

7096
2 cop.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO "ICA"
PROGRAMA DE GRADUADOS

✓
INFLUENCIA DE LA HUMEDAD INICIAL DEL SUELO
SOBRE LA INFILTRACION

TESIS

Presentado al Programa de Estudios para Graduados
en Ciencias Agrícolas

✓
Por: MARIO MOLANO COGUA

Como requisito parcial para optar al título de

MAGISTER SCIENTIAE

Bogotá, Colombia 1986

ANALIZADO

TESIS APROBADA POR

COMITE CONSEJERO

JOSE ANTONIO FORERO S.
Presidente de Tesis

IA.Ph.D

Handwritten signature of Jose Antonio Forero S. in black ink, written over a horizontal line.

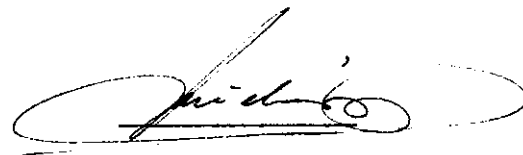
JAI ME NAVAS ALVARADO
Consejero

IA.Ph.D

Handwritten signature of Jaime Navas Alvarado in black ink, written over a horizontal line.

GUILLE RMO SUAREZ MONTES
Consejero

Agrólogo M.S.

Handwritten signature of Guillermo Suarez Montes in black ink, written over a horizontal line.

El Presidente de Tesis y el Consejo Examinador de Grado no
serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato.
(Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional de
Colombia).

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos al Instituto Colombiano Agropecuario, quien me ha otorgado la oportunidad de adquirir experiencia y capacitación a través del Programa de Manejo de Aguas y muy especialmente al Programa de Estudios para Graduados.

De igual manera agradezco las enseñanzas del Cuerpo de Profesores, la colaboración del Presidente de Tesis, del Comité Consejero y de todos aquellos compañeros que de una u otra forma contribuyeron al feliz término de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Movimiento del Agua en el Suelo	4
2.2. Ecuaciones de Infiltración	7
2.2.1. Ecuación de Horton	9
2.2.2. Ecuación de Green y Ampt	10
2.2.3. Ecuación de Kostiakov	17
2.2.4. Ecuación de Kostiakov - Lewis	22
2.2.5. Ecuaciones de Philip	23
2.3. Factores que Afectan la Infiltración	27
2.3.1. Contenido Inicial de Humedad	29
2.4. Determinación de la Infiltración	34
3. MATERIALES Y METODOS	41
3.1. Localiación y Extensión	41
3.2. Climatología	41
3.3. Disponibilidad de Agua	42
3.4. Suelos	45
3.5. Metodología de Campo	46
3.5.1. Selección de la Fase de Suelos	46
3.5.2. Métodos de Evaluación	48

	Página
3.5.3. Series de Experimentos	49
3.6. Análisis de Resultados	50
3.6.1. Análisis Estadísticos y de Regresión	50
3.6.2. Selección de Pruebas de Campo y Agrupa- miento por Contenido de Humedad Inicial	53
4. RESULTADOS Y DISCUSION	55
4.1. Infiltración Acumulada	55
4.2. Infiltración Básica	60
4.3. Infiltración Instantánea	64
4.4. La Infiltración y el Contenido de la Hu- medad Inicial	65
4.4.1. Características de la Humedad Inicial del Suelo	66
4.4.2. Influencia del Cultivo	68
4.5. Efecto de la Humedad Inicial sobre los Pa- rámetros de Infiltración - Modelo (Kostiakov)	69
4.5.1. Coeficientes α , c' de Kostiakov	71
4.6. La Humedad Inicial y el Modelo de Philip	84
4.6.1. Parámetros "S" y "A" de la Ecuación de Philip	84
4.7. Relación entre la Infiltración y el Modelo de Ecuación Cuadrática	88

	Página	
4.8.	Determinación de la Infiltración en una Fase de Suelos	89
4.8.1.	Manejo del Agua de Riego y la Función de Infiltración	92
5.	CONCLUSIONES	94
6.	RESUMEN	100
7.	SUMMARY	101
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	102
	APENDICE 1	107
	APENDICE 2	158

LISTA DE TABLAS

TABLA N°		Página
1.	Parámetros Físicos del Suelo de la Serie Palmira.	47
2	Contenido de Humedad Inicial Promedia, Parámetros de tres Modelos de Infiltración y Coeficiente de Determinación	67
3	Parámetros de la Infiltración (Kostiakov) y Contenido de Humedad Inicial	70
4	Parámetros de la Ecuación de Infiltración para modelo Philip y su Contenido Inicial de Humedad	85
5-38	Infiltración Acumulada, Tiempo Acumulado y Humedad Volumétrica de 0-20 y de 20-40	108-141
39-40	Parámetros de la Función de Infiltración estimados según la Ecuación de Kostiakov. Pastos.	142-143
41-42	Parámetros de la Función de Infiltración estimados según la Ecuación de Kostiakov. Maíz y Soya.	144-145
43	Parámetros de la Función de Infiltración estimados según la Ecuación de Kostiakov. Cacao.	43

