2 - 0,0001X_1X_2 +$ $0,242X_1X_3 + 0,0001X_2X_3$	0,83
A-4-h	Cuadrática múltiple	$Y = 3,5068 + 0,1523X_1 - 0,00005X_2$ $+ 0,3869X_3 - 0,075X_3^2 + 0,00006X_1X_2 -$ $0,0137X_1X_3 - 0,0005X_2X_3$	0,86
A-4-g	Cuadrática múltiple	$Y = 6,2831 - 0,4901X_1 - 0,0008X_2$ $+ 0,5634X_3 - 0,0281X_3^2 + 0,0001X_1X_2 +$ $0,0186X_1X_3 - 0,0001X_2X_3$	0,40

Y = Humedad volumétrica en % o espacio aéreo en %

X₁ = Lámina de agua en cm

X₂ = Tiempo en minutos

X₃ = Profundidad en cm

X₄ = Humedad volumétrica precedente o espacio aéreo precedente en %

Cont. Cuadro 22.

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-5-c	Cuadrática múltiple	$Y = -49,822 - 4,9019X_1 - 0,0178X_2$ $+ 0,1950X_3 + 5,6872X_4 + 0,000001X_2^2$ $- 0,0078X_3^2 - 0,7835X_4^2 - 0,0003X_1X_2$ $- 0,0964X_1X_3 + 0,1501X_1X_4 +$ $0,00004X_2X_3 + 0,0004X_2X_4$	0,65
A-5-d	Cuadrática múltiple	$Y = 47,2941 - 1,1468X_1 - 0,0177X_2$ $+ 0,0926X_3 + 0,8081X_4 + 0,000005X_2^2 -$ $0,0252X_3^2 - 0,0136X_4^2 - 0,0002X_1X_2$ $+ 0,0017X_1X_3 + 0,0299X_1X_4 + 0,00003X_2X_3$ $+ 0,0002X_2X_4 - 0,0185X_3X_4$	0,88
A-5-g	Cuadrática múltiple	$Y = -346,4215 + 22,7977X_1 - 0,0062X_2$ $- 2,5239X_3 + 68,8827X_4 + 0,000001X_2^2$ $+ 0,2020X_3^2 - 3,1389X_4^2 + 0,0001X_1X_2$ $- 0,2159X_1X_3 - 2,4516X_1X_4$ $+ 0,000004X_2X_3 + 0,000491X_2X_4$ $+ 0,0281X_3X_4$	0,52
A-5-h	Cuadrática múltiple	$Y = 14,5970 - 0,4762X_1 - 0,0014X_2$ $+ 0,6025X_3 - 2,5381X_4 - 0,0188X_3^2$ $+ 0,1306X_4^2 + 0,00006X_1X_2 - 0,0124X_1X_3$ $+ 0,0768X_1X_4 - 0,00001X_2X_3$ $+ 0,0001X_2X_4$	0,91

Cuadro 23. Valores de humedad volumétrica precedente* en porcentaje observados para el suelo

"Margot", franco arcilloso.

Tratamiento Lámina cm	Profundidad cm	1		2		3		4		5		Promedio	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
1,0	0 - 2	32,25	27,69	29,64	37,14	24,83	27,50	36,94	40,67	41,84	38,59	33,10	34,32
	2 - 4	40,43	22,46	44,17	49,75	31,84	35,91	49,28	42,51	49,57	46,87	43,10	39,50
	4 - 9	44,05	52,61	63,04	58,79	35,49	40,76	44,11	42,76	41,58	41,06	45,65	47,20
	9 - 20	49,19	49,72	49,91	46,27	40,51	40,26	40,45	43,12	40,22	39,95	44,20	43,86
5,0	0 - 2	31,73	30,72	34,35	38,96	36,00	39,41	45,91	39,67	35,82	38,01	36,76	37,35
	2 - 4	42,55	46,32	54,40	58,63	43,04	48,08	53,42	46,60	39,16	37,43	46,51	47,41
	4 - 9	43,71	54,77	48,87	56,48	45,74	46,91	57,99	46,61	37,23	41,29	46,71	49,21
	9 - 20	46,08	50,77	44,14	45,53	45,52	43,95	50,51	41,77	39,13	42,56	45,07	44,92

* Se refiere a la humedad del suelo antes de aplicar los tratamientos

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 24. Valores estimados de humedad volumétrica para el suelo "Margot" en presencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y humedad volumétrica precedente.

LAMINA	TIEMPO	PROFUND.	HUMEDAD VOLUMÉTRICA PRECEDENTE						
			30.00	34.00	38.00	42.00	46.00	48.00	52.00
1.00	1.00	1.00	49.96	53.26	54.04	52.32	48.10	45.14	37.16
1.00	1.00	3.00	50.10	53.39	54.18	52.46	48.23	45.19	37.19
1.00	1.00	6.50	50.18	53.48	54.26	52.54	48.32	45.25	37.28
1.00	1.00	14.50	49.66	52.95	53.74	52.02	47.79	44.74	36.75
1.00	1.00	20.00	48.72	52.01	52.80	51.08	46.85	43.80	35.81
1.00	36.00	1.00	49.72	53.01	53.90	52.23	48.06	45.13	37.09
1.00	36.00	3.00	49.86	53.20	54.04	52.37	48.20	45.17	37.23
1.00	36.00	6.50	49.95	53.29	54.13	52.46	48.29	45.26	37.32
1.00	36.00	14.50	49.43	52.78	53.62	51.95	47.77	44.75	36.81
1.00	36.00	20.00	48.50	51.85	52.69	51.02	46.84	43.81	35.88
1.00	216.00	1.00	49.50	52.11	53.21	51.80	47.89	45.00	37.32
1.00	216.00	3.00	49.65	52.26	53.36	51.96	48.00	45.15	37.48
1.00	216.00	6.50	49.77	52.38	53.48	52.05	48.16	45.27	37.61
1.00	216.00	14.50	48.32	51.93	53.03	51.63	47.72	44.82	37.15
1.00	216.00	20.00	47.43	51.04	52.14	50.74	46.83	43.93	36.26
1.00	536.00	1.00	46.48	50.56	52.14	51.20	47.76	45.10	37.90
1.00	536.00	3.00	46.67	50.75	52.32	51.35	47.94	45.28	38.08
1.00	536.00	6.50	46.83	50.91	52.49	51.55	48.11	45.45	38.21
1.00	536.00	14.50	46.50	50.58	52.15	51.21	47.77	45.11	37.91
1.00	536.00	20.00	45.69	49.77	51.34	50.40	46.96	44.30	37.10
1.00	936.00	1.00	44.26	48.92	51.08	50.74	47.88	45.51	38.90
1.00	936.00	3.00	44.47	49.14	51.30	50.95	48.10	45.75	39.12
1.00	936.00	6.50	44.70	49.37	51.53	51.18	48.33	45.96	39.34
1.00	936.00	14.50	44.51	49.17	51.33	50.99	48.13	45.75	39.15
1.00	936.00	20.00	43.79	48.46	50.62	50.27	47.42	45.15	38.43
1.00	1296.00	1.00	42.53	47.72	50.41	50.59	48.26	45.16	38.47
1.00	1296.00	3.00	42.78	47.97	50.66	50.84	48.51	45.41	38.72
1.00	1296.00	6.50	43.06	48.25	50.94	51.12	48.80	45.69	39.01
1.00	1296.00	14.50	42.99	48.19	50.87	51.06	48.73	45.63	38.94
1.00	1296.00	20.00	42.36	47.56	50.25	50.43	48.10	45.01	38.31
5.00	1.00	1.00	47.98	53.68	56.87	57.55	55.72	53.87	49.28
5.00	1.00	3.00	47.34	53.04	56.23	56.91	55.08	53.23	47.65
5.00	1.00	6.50	46.08	51.78	54.96	55.65	53.82	51.97	46.38
5.00	1.00	14.50	42.47	48.16	51.35	52.03	50.21	48.36	42.77
5.00	1.00	20.00	39.41	45.10	48.29	48.97	47.15	45.29	39.71
5.00	36.00	1.00	47.71	53.44	56.68	57.42	55.64	53.82	49.28
5.00	36.00	3.00	47.86	52.81	56.05	56.78	55.01	53.18	47.65
5.00	36.00	6.50	46.80	51.55	54.79	55.52	53.75	51.92	46.39
5.00	36.00	14.50	42.21	47.95	51.19	51.93	50.15	48.32	42.79
5.00	36.00	20.00	39.15	44.90	48.14	48.87	47.10	45.27	39.74
5.00	216.00	1.00	46.28	52.29	55.79	56.79	55.28	53.58	49.31
5.00	216.00	3.00	45.66	51.67	55.17	56.17	54.65	52.97	47.71
5.00	216.00	6.50	44.43	50.44	53.94	54.94	53.43	51.73	46.46
5.00	216.00	14.50	40.89	46.90	50.41	51.40	49.89	48.20	42.93
5.00	216.00	20.00	37.88	43.89	47.40	48.39	46.88	45.19	39.92
5.00	536.00	1.00	43.91	50.39	54.37	55.83	54.79	53.33	48.53
5.00	536.00	3.00	43.32	49.80	53.78	55.24	54.20	52.74	47.94
5.00	536.00	6.50	42.14	48.52	52.59	54.06	53.02	51.56	46.76
5.00	536.00	14.50	38.72	45.20	49.17	50.64	49.60	48.14	43.34
5.00	536.00	20.00	35.78	42.26	46.24	47.71	46.67	45.20	40.71
5.00	936.00	1.00	41.24	48.31	52.87	54.93	54.47	53.31	48.09
5.00	936.00	3.00	40.69	47.76	52.32	54.37	53.92	52.75	47.54
5.00	936.00	6.50	39.57	46.64	51.20	53.25	52.80	51.63	47.02
5.00	936.00	14.50	36.29	43.35	47.92	49.97	49.52	48.35	44.14
5.00	936.00	20.00	33.45	40.52	45.08	47.13	46.68	45.51	41.30
5.00	1296.00	1.00	39.11	46.71	51.80	54.38	54.46	53.56	49.57
5.00	1296.00	3.00	38.59	46.19	51.28	53.86	53.94	53.03	47.95
5.00	1296.00	6.50	37.53	45.12	50.21	52.80	52.87	51.97	46.38
5.00	1296.00	14.50	34.37	41.97	47.06	49.64	49.72	48.81	43.13
5.00	1296.00	20.00	31.62	39.22	44.31	46.89	46.97	46.06	42.35

Cuadro 25. Valores estimados de humedad volumétrica para el suelo "Margot" en ausencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y humedad volumétrica precedente.