TABLA N°**Página**

44-49	Parámetros para tres Modelos de Ajuste a la Función de Infiltración y Variación del Contenido Inicial de Humedad	147-152
50	Coefficiente c' de la Ecuación de Kostiaikov	153
51	Exponente α de la Ecuación de Kostiaikov	154
52	Coefficiente S de la Ecuación de Philip	155
53	Coefficiente A de la Ecuación de Philip	156
54	Término Independiente C de la Ecuación Cuadrática	157

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°		Página
1	Velocidad de infiltración en función del tiempo para varios contenidos de humedad inicial (θ_w) en el suelo.	32
2	Velocidad de infiltración \bar{I} en función del tiempo para varios contenidos de humedad inicial en el suelo	35
3	Registros meteorológicos de la Estación Palmira. Temperatura (1930-1971). Precipitación (1930-1971). Evaporación (1960-1971).	43
4	Balance hídrico para períodos de 7 días promedios de 50 años (1930-1981) Centro Nacional de Investigación Palmira.	44
5	Infiltración acumulada (i) en función del tiempo (t) para un contenido de humedad (curva tipo ajustada a Kostiakov).	57
6	Tendencia de la infiltración acumulada que se ajusta a una ecuación cuadrática.	58

FIGURA N°		Página
7	Comparación de tres modelos de ajuste para la infiltración acumulada para una humedad de (00-20cm)=34.58% y (20-40cm)=33.83%	61
8	Variación de la infiltración básica y distribución agrupada por intervalos en un suelo de textura fina.	62
9	Comportamiento del parámetro (c') de Kostiakov frente al contenido de humedad inicial	73
10	Familia de curvas (Kostiakov) de infiltración en función del tiempo y del contenido de humedad inicial.	77
11	Familia de curvas (Kostiakov) de infiltración en función del tiempo y del contenido de humedad inicial (θ).	78
12	Comportamiento del parámetro (S) de Philip frente al contenido de humedad inicial.	87
13	Nube de puntos de los ensayos experimentales para todas las pruebas en el intervalo de humedad tomado.	91

FIGURA N°		Página
14	Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de humedad de (00-20cm)=23.30% y (20-40cm)=24.42%	159
15	Representación de la función de infiltración con una humedad volumétrica de (00-20cm)=27.79% y (20-40cm)=24.88%.	160
16	Representación de la función de infiltración con una humedad volumétrica de (00-20cm)=28.95% y (20-40cm)=27.58%	161
17	Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de humedad de (00-20cm)=30.53% y (20-40cm)=33.67%	162
18	Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de (00-20cm)=33.76% y (20-40cm)=24.41%	163
19	Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de humedad de (00-20cm)=38.13% y (20-40cm)=36.85%	164

1. INTRODUCCION

La tecnología del riego abarca muchas disciplinas, las cuales contribuyen finalmente a una eficiente utilización de los recursos hídricos. Quizás el factor de mayor importancia, sea poder aplicar oportunamente el agua que las plantas necesitan, sin embargo, el uso eficiente del agua no puede ser menos relevante, especialmente en condiciones de limitación de agua, el cual es función de las características hidrodinámicas del suelo. Estas características han sido ampliamente estudiadas por muchos investigadores. Como resultado se han derivado análisis teóricos basados en supuestos, los cuales a menudo no se presentan en el campo. Los modelos matemáticos y las especulaciones teóricas correlacionan muy bien en suelos homogéneos no estratificados. No obstante en nuestro medio, estas condiciones no se cumplen, de ahí que el propósito de la investigación debe ser el de generar propias técnicas que se ajusten más a nuestra realidad.

Uno de los parámetros hidrodinámicos es la infiltración, el cual es función de una gran gama de variables dinámicas, dentro de las cuales está el contenido inicial de la humedad del suelo.

La infiltración es un parámetro básico en el diseño y programación de riego. Al ser función del contenido de humedad inicial, es obvio que se deba estudiar esta influencia para lograr hacer uso eficiente del recurso agua cada día más escaso.

El objetivo general del presente estudio es el de determinar la influencia del contenido inicial de humedad del suelo en la función de infiltración, en un suelo tropical, poco profundo, estratificado heterogéneo y de textura pesada.

El objetivo específico es el de derivar una relación funcional para cuantificar el efecto del contenido de humedad inicial del suelo en la tasa de infiltración.

2. REVISION DE LITERATURA

La infiltración es uno de los fenómenos físicos que ocurren comunmente, es uno de los procesos en el ciclo hidrológico de gran interés en los estudios de la ciencia del suelo y de las plantas (37). Según Philip (36), los hidrólogos usan el término "Infiltración" para describir el proceso de entrada y movimiento del agua a través de un suelo no saturado (medio poroso).

Bouwer (8), dice que el conocimiento de la tasa de infiltración y de la cantidad de agua acumulada en un tiempo dado, es importante en muchas disciplinas. En el riego por superficie, por ejemplo, es deseable conocer como varía con el tiempo la cantidad de agua que se acumula en el suelo para determinar el tiempo óptimo de riego y mejorar la eficiencia de aplicación.

Para Mein y Larson (32), el proceso de infiltración es muy complejo aun si se asume que el suelo es un medio homogéneo con un contenido inicial de humedad uniforme. En su trabajo estimaron la precipitación con una intensidad uniforme y además estudiaron el proceso bajo un concepto unidimensional.

Algunos investigadores como Hillel, Van-Bavel y Talpaz (27), le dan importancia al conocimiento del comportamiento del agua a través del per-

fil del suelo puesto que: a) contribuye al manejo adecuado de la agricultura en regiones áridas y semiáridas, b) incrementa la eficiencia en la explotación de los recursos de agua y suelo, c) evita las pérdidas que ocurren cuando el agua corre por escorrentía y/o drena más allá del alcance de las raíces de los cultivos y d) permite un adecuado balance del almacenamiento de humedad en el suelo.

2.1. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

La importancia de la práctica del riego en el desarrollo de los cultivos, ha logrado que muchos investigadores se dediquen a analizar la redistribución del agua en el suelo (6,57). Se ha establecido que las fuerzas que generan el movimiento del agua dependen de la atracción del agua por las partículas sólidas y de la tensión superficial en la interfase aire agua. Las fuerzas de gravedad siguen participando, pero la presión en el agua por el peso del líquido se hace negativa con respecto a la presión del gas continuo (6). Estas fuerzas, (matriciales o de tensión de humedad del suelo) pueden tratarse como un potencial, que es una fuerza por unidad de masa (Julio/kg) (54).

El movimiento del agua en el suelo en condiciones de no saturación, varía en función del tiempo y además de un punto a otro dentro del sistema suelo. La distribución del agua depende de su contenido y distribución antes de añadir más agua y del flujo en el sistema. Las características de flujo, especialmente en materiales no uniformes, son a menudo tan

complejas que un análisis formal resulta impráctico, por lo cual se recurre a simplificaciones aproximadas (6).

Baver L; Gardner, W.H y Gardner, W.R (6), afirman que las fuerzas que generan el flujo del agua en un medio poroso (suelo) cambian con la introducción de la fase del aire. En la interfase aire-agua, se hacen más importantes las fuerzas de atracción entre las superficies sólidas, el agua y la tensión superficial. El potencial de la matriz del suelo y el de gravedad son los de mayor importancia en el análisis de flujo no saturado (54).

Cuando el agua se mueve hacia abajo desde la superficie del suelo en un medio poroso decrecientemente más seco, tiene un potencial más bajo que el agua libre y la presión hidráulica equivalente es menor que la presión atmosférica; es decir el agua fluirá a través de una interfase aire agua solamente cuando la presión hidráulica sea suficientemente mayor a la presión atmosférica, para que venza la tensión superficial del fluido (18).

Para Taylor (53), la ecuación general de Darcy explica el movimiento del agua a través del suelo en un estado estacionario. Sin embargo, la mayor parte de los problemas del movimiento del agua ocurren en un estado no estacionario. Por ejemplo, la infiltración y el movimiento del agua en el suelo bajo condiciones naturales son estados dinámicos. Se han hecho esfuerzos para lograr el desarrollo de una ecuación que explique

los problemas en estados inestables a partir de ecuaciones de conservación de la materia y de la continuidad para llegar a la siguiente ecuación diferencial.

$$\frac{\partial \theta_v}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial s} \left(K_w \frac{\partial \varphi_h}{\partial s} \right) \quad [1]$$

K_w	=	Conductividad hidráulica
φ_h	=	Potencial hidráulico medio
θ_v	=	Contenido volumétrico de agua
t	=	Tiempo
s	=	Distancia

En el caso de la conductividad hidráulica Swartzendruber (50), afirma que en suelos no saturados la conductividad es función del contenido volumétrico de agua (θ_v) de tal manera que:

$$K_w = K_w (\theta_v) \quad [2]$$

La ecuación [1] es difícil de resolver teniendo en cuenta que K_w no es una constante sino que también es una función del potencial matricial (φ_m).

2.2. ECUACIONES DE INFILTRACION

La teoría capilar y la analogía con el flujo calórico o eléctrico, fueron fundamentales en los primeros intentos de explicar el movimiento del agua en el suelo. Muchos científicos, sobre la base de la teoría capilar propusieron ecuaciones empíricas que describen el fenómeno (19). Posteriormente otros investigadores Buckingham, Gardner, Richards y Childs estudiaron el movimiento del agua como un fenómeno de difusividad (37).

Philip (36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43) en una serie de trabajos dió las bases más sólidas a la teoría de infiltración, resolviendo la ecuación del flujo para el movimiento vertical, bajo el efecto de la gravedad.

Varias expresiones se han elaborado empíricamente, con base en consideraciones físicas para el flujo de agua dentro de un suelo idealizado. Las expresiones derivadas de la teoría, se aplican a suelos que son y permanecen homogéneos durante el proceso de infiltración. También suponen que el contenido del agua es sólo una variable del potencial del agua (18).

Se presentan muchas dificultades para estudiar matemáticamente los problemas de flujo no saturado en suelos heterogéneos con el agua en movimiento. Hanks y Bowers (24), entre otros encontraron una solución pa-

ra el flujo de humedad por medio de métodos numéricos. Este método no requiere de las asunciones de uniformidad del contenido de humedad inicial ni de relaciones matemáticas específicas entre el contenido volumétrico y la difusividad. Green et al (20), compararon este procedimiento numérico con observaciones de campo sobre un suelo franco limoso bajo tres condiciones de humedad inicial, evaluaron el flujo de humedad y estimaron la infiltración en el campo. A pesar de las dificultades encontradas para estimar la infiltración en el campo por los procedimientos numéricos, los resultados encontrados son razonablemente precisos.