LÁMINA	TIEMPO	PROFUND.	HUMEDAD VOLUMÉTRICA PRECEDENTE						
			30.00	34.00	38.00	42.00	46.00	48.00	52.00
1.00	1.00	1.00	59.34	59.13	58.48	57.40	55.87	54.95	52.77
1.00	1.00	3.00	59.88	59.52	58.72	57.49	55.82	54.82	52.50
1.00	1.00	6.50	60.34	59.72	58.66	57.17	55.24	54.11	51.52
1.00	1.00	14.50	59.06	57.85	56.20	54.11	51.59	50.16	46.98
1.00	1.00	20.00	56.31	54.69	52.63	50.13	47.20	45.57	41.98
1.00	36.00	1.00	58.95	58.77	58.15	57.10	55.61	54.70	52.55
1.00	36.00	3.00	59.50	59.17	58.40	57.20	55.56	54.57	52.28
1.00	36.00	6.50	59.96	59.37	58.34	56.88	54.98	53.87	51.31
1.00	36.00	14.50	58.69	57.50	55.80	53.83	51.33	49.92	46.73
1.00	36.00	20.00	55.94	54.35	52.32	49.85	46.95	45.34	41.75
1.00	216.00	1.00	57.15	57.13	56.67	55.77	54.44	53.61	51.63
1.00	216.00	3.00	57.70	57.53	56.92	55.88	54.40	53.50	51.36
1.00	216.00	6.50	58.18	57.75	56.88	55.50	53.84	52.81	50.41
1.00	216.00	14.50	56.95	55.93	54.47	52.57	50.24	48.90	45.92
1.00	216.00	20.00	54.23	52.80	50.93	48.62	45.88	44.35	40.35
1.00	536.00	1.00	54.74	55.00	54.83	54.22	53.17	52.48	50.70
1.00	536.00	3.00	55.31	55.43	55.10	54.34	53.14	52.38	50.53
1.00	536.00	6.50	55.82	55.68	55.09	54.07	52.61	51.72	49.61
1.00	536.00	14.50	54.67	53.93	52.75	51.13	49.08	47.59	45.10
1.00	536.00	20.00	52.00	50.85	49.26	47.24	44.78	43.38	40.27
1.00	936.00	1.00	53.18	53.79	53.97	53.71	53.01	52.53	51.15
1.00	936.00	3.00	53.77	54.23	54.26	53.86	53.01	52.43	51.13
1.00	936.00	6.50	54.32	54.52	54.29	53.63	52.52	51.81	50.35
1.00	936.00	14.50	53.25	52.86	52.04	50.78	49.04	48.07	45.71
1.00	936.00	20.00	51.64	49.84	48.61	46.94	44.88	43.62	40.86
1.00	1296.00	1.00	53.13	54.07	54.56	54.62	54.29	53.59	52.36
1.00	1296.00	3.00	53.75	54.53	54.88	54.79	54.26	53.59	52.06
1.00	1296.00	6.50	54.33	54.85	54.94	54.59	53.81	53.25	51.91
1.00	1296.00	14.50	53.34	53.27	52.77	51.82	50.44	49.59	47.56
1.00	1296.00	20.00	50.79	50.31	49.40	48.04	46.26	45.20	42.76
5.00	1.00	1.00	58.35	58.62	58.45	57.84	56.80	56.11	54.42
5.00	1.00	3.00	58.91	59.02	58.70	57.95	56.76	56.00	54.15
5.00	1.00	6.50	59.39	59.24	58.67	57.65	56.20	55.31	53.20
5.00	1.00	14.50	54.16	57.43	56.25	54.65	52.60	51.41	48.71
5.00	1.00	20.00	55.45	54.30	52.72	50.70	48.25	46.66	43.75
5.00	36.00	1.00	57.93	58.23	58.09	57.51	56.50	55.83	54.16
5.00	36.00	3.00	58.48	58.63	58.34	57.62	56.46	55.72	53.90
5.00	36.00	6.50	58.97	58.86	58.31	57.33	55.91	55.03	52.96
5.00	36.00	14.50	57.75	57.05	55.91	54.33	52.31	51.14	48.47
5.00	36.00	20.00	55.04	53.93	52.38	50.39	47.97	46.59	43.52
5.00	216.00	1.00	55.95	56.40	56.42	56.01	55.15	54.56	53.06
5.00	216.00	3.00	56.51	56.82	56.69	56.13	55.12	54.46	52.80
5.00	216.00	6.50	57.01	57.06	56.67	55.85	54.59	53.79	51.88
5.00	216.00	14.50	55.84	55.29	54.31	52.89	51.04	49.94	47.43
5.00	216.00	20.00	53.15	52.20	50.81	48.98	46.72	45.42	42.50
5.00	536.00	1.00	53.22	53.96	54.26	54.13	53.56	53.11	51.69
5.00	536.00	3.00	53.81	54.40	54.55	54.27	53.55	53.03	51.65
5.00	536.00	6.50	54.34	54.67	54.56	54.02	53.04	52.39	50.76
5.00	536.00	14.50	53.24	52.97	52.27	51.14	49.56	48.61	46.39
5.00	536.00	20.00	50.60	49.93	48.82	47.28	45.30	44.14	41.31
5.00	936.00	1.00	51.26	52.35	53.01	53.23	53.01	52.74	51.67
5.00	936.00	3.00	51.86	52.81	53.32	53.39	53.02	52.68	51.66
5.00	936.00	6.50	52.44	53.12	53.37	53.18	52.56	52.08	50.80
5.00	936.00	14.50	51.42	51.51	51.17	50.38	49.17	48.39	46.32
5.00	936.00	20.00	48.85	48.53	47.78	46.59	44.96	43.98	41.70
5.00	1296.00	1.00	50.86	52.27	53.24	53.78	53.88	53.77	53.22
5.00	1296.00	3.00	51.48	52.75	53.57	53.96	53.91	53.73	53.03
5.00	1296.00	6.50	52.09	53.09	53.66	53.79	53.48	53.17	52.21
5.00	1296.00	14.50	51.16	51.57	51.54	51.07	50.17	49.56	48.01
5.00	1296.00	20.00	48.64	48.64	48.20	47.33	46.02	45.20	43.24

Cuadro 26. Análisis de variancia del espacio aéreo del suelo
"Instituto" Franco.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	5776,91	1444,23	4,51	7,01 NS	3,84 *
A	2	11938,45	5969,22	18,64	8,65 **	4,46 **
Error A	8	2562,04	320,25			
B	1	90,64	90,64	0,69	9,33 NS	4,75 NS
AB	2	101,81	50,90	0,39	6,93 NS	3,89 NS
Error B	12	1558,58	129,88			
C	4	3494,90	873,72	49,79	3,48 **	2,45 **
AC	8	854,25	106,78	6,08	2,66 **	2,02 **
BC	4	71,28	17,82	1,01	3,48 NS	2,45 NS
ABC	8	108,40	13,55	0,77	2,66 NS	2,02 NS
Error C	96	1684,48	17,54			
D	3	1040,38	347,95	39,93	3,78 **	2,60 **
AD	6	715,56	119,26	13,68	2,80 **	2,10 **
BD	3	31,94	10,65	1,22	3,78 NS	2,60 NS
ABD	6	119,18	19,86	2,28	2,80 NS	2,10 NS
CD	12	86,12	7,17	0,82	2,18 NS	1,75 NS
ACD	24	601,43	25,06	2,87	1,79 **	1,52 **
BCD	12	76,64	6,38	0,73	2,18 NS	1,75 NS
ABCD	24	106,34	4,43	0,51	1,79 NS	1,52 NS
Error D	360	3137,67	8,71			
Total	599	34156,67				

** Altamente significativo

* Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

D = Profundidad

Cuadro 27. Valores de espacio aéreo ponderado* observado para le suelo "Instituto" Arcilloso.

Bloque No	1		2		3		4		5		Promedio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Tratamien to												
Tiempo minutos												
Lámina cm												
1,0	21,43	17,45	20,86	20,22	30,34	29,73	19,25	21,96	12,23	14,63	20,82	20,80
	22,24	19,10	20,32	24,90	28,55	30,67	18,74	23,49	11,22	15,91	20,21	22,81
	22,02	16,60	23,62	27,74	29,77	31,45	18,51	23,20	10,45	12,16	20,92	22,23
	24,19	19,95	21,49	26,13	31,64	28,87	19,34	22,00	10,06	11,52	21,34	21,69
	23,05	20,35	21,81	24,66	28,71	28,85	19,14	19,65	14,76	14,86	21,49	21,67
5,0	16,58	14,33	6,50	16,30	14,57	15,76	1,31	5,33	0,28	10,95	12,02	12,53
	17,53	5,91	10,53	12,15	9,49	10,25	3,76	2,23	0,13	5,88	8,29	7,28
	19,79	8,85	12,55	14,23	10,32	13,44	11,78	7,22	8,53	8,68	12,14	10,48
	20,35	9,47	13,88	15,70	12,85	14,65	13,82	9,18	12,34	11,79	14,65	12,16
	17,53	15,11	17,90	17,30	16,04	14,64	18,24	12,99	12,40	12,85	16,42	14,96
10,0	8,12	6,15	3,38	0,40	7,94	11,81	11,61	3,17	0,79	1,14	6,37	4,53
	12,87	9,52	4,74	3,55	10,57	10,72	11,13	3,04	2,72	3,81	8,32	6,13
	12,67	8,82	8,38	11,92	12,65	15,37	19,57	8,23	4,53	4,44	11,56	9,76
	16,01	11,46	15,07	13,70	14,70	14,19	15,34	11,73	11,84	9,59	14,59	12,13
	18,41	12,87	14,92	15,78	17,16	16,54	18,89	14,61	12,02	10,42	16,28	14,04

* En función de la profundidad

A: Sin cobertura

B: Con cobertura

Cuadro 28. Ecuaciones que expresan el espacio aéreo (Ea) ponderado, en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Instituto".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-6-a	Cuadrática múltiple	$Y = 22,048 - 3,2786X_1 + 0,2143X_2 + 0,2017X_1^2 - 0,00001X_2^2$	0,89
A-6-b	Cuadrática múltiple	$Y = 24,1028 - 4,0273X_1 + 0,0149X_2 + 0,2396X_1^2 - 0,00008X_2^2$	0,90

Y = Espacio aéreo ponderado en %

X₁ = Lámina de agua en cm

X₂ = Tiempo en minutos

Cuadro 29. Valores de espacio aéreo precedente* en porcentaje observados para el suelo "Instituto", Franco.

BLOQUE N ^o	1		2		3		4		5		Promedio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Tratamiento												
Profundidad												
Lámina cm												
0 - 2	34,27	28,33	38,49	37,87	46,80	23,41	39,46	37,74	33,32	38,48	38,47	37,16
2 - 4	30,62	24,40	29,97	33,06	40,65	38,48	20,79	32,18	25,10	31,90	29,43	32,00
4 - 9	31,37	25,57	27,54	31,97	35,41	30,66	27,07	29,08	21,68	23,71	28,61	28,20
9 - 20	23,92	25,70	19,52	27,67	43,89	28,25	21,41	27,98	18,05	21,15	25,54	26,15
0 - 2	37,60	36,68	34,02	39,87	50,52	45,29	27,30	31,08	39,88	36,01	37,86	37,79
2 - 4	42,69	30,83	35,61	34,00	41,45	46,14	22,28	25,83	25,06	28,29	33,54	33,02
4 - 9	37,59	23,10	28,17	29,41	36,05	34,06	23,79	20,75	20,48	19,45	29,22	25,35
9 - 20	33,13	25,37	25,57	23,60	24,06	27,11	17,95	15,35	16,91	15,61	23,52	21,41
0 - 2	41,86	30,25	33,11	43,47	49,85	43,56	38,79	42,33	43,77	39,12	41,48	39,75
2 - 4	37,23	25,16	34,11	44,07	43,86	39,92	32,53	30,50	36,51	24,65	36,85	32,86
4 - 9	28,73	26,68	28,87	31,65	36,22	36,39	25,57	26,46	26,51	24,32	29,21	29,10
9 - 20	27,08	18,10	24,60	24,63	28,90	33,14	27,10	21,98	18,15	19,77	25,17	23,52

* Se refiere al espacio aéreo del suelo antes de aplicar los tratamientos.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 30. Valores estimados de espacio aéreo para el suelo "Instituto" en presencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y espacio aéreo precedente.