Según Van-der Ploeg (44), el flujo de humedad en un medio poroso no saturado es un tópico de gran interés para un gran número de disciplinas relacionadas. Comúnmente una ecuación no lineal de diferenciales parciales se usa para describir el flujo de humedad isotérmico en suelos no saturados (12). Haverkamp et al (25), en un estudio de comparación de modelos de simulación numérica de infiltración unidimensional, encontraron que los modelos numéricos son una herramienta para predecir la infiltración de agua en el suelo. Al compararlos con las soluciones propuestas por Philip no se encontraron diferencias.

Hasta ahora la predicción de la infiltración en columnas de suelos en laboratorio es considerada como un paso afortunado en la estimación de la infiltración en el campo (22). Muchos trabajos han logrado acertadas predicciones en la fase de infiltración a través del perfil del suelo a partir de ensayos de laboratorio en columnas de suelo (56).

Al igual se ha tenido éxito con el uso de la ecuación de difusión (23).

Si se dispone de datos de conductividad hidráulica o de difusividad; es posible, por medio de la ecuación de continuidad, formular ecuaciones diferenciales del contenido del agua, posición y tiempo necesario para hallar analíticamente la distribución del agua (6).

2.2.1. Ecuación de Horton

La ecuación que propone este investigador se basa en conceptos físicos del proceso de penetración del agua desde la superficie del terreno hasta las capas inferiores (6, 36, 40).

$$I = I_f + (I_o - I_f) e^{-Bt} \quad [3]$$

La infiltración acumulada estará dada por la integral de la ecuación

[3] .

$$i = I_f t + \frac{(I_o - I_f)}{B} (1 - e^{-Bt}) \quad [4]$$

i = Infiltración acumulada en un tiempo, L

I_f = Es el mínimo valor que puede tomar la capacidad de infiltración, LT^{-1}

I_o = Capacidad de infiltración del suelo en el momento de iniciar la lluvia, o riego, LT^{-1}

B = Es un factor que depende de la influencia de la permeabilidad y la porosidad del suelo, adimensional.

I = Tasa de infiltración (capacidad de infiltración), LT^{-1}

e = Base logarítmica

Philip (36, 40) cita a Gardner y Widtsone, quienes han propuesto una ecuación semejante del avance del frente de humedecimiento con el tiempo transcurrido.

La ecuación de Horton es una de las más frecuentemente usadas, pero sin unas extensivas pruebas de campo los valores de la infiltración inicial (I_0) y final (I_f), lo mismo que el valor de "B" no pueden ser determinadas con seguridad (3).

2.2.2. Ecuación de Green y Ampt

Estos investigadores desde hace más de 70 años formularon una ecuación basada en un modelo físico muy simple del suelo (6, 50). Philip (39), comenta que este modelo tiene la ventaja de que los parámetros de esta ecuación se relacionan con las propiedades físicas del suelo. Asumieron que el suelo estaba saturado por detrás del frente húmedo y que se podía definir un potencial matricial efectivo en este frente.

Para Neuman (34), el modelo de infiltración de Green y Ampt últimamente ha merecido la atención de muchos investigadores, pues da una solución a diversos problemas del proceso de flujo en un medio poroso no saturado, tal como lo demuestran los trabajos adelantados por Ahuja (1) y Swartzendruber (50).

La expresión matemática ha sido presentada en diferentes formas por varios investigadores tales como Philip (36), Bouwer (8,7), Wisler y Bouwer (55), Swartzendruber et al (52), Brakensiek y Onstad (11) quienes están de acuerdo con la siguiente ecuación para la infiltración acumulada.

$$t = \frac{f (L - S \ln(S+L)/S)}{K} \quad [5]$$

- t = Tiempo, T
- K = Conductividad hidráulica efectiva, LT^{-1}
- S = Cabeza efectiva de capilaridad tomada en el frente de humedecimiento (se asume despreciable la cabeza de posición), L
- f = Porosidad drenable (%)
- L = Profundidad del frente de humedecimiento, L

La porosidad drenable está definida por:

$$f = c (1-d/2.65) - w_a \quad [6]$$

d = Densidad aparente, GL^{-3}

w_a = Contenido de humedad inicial, %

c = Constante para reducir la porosidad que según Onstad et al

(11) se puede tomar como 0.86

Swartzendruber y Youngs (52) dicen que muchas ecuaciones pueden derivarse de los conceptos emitidos por Green y Ampt por tanto el modelo podría ser:

$$t = \frac{1}{K_o} (i - a \ln (1 + i/a)) \quad [7]$$

$$a = (H_o - H_f) / (\theta - \theta_i) \quad [8]$$

K_o = Conductividad hidráulica próxima a saturación, LT^{-1}

H_f = Cabeza de presión del frente de humedad del agua del suelo, L

H_o = Altura del frente de humedad a la superficie del terreno, L

- θ = Contenido de humedad del
 suelo a saturación en el
 cual se toma la conducti-
 vidad hidráulica K_0 , %
- θ_i = Contenido de humedad del suelo
 inicial, %
- t = Tiempo, T
- i = Infiltración acumulada, L

La ecuación de Green-Ampt se está imponiendo como una de las más utilizadas y se ha convertido en una herramienta en la predicción de la tasa de infiltración. Esta ecuación no requiere un contenido uniforme de humedad inicial, puede ser aplicada a suelos estratificados (34) y no requiere una conductividad hidráulica uniforme (7).

Brakensiek, Onstad (11) y Raats (45), afirman que la ecuación de Green Ampt, lo mismo que otras más sofisticadas, describen los datos de infiltración experimentales exactamente. La ecuación puede ajustarse a los datos tomados en la evaluación de infiltración por infiltrómetros.

Ahuja (1), basado en los conceptos de Green-Ampt para determinar la infiltración vertical, propone la siguiente ecuación:

$$I = \bar{K} (H_0 + i / \Delta \phi) / (\bar{K}_r + i / \Delta \phi) \quad [9]$$

$$\Delta\theta = \bar{\theta} - \theta_a \quad [10]$$

- I = Tasa de infiltración en la superficie del suelo al tiempo t (instantánea), LT^{-1}
- i = Infiltración acumulada, L
- $\bar{\theta}$ = Se asume como una constante y es el contenido volumétrico total del agua en el suelo.
- Ho = Cabeza efectiva de capilaridad tomada en el frente de humedecimiento, L
- θ_a = Contenido inicial de humedad, %
- \bar{K} = Conductividad hidráulica en la zona de transición, LT^{-1}
- \bar{K}_r = Conductividad afectada por la resistencia que oponen los poros de acuerdo con el contenido de humedad, LT^{-1}

Mein y Larson (32), cuando estudiaron el comportamiento intermitente de la infiltración como resultado de una precipitación, adoptaron para el modelo matemático la ecuación de Green-Ampt la cual describieron así:

$$I = K \left(1 + \frac{\Delta\theta S}{i} \right) \quad [11]$$

- K = Conductividad hidráulica a saturación, LT^{-1}

- $\Delta\theta = \bar{\theta} - \theta_0$ Déficit de humedad inicial
- $S =$ Succión capilar en el frente de humedecimiento en cm de agua, L
- $I =$ Tasa de infiltración, LT^{-1}

El encostramiento de suelos impide la entrada de agua y por ende la tasa de infiltración disminuye. Hillel y Gardner (26), basados en los conceptos de Green-Ampt y teniendo en cuenta que la tasa de infiltración puede variar linealmente con el recíproco de la distancia al frente de humedecimiento, por efecto de la gravedad y un poco menos por el efecto de succión, propusieron la siguiente ecuación:

$$i = \Delta \theta \left(\sqrt{\frac{B^2 R_c^{2/(n+1)} + 2B H_f t}{\Delta \theta R_c^{n/(n+1)}}} - B R_c^{1/(n+1)} \right) \quad [12]$$

$$B = a^{1/(n+1)} \quad [13]$$

$R_c =$ Resistencia a la transmisión de agua a través de la costra

$\Delta\theta = \theta_i - \theta_0$; donde θ_i es el contenido de humedad en la zona de transmisión y θ_0 es el contenido inicial de humedad

$H_f =$ Es la cabeza de la presión en el frente de humedecimiento.

a, n = Son constantes, frecuentemente
el valor de n menor que 5.

Mein y Farrell (31), estudiaron la determinación de la succión en el frente de humedecimiento para poder estimar la infiltración con base en la fórmula [5] de Green-Ampt, ya que hasta entonces este parámetro se asumía. Bouwer (8), ha desarrollado un dispositivo para evaluar la succión de la entreada de aire, con el fin de estimar el potencial capilar en el frente de humedecimiento.

Smith (49), no comparte completamente los trabajos adelantados por Morel-Seytoux y Khanji, quienes lograron una metodología para el desarrollo del modelo de Green-Ampt y afirma que se debe hacer una distinción entre modelos puramente empíricos y modelos con algún significado físico, ya que la ecuación de Green-Ampt no es estrictamente empírica.

James y Larson (29), en la formulación de un modelo de infiltración y distribución del agua en el suelo para el evento de tener una aplicación intermitente, básicamente utilizan la fórmula de Green-Ampt con algunas modificaciones de Mein y Larzon (32).

Dixon (13), afirma que la ecuación de Green-Ampt es simplemente la ecuación de Darcy, aplicada a un haz de tubos capilares no interconectados a una profundidad "z", con una cabeza de presión capilar que ayuda al proceso de infiltración.

La ecuación de Green-Ampt es una simple representación del proceso de infiltración en el campo con un suelo homogéneo y una uniforme distribución de la humedad inicial. La ecuación es uno de los mejores modelos para describir la infiltración durante el proceso de entrada de agua. Además, la ausencia de un suelo homogéneo y una uniforme distribución de la humedad pueden ser obviados si se tiene en cuenta la tecnología desarrollada por Bouwer en sus trabajos (48).