LÁMINA	TIEMPO	PROFUND.	ESPACIO AEREO PRECEDENTE						
			20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00	44.00
1.00	1.00	1.00	-15.78	0.03	10.83	16.61	17.36	13.10	3.01
1.00	1.00	3.00	-7.06	6.39	14.83	18.24	16.63	10.00	-1.64
1.00	1.00	6.50	5.56	14.88	19.18	18.45	12.71	1.94	-13.84
1.00	1.00	14.50	21.78	21.64	16.48	6.30	-8.90	-29.12	-54.37
1.00	1.00	23.00	22.73	16.08	4.42	-12.23	-33.96	-60.69	-92.44
1.00	3.00	1.00	-14.51	0.99	11.78	17.54	18.28	14.00	4.70
1.00	3.00	3.00	-8.59	7.34	15.76	19.16	17.54	10.09	-0.76
1.00	3.00	6.50	7.51	15.41	20.10	19.36	13.60	2.81	-12.78
1.00	3.00	14.50	22.69	22.34	17.36	7.16	-8.04	-28.28	-53.55
1.00	3.00	23.00	23.61	16.95	5.28	-11.41	-33.13	-59.88	-91.64
1.00	6.00	1.00	-17.48	0.24	15.00	21.64	22.31	17.55	0.57
1.00	6.00	3.00	-11.01	11.54	19.89	23.21	21.52	14.80	3.55
1.00	6.00	6.50	10.77	19.93	24.14	23.32	17.49	6.83	-9.24
1.00	6.00	14.50	26.68	26.45	21.20	10.93	-4.36	-24.67	-50.01
1.00	6.00	23.00	27.46	20.73	8.98	-7.79	-29.58	-56.40	-88.24
1.00	9.00	1.00	-9.67	9.92	20.50	26.00	26.59	22.10	12.59
1.00	9.00	3.00	2.90	16.13	24.30	27.54	25.71	18.50	6.98
1.00	9.00	6.50	15.26	24.36	28.44	27.47	21.52	10.53	-9.47
1.00	9.00	14.50	31.77	30.37	25.14	14.74	-0.66	-21.13	-48.00
1.00	9.00	23.00	31.42	24.56	12.67	-4.23	-26.16	-53.11	-85.18
1.00	12.00	1.00	-11.64	10.59	21.20	26.39	26.70	22.20	12.42
1.00	12.00	3.00	3.62	16.49	24.73	27.75	25.76	19.74	6.70
1.00	12.00	6.50	17.79	24.72	28.63	27.51	21.55	12.22	-9.59
1.00	12.00	14.50	31.97	30.43	24.88	14.31	-1.27	-21.89	-48.00
1.00	12.00	23.00	31.19	24.16	12.11	-4.96	-27.20	-54.17	-85.03
1.00	12.00	30.00	-9.41	6.25	18.92	21.70	21.69	17.17	7.55
1.00	12.00	3.00	-1.65	12.26	20.16	23.03	20.83	18.71	1.92
1.00	12.00	6.50	11.33	20.12	23.87	22.61	16.33	9.02	-11.00
1.00	12.00	14.50	28.10	25.43	19.73	9.01	-6.73	-27.47	-53.28
1.00	12.00	23.00	28.05	18.87	8.67	-10.54	-32.79	-60.00	-92.34
1.00	15.00	1.00	-31.17	-13.41	-1.43	5.43	8.12	2.55	-4.58
1.00	15.00	3.00	-22.48	-7.19	2.67	7.22	7.74	2.55	-7.40
1.00	15.00	6.50	-8.83	2.01	7.44	8.85	4.44	-4.78	-11.24
1.00	15.00	14.50	8.80	10.20	6.50	-7.06	-15.73	-34.42	-54.16
1.00	15.00	23.00	17.73	5.63	-6.49	-19.67	-39.81	-65.11	-98.17
1.00	18.00	1.00	-30.14	-12.79	-0.47	6.21	9.07	6.24	-1.04
1.00	18.00	3.00	-21.15	-6.88	3.86	8.79	8.71	3.09	-8.87
1.00	18.00	6.50	-7.83	3.00	8.82	9.62	5.39	-3.55	-11.02
1.00	18.00	14.50	9.77	11.15	7.51	-1.14	-14.82	-34.93	-57.00
1.00	18.00	23.00	11.67	6.55	-3.58	-18.74	-36.93	-64.14	-94.57
1.00	21.00	1.00	-25.53	-8.26	3.98	11.70	13.40	9.75	7.75
1.00	21.00	3.00	-16.31	-1.70	8.27	13.13	12.97	7.08	-2.17
1.00	21.00	6.50	-9.36	7.40	13.14	13.56	9.56	3.24	-10.10
1.00	21.00	14.50	14.04	15.35	11.63	2.89	-10.85	-29.54	-53.60
1.00	21.00	23.00	15.80	10.61	0.29	-14.84	-35.10	-60.94	-93.00
1.00	24.00	1.00	-20.21	-3.58	9.03	18.11	18.14	13.23	7.25
1.00	24.00	3.00	-11.28	3.48	13.20	17.96	17.50	12.34	2.20
1.00	24.00	6.50	1.70	12.35	17.94	18.55	14.11	8.11	-9.53
1.00	24.00	14.50	18.75	19.92	16.00	7.71	-6.87	-23.50	-47.00
1.00	24.00	23.00	20.21	20.27	14.59	-10.77	-31.24	-58.00	-90.00
1.00	27.00	1.00	-18.75	-1.78	10.13	17.00	18.75	10.66	7.11
1.00	27.00	3.00	-9.93	4.87	14.20	18.40	18.96	14.86	2.21
1.00	27.00	6.50	7.88	13.32	18.70	19.18	14.98	8.77	-9.51
1.00	27.00	14.50	19.44	21.06	18.40	7.44	-8.00	-26.74	-51.02
1.00	27.00	23.00	20.86	19.17	14.80	-10.00	-31.00	-58.00	-90.00
1.00	30.00	1.00	-22.36	-3.24	8.24	13.02	14.00	10.00	7.00
1.00	30.00	3.00	-13.84	0.87	10.24	14.64	14.50	8.00	-1.00
1.00	30.00	6.50	-1.02	9.78	14.50	14.85	10.13	0.12	-14.00
1.00	30.00	14.50	13.16	16.12	11.46	2.87	-11.33	-30.00	-53.00
1.00	30.00	23.00	15.11	10.45	-0.70	-15.00	-30.00	-58.00	-90.00
1.00	33.00	1.00	-23.96	-18.00	-3.00	5.39	8.00	6.00	2.00
1.00	33.00	1.00	4.31	10.92	8.90	7.83	9.07	8.00	12.11
1.00	33.00	1.00	-13.79	-1.02	6.72	9.40	7.10	-4.19	-12.00
1.00	33.00	1.00	14.50	8.83	8.94	7.24	0.51	-11.24	-22.00
1.00	33.00	3.00	1.78	9.60	-2.60	-15.83	-34.00	-57.00	-90.00
1.00	33.00	3.00	-36.26	-17.00	-2.70	4.40	10.84	9.00	3.00
1.00	33.00	3.00	-28.74	-9.00	2.02	8.87	10.71	9.00	3.00
1.00	33.00	6.50	-12.72	0.03	7.75	10.40	8.17	2.00	-11.00
1.00	33.00	14.50	0.66	9.94	8.24	1.50	-10.26	-27.00	-48.00
1.00	33.00	23.00	9.79	6.59	-1.62	-14.87	-33.14	-56.00	-90.00
1.00	36.00	1.00	-21.29	-12.11	2.04	11.19	15.38	14.00	9.00
1.00	36.00	3.00	-21.82	-5.30	6.79	13.56	15.32	12.00	3.00
1.00	36.00	6.50	-7.90	4.78	12.44	15.00	12.89	9.00	-7.10
1.00	36.00	14.50	11.29	14.51	12.71	5.90	-9.00	-22.00	-40.00
1.00	36.00	23.00	14.28	11.00	2.70	-10.61	-28.92	-52.32	-88.70
1.00	39.00	1.00	-25.35	-6.30	7.72	16.73	20.92	19.00	13.52
1.00	39.00	3.00	-15.97	0.71	12.37	19.02	20.64	17.24	3.82
1.00	39.00	6.50	-2.20	10.34	17.87	20.38	17.66	10.32	-2.23
1.00	39.00	14.50	16.63	19.72	17.79	10.84	-1.13	-19.12	-40.14
1.00	39.00	23.00	19.37	15.96	7.53	-5.92	-24.39	-47.89	-78.41
1.00	42.00	1.00	-23.10	-4.22	9.64	18.48	22.30	21.10	14.87
1.00	42.00	3.00	-13.83	2.68	14.18	20.65	22.11	18.54	9.95
1.00	42.00	6.50	-0.26	12.11	19.48	21.81	19.13	11.43	-1.29
1.00	42.00	14.50	18.12	21.04	18.95	11.83	-0.30	-17.47	-39.85
1.00	42.00	23.00	20.55	16.98	8.38	-5.23	-23.88	-47.54	-75.23
1.00	45.00	1.00	-26.01	-7.27	6.43	15.13	18.90	17.44	11.37
1.00	45.00	3.00	-16.84	-0.47	10.87	17.20	18.51	14.79	5.05
1.00	45.00	6.50	-3.44	8.78	16.00	18.19	15.25	7.50	-5.37
1.00	45.00	14.50	14.53	17.31	15.05	7.79	-4.49	-21.80	-44.13
1.00	45.00	23.00	16.69	12.97	4.22	-9.54	-28.33	-52.15	-88.99

Cuadro 31. Valores estimados de espacio aéreo para el suelo "Instituto" en ausencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y espacio aéreo precedente.