2.2.3. Ecuación de Kostiaikov

Se han propuesto muchas ecuaciones empíricas para expresar el comportamiento de la entrada del agua a través del suelo. Philip (36), cita a Kostiaikov (1932) como uno de los primeros investigadores que formula una ecuación de infiltración.

$$i = c't^\alpha \quad [14]$$

i = Infiltración acumulada
por cada fracción unitaria de área de suelo
(L)

c', α = Son parámetros que dependen del suelo y de sus condiciones físicas; adimensionales.

t = Tiempo (T)

Según Taylor et al (57), esta ecuación es apropiada para los datos experimentales en períodos cortos (3, 17). Para observaciones de infiltración durante períodos largos, Israelsen Hansen (28) y Gavande (18), afirman que los datos se pueden presentar más adecuadamente con la siguiente ecuación modificada:

$$I = \alpha c' t^{\alpha-1} + B \quad [15]$$

I = Tasa de infiltración
 B = Constante a la cual tiende
 la tasa de infiltración, i
 filtración final, LT^{-1}

Según Philip (40), Kostiaikov derivó la siguiente ecuación para la velocidad de infiltración:

$$I = c' \alpha t^{\alpha-1} \quad [16]$$

I = Velocidad de infiltración, LT^{-1}

El parámetro " $c' \alpha$ " representa la tasa de infiltración durante el intervalo inicial y depende de la estructura y de la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua. Si el suelo tiene grietas y poros grandes, el valor de " $c' \alpha$ " es relativamente mayor que si sólo tiene poros pequeños (17, 18).

El parámetro " α^{-1} " indica la forma como la velocidad de infiltración se reduce en el tiempo y depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes del humedecimiento. Los suelos que se expanden tienden a sellarse y volverse impermeables y por tanto tienen un valor " α^{-1} " pequeño. Algunos tienen estructura muy estable presentan valores de " α^{-1} " mayores de 0.6 y pueden aproximarse a uno (17, 18).

Grassi (19), afirma que la ecuación de Kostiaikov ha sido muy usada en las ciencias de suelo y de riego, principalmente por resultar práctica ya que ambos parámetros " c' y α ", pueden obtenerse por simple representación gráfica de los datos experimentales en papel doble logarítmico.

Teniendo en cuenta los parámetros de Kostiaikov, Grassi (19), derivó una ecuación para la velocidad de infiltración promedio que se define así:

$$\bar{I} = c' t^{\alpha^{-1}} \quad [17]$$

$$\bar{I} = \text{Tasa de infiltración promedio, } LT^{-1}$$

La infiltración básica es otra característica del suelo que merece consideración para el diseño, planeación y programación de sistemas de riego. De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos, la velocidad de entrada bá

sica, es el valor instantáneo cuando la velocidad de cambio de entrada para un período estandar es 10% o menos de su valor.

$$I_b = c' \alpha (-10(\alpha - 1))^{\alpha - 1} \quad [18]$$

$$t_b = -10 (\alpha - 1) \quad [19]$$

$$I_b = \text{Tasa de infiltración básica, } LT^{-1}$$

$$t_b = \text{Tiempo básico, } T.$$

Dixon (13), recomienda el uso de la ecuación de Kostiaikov porque se desarrolló bajo condiciones de campo. En general esta ecuación es apropiada para cualquier condición inicial de humedad, salinidad e incluye en sus parámetros todas aquellas variables intrínsecamente relacionadas, que se presentan comunmente en los suelos.

La ecuación de Kostiaikov define la relación de la infiltración en función del tiempo instantáneo y no en función del frente de humedecimiento; sin embargo, el suelo natural contiene un sistema de macroporos y una distribución de la humedad que no es uniforme (13).

Morel-Seytoux (33), no comparte las opiniones que Dixon expresa sobre la ecuación de Kostiaikov, pues las considera exageradas. No obstante no encuentra objeción en la aplicabilidad de la fórmula para algunos ca

sos. Ella por si sola no puede ser la solución a todos los casos de entrada de agua en el suelo, ya que hay casos que tienen un comportamiento semejante a otro tipo de curva no hiperbólica.

Swartzendruber (50), al desarrollar una ecuación parte de la ecuación modificada de Kostiaikov y presenta el siguiente modelo:

$$I = c' \alpha t^{\alpha - 1} + K_b \quad [20]$$

K_b = Tasa de infiltración constante que se obtiene cuando la curva se hace asintótica.

También propuso una segunda ecuación así:

$$I = b(t-c)^{-\frac{1}{2}} + K_b \quad [21]$$

c, b = Son constantes

Esta es una ecuación muy semejante a la ecuación desarrollada por Philip que se verá más adelante.

2.2.4. Ecuación de Kostiaikov - Lewis

Para períodos relativamente prolongados la ecuación de Kostiaikov-Lewis se adapta bien, ya que la tasa de infiltración se aproxima a un valor constante f_0 a medida que el tiempo de oportunidad se incrementa. La forma general de la ecuación citada por Forero (20) es:

$$Z = Kt^\alpha + f_0t \quad [22]$$

$$\frac{dZ}{dt} = \alpha Kt^{\alpha-1} + f_0 \quad [23]$$

Esta ecuación puede expresarse en cualquier tipo de unidades así:

Z = Volúmen infiltrado para un
dad de longitud de surco o mel
ga, L^2 .