LÁMINA	TIEMPO	PROFUND.	ESPACIO AEREO PRECEDENTE						
			20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00	44.00
1.00	1.00	1.00	-9.88	1.00	9.20	14.72	17.56	17.72	15.19
1.00	1.00	3.00	-1.41	7.72	14.18	17.96	19.06	17.47	13.20
1.00	1.00	6.50	10.64	16.74	20.15	20.88	18.53	14.30	6.98
1.00	1.00	14.50	25.13	24.26	20.70	14.46	5.54	-6.05	-23.33
1.00	1.00	20.00	24.52	18.85	10.51	-0.51	-14.22	-30.61	-49.09
1.00	36.00	1.00	-8.83	2.01	10.17	15.66	18.46	18.58	16.31
1.00	36.00	3.00	-0.39	8.70	15.13	18.87	19.93	18.30	14.03
1.00	36.00	6.50	11.62	17.68	21.05	21.75	19.76	15.08	7.73
1.00	36.00	14.50	26.00	25.09	21.50	15.22	6.27	-5.37	-19.69
1.00	36.00	20.00	25.32	19.62	11.24	0.17	-13.57	-30.00	-49.11
1.00	216.00	1.00	-4.14	6.50	14.47	19.76	22.36	22.29	19.53
1.00	216.00	3.00	4.16	13.07	19.29	22.84	23.70	21.85	17.38
1.00	216.00	6.50	15.95	21.81	24.99	25.45	23.30	18.43	10.88
1.00	216.00	14.50	29.80	28.70	24.91	18.43	9.28	-2.57	-11.07
1.00	216.00	20.00	28.76	22.88	14.28	3.02	-10.92	-27.55	-48.86
1.00	536.00	1.00	1.31	11.52	19.24	24.17	26.43	26.00	22.89
1.00	536.00	3.00	9.38	17.94	23.82	27.02	27.53	25.26	20.01
1.00	536.00	6.50	20.76	26.78	29.10	25.25	26.71	21.50	14.61
1.00	536.00	14.50	33.58	32.27	28.08	21.20	11.76	-0.42	-15.29
1.00	536.00	20.00	31.99	25.74	16.81	5.70	-8.09	-26.26	-45.71
1.00	936.00	1.00	2.96	12.52	20.00	24.50	26.32	25.46	21.91
1.00	936.00	3.00	10.73	18.86	24.30	27.05	27.13	24.52	19.23
1.00	936.00	6.50	21.60	26.67	29.07	28.78	25.83	21.15	11.01
1.00	936.00	14.50	33.34	31.45	26.87	19.61	9.67	-2.94	-18.20
1.00	936.00	20.00	31.84	24.16	14.79	2.74	-11.98	-29.41	-48.71
1.00	1296.00	1.00	4.48	8.98	15.77	19.15	21.30	20.45	16.11
1.00	1296.00	3.00	7.02	14.75	19.80	22.16	21.85	18.55	13.17
1.00	1296.00	6.50	17.43	22.11	24.11	23.42	20.06	14.61	8.28
1.00	1296.00	14.50	28.11	25.82	20.85	13.20	2.87	-10.14	-25.54
1.00	1296.00	20.00	24.88	17.81	8.05	-4.39	-19.51	-37.52	-57.51
5.00	1.00	1.00	-18.47	-6.73	0.31	4.69	6.38	5.19	1.72
5.00	1.00	3.00	-9.17	-1.17	4.13	6.76	6.71	3.98	-1.42
5.00	1.00	6.50	0.85	5.80	8.07	7.65	4.56	-1.22	-9.88
5.00	1.00	14.50	10.70	8.66	3.90	-3.40	-13.47	-26.21	-41.65
5.00	1.00	20.00	8.89	0.08	-9.40	-21.58	-36.43	-55.97	-74.19
5.00	36.00	1.00	-13.35	-5.55	1.34	5.73	7.35	6.32	2.61
5.00	36.00	3.00	-8.07	-0.11	5.15	7.75	7.66	4.59	-0.55
5.00	36.00	6.50	1.91	6.82	9.05	8.59	5.46	-0.35	-8.05
5.00	36.00	14.50	11.65	9.59	4.85	-2.56	-12.67	-25.46	-40.92
5.00	36.00	20.00	7.77	0.92	-8.60	-20.81	-35.71	-53.28	-73.54
5.00	216.00	1.00	-10.27	-0.76	6.05	10.19	11.65	10.42	6.52
5.00	216.00	3.00	-3.12	4.63	9.71	12.11	11.52	8.86	3.21
5.00	216.00	6.50	6.63	11.34	13.37	12.72	9.39	5.37	-5.31
5.00	216.00	14.50	15.84	13.58	8.65	1.03	-9.26	-22.25	-37.91
5.00	216.00	20.00	11.60	4.56	-5.16	-17.57	-32.66	-50.44	-70.90
5.00	536.00	1.00	-4.11	5.34	11.51	15.30	16.41	14.53	10.58
5.00	536.00	3.00	2.79	10.20	14.93	16.98	16.35	13.03	7.03
5.00	536.00	6.50	12.14	16.50	18.19	17.19	13.50	7.14	-1.90
5.00	536.00	14.50	20.41	17.81	12.52	4.55	-6.09	-19.42	-35.44
5.00	536.00	20.00	15.53	8.13	-1.93	-14.69	-30.14	-48.28	-69.17
5.00	936.00	1.00	-1.60	7.11	13.15	16.50	17.17	15.16	10.47
5.00	936.00	3.00	5.01	11.99	16.28	17.89	16.82	13.07	5.63
5.00	936.00	6.50	13.85	17.77	19.02	17.55	13.46	6.66	-2.01
5.00	936.00	14.50	20.94	17.90	12.18	3.77	-7.30	-21.07	-37.03
5.00	936.00	20.00	15.25	7.42	-3.08	-16.25	-32.16	-50.72	-71.08
5.00	1296.00	1.00	-4.26	4.06	9.70	12.66	12.94	10.53	5.45
5.00	1296.00	3.00	2.08	8.57	12.57	13.78	12.32	8.17	1.35
5.00	1296.00	6.50	10.46	13.99	14.84	13.01	8.50	1.30	-5.08
5.00	1296.00	14.50	16.90	13.06	6.59	-1.84	-13.32	-27.49	-44.53
5.00	1296.00	20.00	10.68	1.85	-9.04	-22.65	-38.91	-57.56	-79.50
10.00	1.00	1.00	-9.20	-0.90	4.72	7.66	7.92	5.49	0.39
10.00	1.00	3.00	-3.35	3.20	7.08	8.20	6.00	2.63	-4.20
10.00	1.00	6.50	4.13	7.65	8.46	6.63	2.10	-5.10	-15.40
10.00	1.00	14.50	8.17	4.72	-1.41	-10.22	-21.72	-35.91	-52.77
10.00	1.00	20.00	0.38	-7.86	-18.78	-32.35	-48.68	-67.66	-89.31
10.00	36.00	1.00	-7.98	0.27	5.86	8.76	8.98	6.52	1.33
10.00	36.00	3.00	-2.16	4.36	8.20	9.36	7.84	3.64	-3.24
10.00	36.00	6.50	5.28	8.76	9.55	7.67	3.10	-4.15	-14.08
10.00	36.00	14.50	9.22	5.73	-0.44	-9.29	-20.83	-35.05	-51.96
10.00	36.00	20.00	1.35	-6.92	-17.88	-31.53	-47.85	-66.87	-88.57
10.00	216.00	1.00	-2.41	5.65	11.04	13.75	13.77	11.11	5.77
10.00	216.00	3.00	3.27	9.60	13.25	14.21	12.49	8.09	1.01
10.00	216.00	6.50	10.49	13.77	14.37	12.25	7.52	0.07	-10.05
10.00	216.00	14.50	13.90	10.21	3.84	-5.20	-16.94	-31.35	-48.46
10.00	216.00	20.00	5.67	-2.80	-13.96	-27.80	-44.33	-63.54	-85.43
10.00	536.00	1.00	4.61	12.33	17.37	19.73	19.40	16.39	10.70
10.00	536.00	3.00	10.06	16.04	19.34	19.96	17.89	13.14	5.71
10.00	536.00	6.50	16.87	19.81	20.05	17.62	12.50	4.71	-5.76
10.00	536.00	14.50	19.34	15.30	8.58	-0.81	-12.89	-27.66	-45.11
10.00	536.00	20.00	10.47	1.64	-9.86	-24.05	-40.93	-60.49	-82.73
10.00	936.00	1.00	8.21	15.49	20.10	22.02	21.25	17.81	11.68
10.00	936.00	3.00	13.37	18.91	21.78	21.95	19.45	14.26	6.39
10.00	936.00	6.50	19.67	22.16	21.97	19.10	13.55	5.32	-5.59
10.00	936.00	14.50	20.96	16.49	9.33	-0.50	-13.02	-28.22	-46.11
10.00	936.00	20.00	11.28	2.01	-9.92	-24.55	-41.87	-61.86	-84.54
10.00	1296.00	1.00	6.52	13.42	17.63	19.15	18.00	14.16	7.64
10.00	1296.00	3.00	11.42	16.57	19.04	18.83	15.93	10.35	2.09
10.00	1296.00	6.50	17.26	19.36	18.78	15.51	9.57	0.94	-10.36
10.00	1296.00	14.50	17.49	12.63	5.08	-5.15	-18.06	-33.66	-51.94
10.00	1296.00	20.00	7.08	-2.56	-14.90	-29.93	-47.63	-68.02	-91.09

Cuadro 32. Análisis de variancia del espacio aéreo del suelo
"Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	714,38	178,60	4,08	15,98 NS	6,39 NS
A	1	141,33	141,33	3,22	21,20 NS	7,71 NS
Error A	4	175,22	43,81			
B	1	30,50	30,50	2,30	11,26 NS	5,32 NS
AB	1	73,62	73,62	5,55	11,26 NS	5,32 [*]
Error B	8	106,03	13,25			
C	4	40,96	10,24	1,41	3,65 NS	2,53 NS
AC	4	26,26	6,56	0,91	3,65 NS	2,53 NS
BC	4	33,09	8,27	1,14	3,65 NS	2,53 NS
ABC	4	10,07	2,52	0,35	3,65 NS	2,53 NS
Error C	64	463,30	7,24			
D	3	393,45	131,15	19,85	3,78 ^{**}	2,60 ^{**}
AD	3	340,06	11,35	1,72	3,78 NS	2,60 NS
BD	3	22,92	7,64	1,15	3,78 NS	2,60 NS
ABD	3	30,39	10,13	1,53	3,78 NS	2,60 NS
CD	12	103,14	8,59	1,30	3,78 NS	2,60 NS
ACD	12	79,79	6,65	1,00	3,78 NS	2,60 NS
BCD	12	81,34	6,78	1,02	3,78 NS	2,60 NS
ABCD	12	54,16	4,51	0,68	3,78 NS	2,20 NS
Error D	240	1585,44	6,61			
Total	399	4199,51				

** Altamente significativo

* Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

D = Profundidad

Cuadro 33. Valores de espacio aéreo ponderado* observado para el suelo "Margot" Franco Arcilloso,

Tratamien to Lámina cm	Tiempo to minutos	1		2		3		4		5		Promedio	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1,0	1	6,10	4,89	6,98	5,65	9,38	7,73	7,65	6,49	8,92	7,52	7,80	6,45
	6	5,72	5,24	5,06	5,63	9,92	7,78	7,44	6,84	9,63	8,45	7,47	6,80
5,0	36	5,92	5,10	5,04	5,50	10,21	8,24	7,41	6,77	7,40	7,19	6,80	6,56
	216	5,06	5,20	5,44	5,78	9,58	8,38	7,85	7,67	7,88	8,20	7,16	7,04
1296	1296	6,52	5,55	5,46	5,90	9,49	8,26	8,48	6,76	8,77	9,69	7,74	7,23
	1	5,68	5,22	6,19	6,10	5,92	8,17	6,56	6,40	7,20	6,99	6,31	6,57
5,0	6	5,80	5,11	6,34	5,85	6,13	6,61	7,75	6,25	7,40	7,51	6,68	6,26
	36	5,35	4,97	6,22	6,46	5,57	6,24	7,52	6,95	7,44	8,26	6,42	6,57
1296	216	5,13	4,84	5,77	4,89	5,85	7,01	6,73	7,16	7,72	9,01	6,24	6,58
	1296	5,44	4,42	6,07	6,22	5,56	7,83	8,65	6,85	7,01	8,31	6,55	6,72

* En función de la profundidad

A: Sin cobertura

B: Con cobertura

Cuadro 34. Ecuaciones que expresan el espacio aéreo (Ea) ponderado, en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Margot".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-6-c	Cuadrática múltiple	$Y = 7,6374 - 0,2281X_1 - 0,0018X_2 + 0,000001X_2^2 + 0,00006X_1X_2$	0,78
A-6-d	Cuadrática múltiple	$Y = 6,6573 - 0,0481X_1 + 0,018X_2 - 0,000001X_2^2 - 0,00007X_1X_2$	0,79

Y = Espacio aéreo ponderado en %

X₁ = Lámina de agua en cm

X₂ = Tiempo en minutos

Cuadro 35. Valores de espacio aéreo precedente* en porcentaje observados para el suelo "Margot", franco arcilloso.

BLOQUE Nº	1		2		3		4		5		Promedio		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B			
1,0	0 - 2	13,24	14,92	13,57	10,24	18,07	16,49	10,88	9,65	9,66	10,83	13,08	12,43
	2 - 4	8,80	19,12	6,27	5,32	14,06	11,56	5,75	8,89	6,92	7,44	8,36	10,05
	4 - 9	8,21	5,58	4,13	4,65	13,06	7,40	8,48	9,18	9,89	10,21	8,75	7,40
	9 - 20	5,41	6,10	7,55	8,48	7,83	8,28	8,88	8,22	8,90	8,55	7,71	7,93
5,0	0 - 2	13,58	13,51	10,81	9,47	11,84	9,83	7,08	10,15	12,67	10,87	11,20	10,77
	2 - 4	8,19	6,07	4,09	4,48	4,49	6,45	4,82	7,17	10,95	11,40	7,31	7,11
	4 - 9	8,33	4,77	6,22	4,89	8,46	7,79	5,24	7,64	11,96	10,11	8,04	7,04
	9 - 20	5,56	6,16	7,43	7,10	6,85	9,83	7,70	8,49	9,30	7,79	7,37	7,87

* Se refiere al espacio aéreo del suelo antes de aplicar los tratamientos.

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 36. Valores estimados de espacio aéreo para el suelo "Margot" en presencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y espacio aéreo precedente.

LAMINA	TIEMPO	PROFUND.	ESPACIO AEREO PRECEDENTE						
			7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00
1.00	1.00	1.00	-14.75	4.61	17.71	24.53	25.08	19.34	7.33
1.00	1.00	3.00	-18.22	1.20	14.36	21.23	21.83	16.15	4.20
1.00	1.00	6.50	-20.40	-0.87	12.37	19.35	20.04	14.46	2.61
1.00	1.00	14.50	-6.81	12.94	26.42	33.62	34.54	29.19	17.55
1.00	1.00	20.00	17.53	37.44	51.07	58.43	59.51	54.31	42.83
1.00	36.00	1.00	-14.84	4.54	17.66	24.50	25.06	19.34	7.34
1.00	36.00	3.00	-18.31	1.13	14.30	21.20	21.81	16.15	4.21
1.00	36.00	6.50	-20.49	-0.94	12.32	19.31	20.03	14.46	2.62
1.00	36.00	14.50	-6.89	12.87	26.37	33.58	34.52	29.19	17.57
1.00	36.00	20.00	17.44	37.37	51.02	58.39	59.49	54.31	42.85
1.00	216.00	1.00	-15.26	4.21	17.42	24.34	24.99	19.36	7.45
1.00	216.00	3.00	-18.73	0.80	14.06	21.04	21.75	16.18	4.32
1.00	216.00	6.50	-20.91	-1.27	12.08	19.16	19.96	14.49	2.74
1.00	216.00	14.50	-7.30	12.55	26.13	33.44	34.47	29.22	17.69
1.00	216.00	20.00	17.04	37.05	50.79	58.25	59.44	54.34	42.97
1.00	536.00	1.00	-15.84	3.79	17.15	24.23	25.03	19.56	7.81
1.00	536.00	3.00	-19.31	0.38	13.79	20.93	21.79	16.38	4.68
1.00	536.00	6.50	-21.48	-1.69	11.82	19.05	20.01	14.70	3.10
1.00	536.00	14.50	-7.87	12.14	25.88	33.34	34.53	29.44	18.07
1.00	536.00	20.00	16.48	36.65	50.55	58.17	59.51	54.57	43.35
1.00	936.00	1.00	-16.29	3.54	17.10	24.38	25.38	20.10	8.55
1.00	936.00	3.00	-19.75	0.13	13.75	21.08	22.14	16.92	5.42
1.00	936.00	6.50	-21.92	-1.93	11.77	19.21	20.37	15.24	3.85
1.00	936.00	14.50	-8.29	11.91	25.85	33.51	34.89	30.00	18.82
1.00	936.00	20.00	16.06	36.43	50.53	58.34	59.88	55.14	44.12
1.00	1296.00	1.00	-16.41	3.59	17.32	24.78	25.96	20.86	9.48
1.00	1296.00	3.00	-19.87	0.19	13.98	21.49	22.73	17.68	6.36
1.00	1296.00	6.50	-22.03	-1.87	12.01	19.62	20.96	16.01	4.79
1.00	1296.00	14.50	-8.40	11.98	26.10	33.94	35.49	30.78	19.78
1.00	1296.00	20.00	15.97	36.51	50.78	58.77	60.49	55.92	45.08
5.00	1.00	1.00	6.92	16.49	19.78	16.80	7.53	-8.00	-29.82
5.00	1.00	3.00	1.72	11.35	14.70	11.77	2.56	-12.91	-34.68
5.00	1.00	6.50	-3.47	6.24	9.69	6.86	-2.24	-17.63	-39.29
5.00	1.00	14.50	3.21	13.16	16.83	14.22	5.34	-9.81	-31.25
5.00	1.00	20.00	22.80	32.91	36.73	34.28	25.56	10.55	-10.72
5.00	36.00	1.00	6.85	16.44	19.75	16.78	7.53	-7.98	-29.78
5.00	36.00	3.00	1.66	11.30	14.67	11.75	2.56	-12.90	-34.64
5.00	36.00	6.50	-3.54	6.19	9.66	6.84	-2.24	-17.61	-39.25
5.00	36.00	14.50	3.14	13.11	16.80	14.21	5.34	-9.79	-31.21
5.00	36.00	20.00	22.74	32.86	36.70	34.27	25.56	10.57	-10.69
5.00	216.00	1.00	6.54	16.22	19.62	16.74	7.58	-7.85	-29.56
5.00	216.00	3.00	1.35	11.08	14.53	11.71	2.61	-12.76	-34.42
5.00	216.00	6.50	-3.84	5.98	9.53	6.80	-2.19	-17.47	-39.03
5.00	216.00	14.50	2.84	12.90	16.67	14.17	5.40	-9.65	-30.98
5.00	216.00	20.00	22.44	32.65	36.59	34.24	25.62	10.72	-10.45
5.00	536.00	1.00	6.15	15.99	19.54	16.82	7.82	-7.45	-29.01
5.00	536.00	3.00	0.96	10.85	14.46	11.79	2.85	-12.36	-33.86
5.00	536.00	6.50	-4.23	5.75	9.46	6.89	-1.94	-17.07	-38.47
5.00	536.00	14.50	2.47	12.68	16.62	14.27	5.65	-9.24	-30.41
5.00	536.00	20.00	22.08	32.44	36.53	34.35	25.88	11.14	-9.88
5.00	936.00	1.00	5.95	15.98	19.73	17.21	8.40	-6.67	-28.03
5.00	936.00	3.00	0.77	10.85	14.66	12.19	3.44	-11.58	-32.88
5.00	936.00	6.50	-4.42	5.76	9.66	7.29	-1.35	-16.28	-37.48
5.00	936.00	14.50	2.29	12.70	16.83	14.68	6.26	-8.43	-29.41
5.00	936.00	20.00	21.91	32.47	36.76	34.77	26.50	11.95	-8.87
5.00	1296.00	1.00	6.05	16.25	20.18	17.83	9.20	-5.69	-26.88
5.00	1296.00	3.00	0.86	11.12	15.11	12.81	4.24	-10.60	-31.73
5.00	1296.00	6.50	-4.31	6.04	10.12	7.92	-0.54	-15.29	-36.32
5.00	1296.00	14.50	2.40	12.99	17.30	15.33	7.08	-7.44	-28.24
5.00	1296.00	20.00	22.03	32.77	37.23	35.42	27.32	12.95	-7.68

Cuadro 37. Valores estimados de espacio aéreo para el suelo "Margot" en ausencia de evaporación, en función de lámina de agua, tiempo, profundidad y espacio aéreo precedente.

LAMINA	TIEMPO	PROFUND.	ESPACIO AEREO PRECEDENTE						
			7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00
1.00	1.00	1.00	3.86	3.35	3.11	3.13	3.41	3.96	4.76
1.00	1.00	3.00	4.89	4.38	4.14	4.16	4.44	4.99	5.79
1.00	1.00	6.50	6.33	5.82	5.58	5.60	5.89	6.43	7.23
1.00	1.00	14.50	7.89	7.39	7.15	7.17	7.45	7.99	8.80
1.00	1.00	20.00	7.57	7.07	6.83	6.85	7.13	7.67	8.48
1.00	36.00	1.00	3.84	3.34	3.10	3.13	3.41	3.96	4.77
1.00	36.00	3.00	4.87	4.37	4.13	4.16	4.44	4.99	5.80
1.00	36.00	6.50	6.31	5.81	5.57	5.60	5.88	6.43	7.24
1.00	36.00	14.50	7.87	7.37	7.13	7.16	7.44	7.99	8.80
1.00	36.00	20.00	7.55	7.05	6.81	6.84	7.12	7.67	8.48
1.00	216.00	1.00	3.75	3.28	3.06	3.11	3.42	3.99	4.82
1.00	216.00	3.00	4.78	4.30	4.09	4.13	4.44	5.01	5.84
1.00	216.00	6.50	6.21	5.73	5.52	5.56	5.87	6.44	7.27
1.00	216.00	14.50	7.75	7.27	7.06	7.10	7.41	7.98	8.81
1.00	216.00	20.00	7.41	6.93	6.72	6.77	7.07	7.64	8.47
1.00	536.00	1.00	3.60	3.16	2.99	3.07	3.42	4.03	4.90
1.00	536.00	3.00	4.61	4.18	4.00	4.09	4.44	5.04	5.91
1.00	536.00	6.50	6.03	5.59	5.42	5.50	5.82	6.46	7.33
1.00	536.00	14.50	7.53	7.09	6.92	7.00	7.35	7.96	8.83
1.00	536.00	20.00	7.17	6.73	6.55	6.64	6.99	7.59	8.46
1.00	936.00	1.00	3.41	3.02	2.90	3.03	3.43	4.08	5.00
1.00	936.00	3.00	4.41	4.02	3.90	4.03	4.43	5.09	6.00
1.00	936.00	6.50	5.80	5.41	5.29	5.42	5.82	6.48	7.40
1.00	936.00	14.50	7.26	6.87	6.74	6.88	7.27	7.93	8.85
1.00	936.00	20.00	6.86	6.47	6.35	6.48	6.88	7.54	8.45
1.00	1296.00	1.00	3.24	2.89	2.81	2.99	3.43	4.13	5.10
1.00	1296.00	3.00	4.23	3.88	3.80	3.98	4.42	5.12	6.09
1.00	1296.00	6.50	5.60	5.26	5.18	5.35	5.79	6.50	7.46
1.00	1296.00	14.50	7.01	6.67	6.59	6.76	7.21	7.91	8.87
1.00	1296.00	20.00	6.59	6.24	6.16	6.34	6.78	7.48	8.44
5.00	1.00	1.00	4.05	3.86	3.93	4.25	4.84	5.69	6.80
5.00	1.00	3.00	4.99	4.79	4.86	5.18	5.77	6.62	7.73
5.00	1.00	6.50	6.25	6.06	6.12	6.45	7.04	7.89	9.00
5.00	1.00	14.50	7.42	7.23	7.29	7.62	8.21	9.06	10.17
5.00	1.00	20.00	6.83	6.64	6.70	7.03	7.62	8.47	9.58
5.00	36.00	1.00	4.05	3.86	3.93	4.26	4.85	5.71	6.82
5.00	36.00	3.00	4.98	4.79	4.86	5.19	5.78	6.63	7.75
5.00	36.00	6.50	6.24	6.05	6.12	6.45	7.05	7.90	9.02
5.00	36.00	14.50	7.41	7.22	7.29	7.62	8.21	9.07	10.18
5.00	36.00	20.00	6.81	6.62	6.69	7.03	7.62	8.47	9.59
5.00	216.00	1.00	4.01	3.84	3.93	4.28	4.90	5.77	6.91
5.00	216.00	3.00	4.93	4.76	4.85	5.21	5.82	6.70	7.84
5.00	216.00	6.50	6.19	6.02	6.11	6.46	7.08	7.96	9.09
5.00	216.00	14.50	7.33	7.16	7.25	7.61	8.22	9.10	10.24
5.00	216.00	20.00	6.72	6.55	6.65	7.00	7.61	8.49	9.63
5.00	536.00	1.00	3.93	3.80	3.94	4.33	4.98	5.90	7.08
5.00	536.00	3.00	4.85	4.72	4.85	5.24	5.90	6.81	7.99
5.00	536.00	6.50	6.09	5.96	6.09	6.48	7.14	8.05	9.23
5.00	536.00	14.50	7.19	7.06	7.20	7.59	8.24	9.16	10.34
5.00	536.00	20.00	6.56	6.43	6.56	6.95	7.61	8.52	9.70
5.00	936.00	1.00	3.84	3.76	3.94	4.39	5.09	6.05	7.28
5.00	936.00	3.00	4.74	4.66	4.85	5.29	5.99	6.96	8.18
5.00	936.00	6.50	5.96	5.88	6.06	6.51	7.21	8.18	9.40
5.00	936.00	14.50	7.02	6.94	7.12	7.56	8.27	9.23	10.46
5.00	936.00	20.00	6.35	6.27	6.45	6.90	7.60	8.56	9.79
5.00	1296.00	1.00	3.76	3.72	3.95	4.44	5.18	6.19	7.46
5.00	1296.00	3.00	4.65	4.62	4.84	5.33	6.08	7.09	8.36
5.00	1296.00	6.50	5.85	5.82	6.04	6.53	7.28	8.29	9.56
5.00	1296.00	14.50	6.87	6.83	7.06	7.54	8.29	9.30	10.57
5.00	1296.00	20.00	6.17	6.13	6.36	6.84	7.59	8.60	9.87

Cuadro 38. Tensión de humedad en centibares* observada durante el experimento para el suelo "Instituto".