K = Coeficiente empírico, L^3K / L

α = Exponente empírico, adimensio
nal.

t = Tiempo de oportunidad de in-
filtración, T.

f_0 = Tasa básica de infiltración
 L^3K/L

$\frac{dZ}{dt}$ = Tasa de infiltración

2.2.5. Ecuaciones de Philip

Una solución exacta de la ecuación de flujo [1] para la función de infiltración requiere métodos numéricos demasiado complejos para realizarlos sin el uso del computador. Un procedimiento de cálculo cómodo de la infiltración en un suelo homogéneo con un contenido uniforme de humedad ha sido ideado por Philip (40). La solución tiene la forma de una serie infinita de términos que contienen las potencias de $t^{1/2}$ (6).

$$i = St^{1/2} + A_2 + K_0 + A_3t^{3/2} + A_4t^2 + A_m t^{m/2} \quad [24]$$

S = Capacidad de un suelo homogéneo para absorber o liverar agua, "Sorbilidad".

A_2, A_3, A_4, A_m = Constantes características del suelo

K = Conductividad hidráulica del suelo para el contenido final de humedad, LT^{-1}

i = Infiltración acumulada, L.

t = Tiempo, T

Philip (39), en el desarrollo de las ecuaciones hizo algunos asunciones básicas así: a) la ley de Darcy es válida en sistemas no saturados cuando la conductividad hidráulica K es una función única del contenido de humedad (θ) y b) el potencial de capilaridad es sólo una función del contenido de humedad (θ) .

La mayor parte de la literatura distingue una serie de zonas en una columna de suelo durante la infiltración: a) zona de saturación que se presume llega a una profundidad de 1.5 cm, b) zona de transición o región de rápido decrecimiento del contenido de humedad, que puede extenderse hasta cinco cm de la superficie, c) zona de transición o región en la cual el contenido de humedad varía sólo en el tiempo y en el espacio mientras dura el proceso de infiltración d) zona de humedecimiento o región justamente de rápido cambio en el contenido de humedad con respecto al tiempo y el espacio e) frente de humedecimiento que es una región del verdadero paso del gradiente de humedad que representa el visible límite de penetración de la humedad.

En la determinación de una ecuación algebraica Philip (42) presenta una ecuación simplificada de la ecuación diferencial y sólo se presentan dos términos de la serie:

$$i = St^{1/2} + At \quad [25]$$

$$S = \int_{\theta_n}^{\theta_s} \theta \, d\theta \quad [26]$$

$$A = Kn + \int_{\theta_n}^{\theta_s} x \, d\theta \quad [27]$$

- S = Parámetro que Philip llamó absorbilidad.
- θ = Contenido volumétrico de agua.
- A = Constantes características del suelo.
- i = Infiltración acumulada
- θ, ϕ, X = Funciones del contenido de humedad.

La diferenciación de esta ecuación es :

$$I = \frac{1}{2} St^{-\frac{1}{2}} + A \quad [28]$$

Estas dos ecuaciones son un poco difíciles de manejar, pero son simples ecuaciones derivadas de un análisis matemático con las cuales se ha encontrado buenos resultados y son a la vez una buena solución para los requerimientos de los estudios hidrológicos.

Según Baver (6), los términos mas allá del cuarto en la serie infinita de la ecuación [24] son en general insignificantes y despreciables para fines de cálculo. Estos términos se hacen significativos al aumentar el tiempo.

Se ha supuesto erróneamente que el segundo término de la ecuación [25]

corresponde a la intensidad final de filtración para grandes valores de tiempo pero como puede verse en la ecuación [24], éste es un error.

Según Gavande (18), esta ecuación tiene la desventaja de no corresponder a condiciones reales, porque su teoría está basada en suelos homogéneos y uniformes con temperatura constante.

Siguiendo la opinión de Philip, los parámetros de la ecuación se pueden estimar a partir de los registros de campo tomando los valores de la infiltración acumulados en tiempos próximos a los 1000 y 10000 segundos respectivamente, para los parámetros "S y A" (18, 53).

Whisler et al (55), cuando hacen la comparación de métodos de cálculo del drenaje vertical y la infiltración en los suelos presentan la misma ecuación de Philip y determinan además en forma matemática los parámetros de la ecuación.

Swartzendruber et al (52) al comparar algunas ecuaciones concluye que para propósitos prácticos, la ecuación de Philip por su simplicidad matemática y adaptabilidad puede ser preferida por quienes requieren su uso.

2.3. FACTORES QUE AFECTAN LA INFILTRACION

Considerables progresos se han obtenido en el campo de la infiltración, aunque hay muchos aspectos que son aún desconocidos. Hay variables que afectan el movimiento y entrada del agua en el suelo, unas fácilmente determinables y otras extremadamente dinámicas que cambian con el tiempo y con el manejo del agua en el suelo (16, 19).

Lewis y Powers (30), desde 1938 han reportado una lista de factores que directa o indirectamente afectan la capacidad de infiltración, unos para un tiempo y espacio dado, otros bajo una considerable superficie y período de tiempo.