Bloque o Repetición	1		2		3		4		5		Promedio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Tratamien to Lámina água (cm)												
	Tiempo minutos											
1,0	29,0	27,0	13,0	20,0	25,0	18,0	15,0	13,0	6,0	11,0	17,8	17,8
	11,0	13,5	10,0	14,0	22,0	22,0	9,5	9,5	3,0	5,5	11,1	12,9
	10,5	12,5	10,0	13,5	19,0	15,0	5,5	8,0	3,0	5,5	9,6	11,1
	10,0	13,0	12,5	14,5	24,0	15,5	4,0	7,5	5,0	5,5	11,3	11,4
	11,0	10,0	15,0	16,5	35,0	19,5	4,0	6,5	9,0	9,0	14,9	12,3
5,0	6,0	9,0	8,0	9,5	4,0	2,0	0,0	2,0	3,0	2,0	4,0	4,9
	6,0	7,5	8,0	10,0	5,0	2,5	0,0	2,0	3,0	3,0	4,4	5,0
	7,5	8,5	9,0	10,0	5,0	4,0	0,0	4,5	4,0	6,0	5,1	6,6
	7,0	8,5	7,0	12,5	5,0	5,0	3,0	9,0	5,0	4,0	5,4	7,8
	10,0	10,0	8,3	11,5	5,0	8,0	5,5	8,0	7,0	5,5	7,2	8,8
10,0	2,0	5,0	4,0	7,0	4,5	0,0	2,0	3,5	1,5	1,5	2,8	3,4
	2,0	4,5	5,0	10,0	4,5	0,0	2,0	4,0	1,5	1,5	3,0	4,0
	3,5	6,5	6,0	9,0	5,0	1,0	4,0	4,0	2,0	5,5	4,1	5,2
	7,5	7,5	8,5	7,5	6,5	2,0	5,0	7,0	3,5	6,0	6,2	6,0
	6,5	11,5	6,5	11,0	8,0	3,0	7,0	7,5	5,0	4,0	6,6	7,4

A: Sin cobertura

B: Con cobertura

* Medida a 7,5 cm de profundidad y promedio de 2 lecturas.

Cuadro 39. Análisis de variancia de la tensión de agua del suelo
"Instituto" Franco.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	839,44	209,85	1,76	7,01 NS	3,84 NS
A	2	1962,36	931,18	7,81	8,65 NS	4,46 [*]
Error A	8	953,82	119,22			
B	1	19,94	19,94	0,81	9,33 NS	4,75 NS
AB	2	9,22	4,61	0,19	6,93 NS	3,89 NS
Error B	12	295,43	24,61			
C	4	157,62	39,40	6,44	3,65 ^{**}	2,53 ^{**}
AC	8	375,62	46,95	7,67	2,82 ^{**}	2,10 ^{**}
BC	4	9,53	2,38	0,39	3,65	2,53
ABC	8	28,98	3,62	0,59	2,82	2,10
Error C	96	588,13	6,12			
Total	149	5240,09				

** Altamente significativo

* Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

Cuadro 40. Ecuaciones que expresan la tensión de humedad, en función de la lámina de agua y el tiempo, para el suelo "Instituto".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-6-e	Cuadrática	$Y = 15,3203 - 3,1300X_1 +$ $0,0022X_2 + 0,1973X_1^2$ $+ 0,00008X_1X_2$	0,83
A-6-f	Cuadrática	$Y = 15,6631 - 2,6301X_1 +$ $0,0002X_2 + 0,1484X_1^2$ $+ 0,0004X_1X_2$	0,83

Y = Tensión de humedad del suelo en centibares

X₁ = Lámina de agua en cm

X₂ = Tiempo en minutos

Cuadro 41. Tensión de humedad en centibares* observada durante el experimento para el suelo "Margot".

Tratamiento Lamina Agua (cm)	1		2		3		4		5		Promedio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1,0	3,5	6,0	2,0	6,5	4,0	1,0	3,5	0,5	4,5	0,0	3,5	2,8
	2,5	7,0	2,0	4,5	4,0	1,0	3,0	0,0	4,0	0,0	3,1	2,5
	4,0	8,0	2,5	5,0	6,5	2,0	3,0	0,0	4,5	0,0	4,1	3,0
	8,5	8,0	3,0	6,0	13,0	5,0	5,5	3,0	4,5	1,0	6,9	4,6
	12,0	5,0	4,0	5,0	23,5	10,0	9,0	5,0	5,0	2,0	10,7	5,4
5,0	1,5	4,0	1,5	0,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	0,0	1,5	1,4
	1,0	4,0	1,5	0,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0	1,3	1,4
	1,0	3,5	1,5	0,0	1,5	1,5	1,5	2,0	1,5	2,5	1,4	1,9
	3,0	3,0	2,0	0,0	3,5	2,5	3,0	6,0	3,0	2,5	2,9	2,8
	4,5	3,5	5,5	2,5	6,0	4,5	5,0	6,5	6,0	5,0	5,4	4,4

A: Sin cobertura
B: Con cobertura

* Medida a 7,5 cm de profundidad y promedio de 2 lecturas.

Cuadro 42. Análisis de variancia de la tensión de agua del suelo
"Margot" Franco Arcilloso.

F.V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	92,44	23,11	1,19	15,98 NS	6,39 NS
A	1	123,21	123,21	6,36	21,20 NS	7,71 NS
Error A	4	77,52	19,38			
B	1	28,09	28,09	1,48	11,26 NS	5,32 NS
AB	1	22,09	22,09	1,16	11,26 NS	5,32 NS
Error B	8	152,00	19,00			
C	4	275,17	68,79	17,46	3,65 ^{xx}	2,53 ^{xx}
AC	4	11,43	2,86	0,72	3,65 NS	2,53 NS
BC	4	30,27	7,57	1,92	3,65 NS	2,53 NS
ABC	4	11,39	2,84	0,72	3,65 NS	2,53 NS
Error C	64	252,14	3,94			
Total	99	1075,75				

xx Altamente significativo

x Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

Cuadro 43. Ecuaciones que expresan la tensión de humedad, en función de la lámina de agua y el tiempo, para el suelo "Margot".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-6-g	Cuadrática	$Y = 4,1214 - 0,6078X_1 + 0,0152X_2 - 0,000007X_2^2 - 0,0006X_1X_2$	0,99
A-6-h	Cuadrática	$Y = 3,0500 - 0,3375X_1 + 0,0086X_2 - 0,00005X_2^2 + 0,0000X_1X_2$	0,98

Y = Tensión de humedad del suelo en centibares

X₁ = Lámina de agua en cm

X₂ = Tiempo en minutos

Cuadro 44. Temperatura* observada durante el experimento para el suelo "Instituto" Franco.

Bloque o Repetición	1		2		3		4		5		Promedio		
	P	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Trata- miento Lámina Minutos cm													
Hora inicial de observación:	09:14	09:43	10:02	10:15	09:54	10:17	09:16	09:54	10:54	11:10			
1	a	25,5	27,2	24,5	26,4	24,8	25,2	25,0	26,8	26,2	29,8	25,2	27,1
	b	27,2	26,4	25,5	27,8	25,9	26,2	28,9	28,9	29,2	30,0	27,3	27,9
6	a	25,5	26,9	24,7	26,5	24,8	25,0	25,6	26,9	26,2	29,1	25,4	26,9
	b	26,7	26,1	26,1	27,8	25,9	26,7	28,9	28,9	28,6	29,7	27,2	27,8
36	a	26,0	26,5	25,9	27,0	24,7	25,0	26,4	27,0	26,8	29,0	26,0	26,9
	b	27,8	26,4	27,8	29,4	26,7	27,0	29,4	30,0	28,9	31,0	28,1	28,8
216	a	26,6	25,5	29,1	29,5	26,6	26,4	28,8	29,2	28,0	30,3	27,8	28,2
	b	26,7	24,7	31,4	31,9	28,3	28,9	31,7	32,5	28,6	31,9	29,3	30,0
1296	a	24,5	27,4	25,0	25,3	22,0	23,8	22,9	24,8	20,9	24,2	22,7	25,1
	b	26,4	28,9	31,4	26,1	22,5	25,5	24,4	26,1	21,4	24,7	23,4	26,2
Hora inicial de observación:	10:15	14:10	08:31	09:19	09:33	10:16	10:05	10:15	10:07	10:50			
1	a	23,6	23,6	29,1	30,5	25,5	26,1	25,4	26,3	28,0	29,2	26,3	27,1
	b	24,4	25,6	28,6	29,4	28,9	30,3	28,9	28,9	28,3	28,6	27,8	28,6
6	a	23,6	23,6	22,6	29,0	24,9	26,0	25,4	26,3	27,9	29,0	24,9	26,8
	b	25,0	25,6	28,5	29,2	28,1	28,5	28,1	28,9	28,3	28,9	27,6	28,8
36	a	24,0	24,2	22,7	28,3	25,2	26,0	25,7	26,5	28,0	29,2	25,1	26,8
	b	25,6	26,1	29,4	30,3	27,8	28,5	28,5	30,6	29,4	32,2	28,1	29,5
216	a	24,7	24,5	27,1	28,4	26,1	26,6	29,8	28,5	28,8	29,6	27,3	27,5
	b	26,7	24,4	27,2	29,4	27,5	28,9	33,1	30,6	30,6	31,9	29,0	29,0
1296	a	20,2	21,6	21,1	22,7	22,6	24,1	21,8	23,7	25,1	25,7	22,2	23,6
	b	21,1	23,1	23,1	23,1	25,0	23,9	24,4	27,2	27,2	29,2	23,3	25,0
Hora inicial de observación:	08:55	10:19	09:13	09:09	10:10	10:19	10:49	11:16	09:43	10:34			
1	a	24,5	24,7	26,4	26,1	23,1	24,5	27,8	28,2	22,9	24,5	24,9	25,6
	b	27,2	26,7	29,4	28,3	25,6	25,0	29,4	30,6	25,3	26,7	27,4	27,5
6	a	24,5	24,9	26,6	26,5	23,3	24,5	27,9	28,2	22,9	24,5	25,0	25,7
	b	27,2	26,7	30,8	28,5	25,6	25,0	29,4	30,6	25,0	26,7	27,6	27,4
36	a	24,7	25,2	28,5	26,8	23,9	24,7	28,0	28,5	23,9	25,2	25,8	26,0
	b	27,5	26,7	31,9	29,2	25,6	25,9	28,9	30,6	26,1	28,9	28,0	28,3
216	a	27,9	26,3	30,4	29,0	26,3	26,4	28,5	30,0	28,7	29,7	28,4	28,3
	b	30,9	27,8	33,5	32,0	27,5	28,9	29,4	33,0	31,1	33,0	30,4	30,9
1296	a	21,1	23,5	21,8	24,0	22,5	25,1	23,7	25,8	24,3	24,5	22,7	24,6
	b	21,1	24,4	21,7	24,1	23,1	25,3	26,10	27,8	25,6	25,3	23,5	25,4

* En OC, promedio de 2 lecturas

A = Sin cobertura

P = Profundidad

a = Medida a 2 cm de profundidad

b = Medida a 7,5 cm de profundidad

B = Con cobertura

Cuadro 45. Análisis de variancia de la temperatura del suelo
"Instituto" Franco.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	297,69	74,42	3,49	7,01 NS	3,84 NS
A	2	2,18	1,09	0,05	8,65 NS	4,46 NS
Error A	8	170,51	21,31			
B	1	69,60	69,69	19,28	9,33 ^{xx}	4,75 ^{xx}
AB	2	5,32	2,66	0,74	6,93 NS	3,89 NS
Error B	12	43,36	3,61			
C	4	750,17	62,51	20,70	3,48 ^{xx}	2,45 ^{xx}
AC	8	38,40	4,80	1,59	2,66 NS	2,02 NS
BC	4	24,21	6,05	2,00	3,48 NS	2,45 NS
ABC	8	6,85	0,86	0,28	2,66 NS	2,02 NS
Error C	96	289,91	3,02			
D	1	232,15	232,15	31,80	6,85 ^{xx}	3,92 ^{xx}
AD	2	2,65	1,32	0,18	4,79 NS	3,07 NS
BD	1	1,55	1,55	0,21	6,85 NS	3,92 NS
ABD	2	0,15	0,075	0,01	4,79 NS	3,07 NS
CD	4	14,06	3,51	0,48	3,48 NS	2,45 NS
ACD	8	4,60	0,57	0,06	2,66 NS	2,02 NS
BCD	4	4,35	1,09	0,15	3,48 NS	2,45 NS
ABCD	8	1,46	0,18	0,02	2,66 NS	2,02 NS
Error D	120	87,32	7,27			
Total	299	2046,49				

xx Altamente significativo

x Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

D = Profundidad

Cuadro 46. Temperatura observada durante el experimento para el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

Bloque o Repetición	1		2		3		4		5		Promedio	
	F	A B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Tratamiento												
Tiempo to minutos												
Lámina cm												
Hora inicial de observación:	09:01	10:00	09:16	10:21	09:25	13:41	10:41	09:25	13:31	14:22		
1	a 24,0 b 26,1	26,7 31,7	24,0 24,1	30,6 30,6	26,6 29,4	26,4 31,7	26,4 28,6	23,6 22,8	28,4 29,4	28,5 28,6	25,9 27,5	28,5 28,8
6	a 24,1 b 26,1	27,0 31,1	23,9 23,9	30,4 31,1	26,8 30,0	26,7 30,8	26,3 28,6	23,6 22,8	28,2 28,9	28,5 28,3	25,8 27,5	28,5 28,8
36	a 25,2 b 27,8	27,4 33,3	24,2 25,0	31,2 34,1	27,4 33,0	26,6 29,7	26,7 28,3	23,8 23,6	27,9 28,6	28,4 29,1	26,3 28,5	28,7 31,0
216	a 26,6 b 27,8	28,0 29,7	25,2 25,8	36,2 38,0	30,3 33,3	29,2 31,7	29,5 31,7	25,2 25,6	24,1 23,6	26,9 26,1	27,1 28,4	29,3 30,0
1296	a 21,8 b 21,9	24,6 26,1	22,0 21,1	25,9 27,8	22,3 23,6	22,9 24,7	22,3 23,3	23,7 23,0	25,7 27,2	27,6 28,6	22,8 23,4	26,8 28,9
Hora inicial de observación:	13:50	08:08	08:03	18:13	10:12	09:29	07:25	07:45	11:12	11:01		
1	a 25,3 b 26,7	24,3 23,9	23,9 22,8	30,2 31,1	33,1 30,3	25,6 25,0	21,0 21,7	24,8 23,6	23,0 28,9	25,1 27,8	23,9 26,4	26,0 26,2
6	a 25,2 b 26,7	24,3 23,9	24,1 22,8	30,2 30,8	32,9 30,8	25,6 25,0	21,1 21,7	24,8 23,6	23,0 28,9	25,1 27,8	24,0 26,2	26,0 26,2
36	a 25,4 b 26,9	24,3 24,1	23,2 22,5	30,0 25,0	32,5 35,0	27,8 25,6	21,4 22,2	24,9 24,7	23,0 28,9	25,1 29,1	23,9 25,6	26,5 25,7
216	a 24,9 b 30,8	24,5 25,6	21,8 21,7	27,7 28,3	30,3 30,6	27,9 29,4	24,5 25,8	26,4 26,9	27,1 26,1	26,4 29,4	25,5 27,2	26,6 27,9
1296	a 22,7 b 23,9	23,0 22,8	25,1 25,3	34,3 34,1	32,1 39,1	25,6 25,3	20,4 20,3	20,4 20,3	27,1 29,4	23,1 24,7	23,6 24,7	25,3 25,4

* En 20, promedio de 2 lecturas.

F = Profundidad

a = Medida a 2 cm de profundidad

b = Medida a 7,5 cm de profundidad

A = Sin cobertura

B = Con cobertura

Cuadro 47. Análisis de variancia de la temperatura del suelo "Margot"
Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	421,26	115,30	13,01	15,98 NS	6,39 [†]
A	1	194,63	194,63	21,96	21,20 ^{††}	7,71 ^{††}
Error A	4	35,46	8,86			
B	1	166,16	166,16	2,82	11,26 NS	5,32 NS
AB	1	29,41	29,41	0,39	11,26 NS	5,32 NS
Error B	8	602,37	75,29			
C	4	149,32	37,32	5,03	3,65 ^{††}	2,53 ^{††}
AC	4	29,15	7,28	0,98	3,65 NS	2,53 NS
BC	4	17,20	4,30	0,58	3,65 NS	2,53 NS
ABC	4	12,77	3,19	0,43	3,65 NS	2,53 NS
Error C	64	475,10	7,42			
D	1	70,20	70,20	32,95	6,85 ^{††}	3,92 ^{††}
AD	1	1,00	1,00	0,47	6,85 NS	3,92 NS
BD	1	12,15	12,15	5,70	6,85 NS	3,92 [†]
ABD	1	5,48	5,48	2,57	6,85 NS	3,92 NS
CD	4	1,12	0,28	0,13	3,48 NS	2,45 NS
ACD	4	9,24	2,31	1,08	3,48 NS	2,45 NS
BCD	4	7,64	1,91	0,89	3,48 NS	2,45 NS
ABCD	4	4,33	1,08	0,50	3,48 NS	2,45 NS
Error D	80	170,27	2,13			
Total	199	2454,26				

†† Altamente significativo

† Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

D = Profundidad

Cuadro 48. Valores de rata de difusión de oxígeno (R.D.O.)* observados para el suelo "Instituto" Franco.

Bloque Nº	1		2		3		4		5		Promedio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Tratamiento												
Tiempo minutos												
R.D.O.**	38,25	45,00	68,50	42,00	57,00	52,00	53,87	44,85	79,00	24,05	59,32	41,58
Lámina cm												
1,0	30,72	34,60	63,28	34,35	17,17	19,53	50,98	42,48	74,12	34,35	47,25	33,06
6	33,94	42,57	55,50	32,00	18,44	19,16	49,90	41,22	71,59	30,19	45,87	33,03
36	32,57	39,73	50,44	28,92	20,06	19,70	48,63	41,76	69,09	29,10	44,15	31,84
216	30,24	37,07	56,04	32,54	19,52	26,21	47,37	46,28	65,81	30,37	43,80	34,49
1296	34,88	41,95	58,58	40,30	16,45	9,76	26,03	37,60	56,05	32,36	38,40	32,39
R.D.O.**	50,00	41,26	38,20	62,00	60,00	54,00	57,00	36,50	55,00	62,50	52,04	51,65
5,0	46,84	31,70	17,00	54,96	34,89	27,30	48,63	25,49	50,98	20,61	39,67	32,01
6	41,73	19,81	12,47	48,09	30,73	27,12	42,85	18,08	45,38	18,08	34,63	26,24
36	32,02	17,70	11,93	42,67	22,24	21,87	38,51	13,19	37,60	17,17	28,46	25,52
216	28,99	17,61	11,57	30,37	19,34	17,71	34,89	10,48	23,86	7,59	23,73	16,75
1296	35,10	18,61	15,19	14,82	31,46	24,40	28,02	13,02	28,38	16,45	27,81	17,46
R.D.O.**	47,09	33,75	40,00	53,00	59,00	52,00	46,18	49,73	53,00	75,00	49,05	52,69
10,0	44,21	15,10	6,86	14,65	50,26	23,50	52,16	34,89	20,61	35,98	30,82	24,82
6	42,70	16,13	14,47	26,03	45,37	18,26	28,75	26,94	17,35	25,67	29,73	22,61
36	40,84	15,60	18,98	18,26	29,47	17,35	25,87	23,86	16,63	36,88	26,36	22,39
216	33,57	10,27	15,00	15,37	19,70	11,02	26,20	17,17	18,62	35,43	22,62	17,85
1296	26,37	7,47	0,36	3,79	28,75	13,20	35,98	15,73	17,53	46,28	21,80	17,29

* En gramos x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹, promedio de 3 lecturas y medida a 20 cm de profundidad.

** R.D.O. precedente en gramos x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹, promedio de 3 lecturas.

A: Sin cobertura B: Con cobertura

Cuadro 49. Análisis de variancia del ritmo de difusión de oxígeno
R.D.O. del suelo "Instituto" franco.

F. V.	g.l	S. C.	C. M.	F _c	Ft 1%	Ft 5%
R	4	2164,47	541,12	0,47	15,98 NS	6,39 NS
A	2	6037,44	3018,72	3,44	8,65 NS	4,46 NS
Error A	8	5113,65	1144,82			
B	1	2413,46	2413,46	28,90	21,20 ^{xx}	7,71 ^{xx}
AB	2	8450,90	4225,45	50,70	6,23 ^{xx}	3,63 ^{xx}
Error B	12	9975,61	832,00			
C	4	1630,55	407,64	11,83	3,51 ^{xx}	2,46 ^{xx}
AC	8	605,94	75,74	2,20	2,65 NS	2,01 ^x
BC	4	46,28	11,57	0,33	3,51 NS	2,46 NS
ABC	8	105,25	13,15	0,38	2,65 NS	2,01 NS
Error C	96	3306,75	34,44			
Total	149	31599,99				

xx Altamente significativo

x Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

Cuadro 50. Ecuaciones que expresan la rata de difusión de oxígeno, en función de la lámina de agua y el tiempo para el suelo "Instituto".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-6-i	Cuadrática múltiple	$Y = 51,9016 - 4,8314X_1 - 0,0408X_2 + 0,026X_1^2 + 0,00003X_2^2 + 0,00004X_1X_2$	0,92
A-6-j	Cuadrática múltiple	$Y = 38,2114 - 3,4282X_1 - 0,0279X_2 + 0,2022X_1^2 + 0,0000X_2^2 - 0,0004X_1X_2$	0,84

$Y =$ Rata de difusión de oxígeno en $g \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
 $X_1 =$ Lámina de agua en cm
 $X_2 =$ Tiempo en minutos

Cuadro 51. Ecuaciones que expresan la rata de difusión de oxígeno (R.D.O.), en función del espacio aéreo ponderado para el suelo "Instituto".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-2-k	Cuadrática	$Y = 63,088 - 5,788X + 0,2295X^2$	0,62
A-2-l	Cuadrática	$Y = 35,766 - 2,565X + 0,1105X^2$	0,63

$Y =$ Rata de difusión de oxígeno en $g \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
 $X =$ Espacio aéreo ponderado en %.

Cuadro 52. Valores de rata de difusión de oxígeno (R.D.O.)* observados para el suelo "Margot"
Franco Arcilloso.

Tratamiento	Tiempo minutos	1		2		3		4		5		Promedio	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Lámina cm	R.D.O.**	33,60	15,35	13,60	27,40	39,15	11,70	26,90	22,40	22,10	15,75	29,07	18,52
1,0	1	28,93	3,79	9,94	26,21	35,07	6,90	23,68	7,14	27,66	7,65	25,06	10,34
	6	41,76	3,97	9,22	17,53	32,54	6,71	20,97	6,27	24,95	7,46	25,89	8,39
	36	32,54	1,26	9,94	16,33	32,36	8,04	20,07	6,42	19,89	7,98	23,14	8,00
	216	42,66	3,25	11,57	17,36	33,98	8,35	22,05	10,62	19,89	10,76	26,03	10,07
	1296	34,35	6,32	15,19	18,44	33,08	10,81	15,73	9,47	21,52	9,29	23,97	10,87
R.D.O.**		9,94	8,86	13,56	12,15	32,40	40,0	23,30	52,00	20,80	15,38	25,00	25,78
5,0	1	9,22	8,49	12,29	7,59	15,55	9,54	13,74	9,18	15,37	10,50	13,23	9,06
	6	7,95	7,05	10,66	6,17	13,88	9,54	10,67	6,91	13,20	8,74	11,17	7,68
	36	8,49	7,05	9,94	5,79	11,21	8,51	11,93	7,23	13,02	9,13	10,92	7,54
	216	8,49	7,96	10,48	5,79	8,50	10,41	17,35	10,63	10,48	10,77	11,06	9,11
	1296	9,04	8,86	15,36	7,79	19,89	12,66	12,47	10,56	14,10	13,14	14,17	10,60
R.D.O.**		38,30	31,10	33,80	33,80	33,80	34,40	34,40	34,40	34,40	34,40	34,40	34,40
Lluvia de	1	33,81	21,88	6,69	20,76	17,15	15,50	13,23	9,06	7,68	7,54	9,11	10,60
	6	27,79	18,45	5,30	17,15	15,50	13,23	9,06	7,68	7,54	9,11	10,60	11,06
1 cm	36	22,76	19,89	4,09	15,50	13,23	9,06	7,68	7,54	9,11	10,60	11,06	11,06
	216	22,77	20,22	7,40	16,82	15,50	13,23	9,06	7,68	7,54	9,11	10,60	11,06
	1296	24,29	17,40	6,00	15,90	13,23	9,06	7,68	7,54	9,11	10,60	11,06	11,06

* En gramos x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹, promedio de 3 lecturas.

** R.D.O. precedente en gramos x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹, promedio de 3 lecturas.
A: Sin cobertura B: Con cobertura

Cuadro 53. Análisis de variancia del ritmo de difusión de oxígeno
R.D.O. del suelo "Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	4	214,96	53,74	0,85	15,98 NS	6,39 NS
A	1	1129,09	1129,09	17,95	21,20 NS	7,71 [✱]
Error A	4	251,64	62,86			
B	1	2161,50	2161,50	7,23	11,26 NS	5,32 [✱]
AB	1	895,80	895,80	3,00	11,26 NS	5,32 NS
Error B	8	2389,39	298,67			
C	4	77,93	19,48	3,12	3,65 NS	2,53 [✱]
AC	4	27,68	6,92	1,11	3,65 NS	2,53 NS
BC	4	12,45	3,11	0,50	3,65 NS	2,53 NS
ABC	4	20,44	5,11	0,82	3,65 NS	2,53 NS
Error C	64	399,50	6,24			
Total	99	7580,40				

✱✱ Altamente significativo

✱ Significativo

NS No significativo

R = Bloque

A = Tratamiento

B = Cobertura de la superficie

C = Tiempo

Cuadro 54. Ecuaciones que expresan la rata de difusión de oxígeno, en función del espacio aéreo ponderado para el suelo "Margot".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-2-m	Cuadrática	Y = -0,3899 + 0,1117X - 0,7508X ²	0,77
A-2-n	Cuadrática	Y = 0,5157 - 0,1502X + 0,1113X ²	0,64

Y = Rata de difusión de oxígeno en g x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹

X = Espacio aéreo ponderado en %.

Cuadro 55. Ecuaciones que expresan la rata de difusión de oxígeno, en función del tiempo para el suelo "Margot".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-2-o	Cuadrática	Y = 0,1191 - 0,6015X + 0,5988X ²	0,67
A-2-p	Cuadrática	Y = 0,8913 + 0,4893X - 0,2607X ²	0,44
A-2-q	Cuadrática	Y = 0,8076 + 0,4554X - 0,2009X ²	0,74

Y = Rata de difusión de oxígeno en g x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹

X = Tiempo en minutos

Cuadro 56. Ecuaciones que expresan la rata de difusión de oxígeno, en función de la tensión de humedad para el suelo "Margot".

Tipo	Función	Ecuación	R ²
A-1-h	Cuadrática	$Y = 0,1352 - 0,1789X + 0,3526X^2$	0,59
A-1-i	Cuadrática	$Y = 0,9526 - 0,7170X + 0,1792X^2$	0,50
A-1-j	Cuadrática	$Y = 0,8739 - 0,7893X + 0,2789X^2$	0,73

Cuadro 57. Características* de las 3 lluvias de 1 cm de las cuales se estudió su efecto sobre el contenido de humedad, el espacio aéreo y la rata de difusión de oxígeno en el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

Lluvia No 1. Fecha: 28-7-1970. Hora inicial: 16:00 h. Hora final: 17:15 h.																	
Tiempo (minutos)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	Lluvia acumulada (mm)	Intensidad media mm/hora
Lluvia (mm)	0,5	2,5	1,8	0,1	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	1,8	10,0	
Intensidad (mm/hora)	6,0	30,0	21,6	1,2	1,2	4,8	2,4	7,2	3,6	1,2	1,2	2,4	4,8	6,0	21,6		8,0
Lluvia No 2. Fecha: 6-8-1970. Hora inicial: 15:20 h. Hora final: 16:30 h.																	
Tiempo (minutos)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70			
Lluvia (mm)	2,6	2,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	1,0	1,4		10,0	
Intensidad (mm/hora)	31,2	26,4	1,2	1,2	2,4	1,2	1,2	1,2	3,6	6,0	7,2	8,4	12,0	16,8			8,6
Lluvia No 3. Fecha: 12-8-70. Hora inicial: 14:00 h. Hora final: 14-55 h.																	
Tiempo (minutos)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55						
Lluvia (mm)	0,1	0,3	0,2	2,2	2,8	0,7	2,0	1,1	0,3	0,2	0,1					10,0	
Intensidad (mm/hora)	1,2	3,6	2,4	26,4	33,6	8,4	24,0	13,2	3,6	2,4	1,2						10,9

* Determinadas mediante un pluviógrafo registrador de la estación meteorológica del IICA-CTEI ubicada a unos 600 metros en línea recta del sitio de observación, donde se tenía instalado un pluviómetro de cántaro.

Cuadro 58. Resultados obtenidos de los valores de Humedad[★], Espacio Aéreo[★] y R.D.O.^{★★} para una lluvia de 1 cm caída en el suelo "Margot" en presencia de evaporación.

Tiempo (minutos)	Profundidad (cm)	Humedad	Espacio Aéreo	R.D.O.
1	0 - 2	64,16	1,60	20,76
	2 - 4	57,21	7,97	
	4 - 9	47,74	14,70	
	9 - 20	43,65	15,94	
6	0 - 2	61,20	3,87	17,15
	2 - 4	52,22	10,72	
	4 - 9	47,97	14,27	
	9 - 20	47,71	11,89	
36	0 - 2	57,48	6,87	15,50
	2 - 4	48,35	13,90	
	4 - 9	43,61	16,84	
	9 - 20	46,69	12,91	
216	0 - 2	52,60	11,20	16,82
	2 - 4	53,14	8,19	
	4 - 9	47,04	15,20	
	9 - 20	46,15	13,44	
1296	0 - 2	46,17	15,06	15,90
	2 - 4	52,58	8,66	
	4 - 9	45,04	17,21	
	9 - 20	44,85	14,75	

★ En porcentaje por volumen, promedio de 3 repeticiones

★★ En gramos x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹, promedio de 3 repeticiones y medida a 20 cm de profundidad.

Cuadro 59. Análisis de variancia de la humedad volumétrica resultante del efecto de una lluvia de 1 cm sobre el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	2	1540,27	770,14	84,63	8,65 ^{xx}	4,46 ^{xx}
B	4	288,56	72,14	7,92	7,01 ^{xx}	3,84 ^{xx}
Error B	8	72,83	9,10			
C	3	1175,16	391,72	13,99	4,51 ^{xx}	2,92 ^{xx}
BC	12	513,83	42,82	1,53	2,84 ^{xx}	2,09 ^{xx}
Error C	30	839,94	27,99			
Total	59					

xx Altamente significativo

x Significativo

R = Bloque

B = Tiempo

C = Profundidad

Cuadro 60. Análisis de variancia del espacio aéreo resultante del efecto de una lluvia de 1 cm sobre el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	2	2046,09	1023,04	113,28	8,65 ^{xx}	4,46 ^{xx}
B	4	141,63	35,41	3,92	7,01	3,84 ^x
Error B	8	72,83	9,03			
C	3	628,25	20,94	0,67	4,51 NS	2,92 NS
BC	12	361,25	30,10	0,97	2,84 NS	2,09 NS
Error C	30	928,30	30,94			
Total	59	4178,35				

xx Altamente significativo

x Significativo

NS No significativo

R = Bloque

B = Tiempo

C = Profundidad

Cuadro 61. Análisis de variancia de la rata de difusión de oxígeno resultante del efecto de una lluvia de 1 cm sobre el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	2	1079,50	539,75	80,10	8,65 ^{***}	4,46 ^{***}
B	4	52,16	13,04	1,93	7,01 NS	3,84 NS
Error B	8	53,84	6,73			
Total	14	1185,50				

*** Altamente significativo

R = Bloque

* Significativo

B = Tiempo

NS No significativo

Cuadro 61. Análisis de variancia de la rata de difusión de oxígeno resultante del efecto de una lluvia de 1 cm sobre el suelo "Margot" Franco Arcilloso.

F. V.	g.l.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 1%	Ft 5%
R	2	1079,50	539,75	80,10	8,65 ^{***}	4,46 ^{***}
B	4	52,16	13,04	1,93	7,01 NS	3,84 NS
Error B	8	53,84	6,73			
Total	14	1185,50				

*** Altamente significativo

R = Bloque

* Significativo

B = Tiempo

NS No significativo