Otros autores como Duley (15), Grassi (19) y Erie (16), están de acuerdo en la complejidad del fenómeno y en los múltiples factores que la afectan, algunos de ellos no se manifiestan, mientras que otros pueden ser determinados por el método de los anillos infiltrómetros (30).

Según Erie (16), los factores más importantes que entran en el proceso de infiltración del agua en suelos bajo riego son:

- Condiciones de la superficie del suelo (Cobertura con encostramiento, grado de pedregosidad).
- Características internas del perfil del suelo (masa)
- Contenido de humedad del suelo (θ).

- Cabeza hidrostática (Z)
- Época del año (verano, invierno)
- Temperatura del medio poroso (suelo) y del fluido (agua)
- Tiempo de aplicación del riego.
- Métodos y/o sistemas de riego.
- Operación de labranza (número, clase, implementos, estado de suelo en que fueron efectuados).
- Precipitación promedio (intensidad, duración, frecuencia)
- Tipo de vegetación (cultivos)
- Compactación, sellamiento
- Erosión
- Acción de las plantas con sus estructuras vegetales sobre la superficie del suelo y sobre el perfil.
- Acción de los micro-organismos del suelo (bacterias)
- Acción de los químicos (pesticidas y fertilizantes) sobre el suelo.
- Contenido de materia orgánica en el suelo.

Grassi (19), clasifica los factores que afectan la capacidad de infiltración de acuerdo con las siguientes características: a) características físicas del suelo, b) características de humedad del suelo, c) método de riego y manejo de agua y d) otros factores.

La macroporosidad afecta la conductividad hidráulica en el estado próximo a saturación. La porosidad depende de la textura, estructura y

la estabilidad estructural y ayuda a mantener mejores condiciones superficiales para que penetre el agua (19).

El contenido de arcillas (composición mineralógica) y la composición del complejo de intercambio, son factores importantes que con su presencia afectan la capacidad de infiltración.

Los agentes cementantes tales como materia orgánica, óxidos inorgánicos contribuyen a la formación de agregados y por tanto tienen una alta con ductividad. La separación de agregados produce una costra que es un sello que reduce la penetración de agua. El impacto de las gotas del riego por aspersión puede ayudar a la formación de esa costra (19).

Otros factores importantes son la temperatura del fluido (viscosidad y tensión superficial), el aire atrapado y el contenido de humedad del suelo.

2.3.1. Contenido Inicial de Humedad

El contenido de humedad inicial de un suelo ejerce una gran influencia sobre las características de infiltración. Estudios empíricos efectuados por Neal y Tisdall citados por Philip (40) han establecido que altas tasas de infiltración están asociadas con bajos contenidos de hume dad inicial y viceversa. Las ecuaciones [26] y [27] presentan una relación entre el contenido de humedad y la infiltración (36).

Según Grassi (19), el contenido inicial de humedad es una característica física para cada tipo de suelo y debe ser incluido como uno de los parámetros en toda prueba de infiltración.

Aylor y Donald (5), hacen un análisis teórico sobre el proceso de infiltración en función de las condiciones iniciales y de las limitaciones de estas condiciones. Otros investigadores, han efectuado análisis semejantes, dando una solución numérica a la ecuación diferencial del flujo de humedad en el suelo. Se han desarrollado algunos métodos numéricos por diferencias finitas (31), que se han comparado con un sin número de ensayos de campo en un suelo homogéneo y con uniforme contenido de humedad. Gupta (23), resalta las soluciones numéricas desarrolladas para deducir el movimiento vertical de la humedad sobre las soluciones encontradas con base en las propiedades del suelo determinadas en laboratorio; uno de estos métodos es propuesto por Philip y el otro es el desarrollado por Hanks y Bowers (24).

Philip (42) al hacer un análisis matemático sobre el contenido de humedad, llegó a afirmar, que la difusividad y la conductividad están influenciadas directamente por la textura del suelo y el contenido de humedad inicial.

En la ecuación simplificada de Philip (40), el parámetro que gobierna la dinámica de la infiltración para pequeños tiempos es "S". Este parámetro en algunos suelos puede variar de $S = 0$ para cuando $\theta_i = \theta_0 = 0.4950$

y aumentar continuamente a medida que decrece el contenido de humedad inicial (θ_0).

Sobre el parámetro "A" el efecto es manifiesto para los tiempos subsiguientes y tiene una influencia importante en la dinámica del fenómeno.

$$A = \int_x + Kn \quad [29]$$

$Kn =$ Conductividad hidráulica, LT^{-1}

Gavande (18), cita las curvas encontradas por Philip para un suelo arcilloso (Figura 1) y allí se muestra la influencia del contenido inicial de humedad sobre la tasa de infiltración y sobre la infiltración básica.

Philip (41), hace un detenido análisis matemático y considera cuantitativamente la compleja interacción entre el contenido inicial de humedad, la dependencia de la conductividad hidráulica y de la difusividad de la humedad, el papel que juega en el almacenamiento, en el gradiente de humedad, en el avance del frente de humedecimiento, en la tasa de infiltración y en otros aspectos del fenómeno total del movimiento (21), donde pueden tener especial atención.

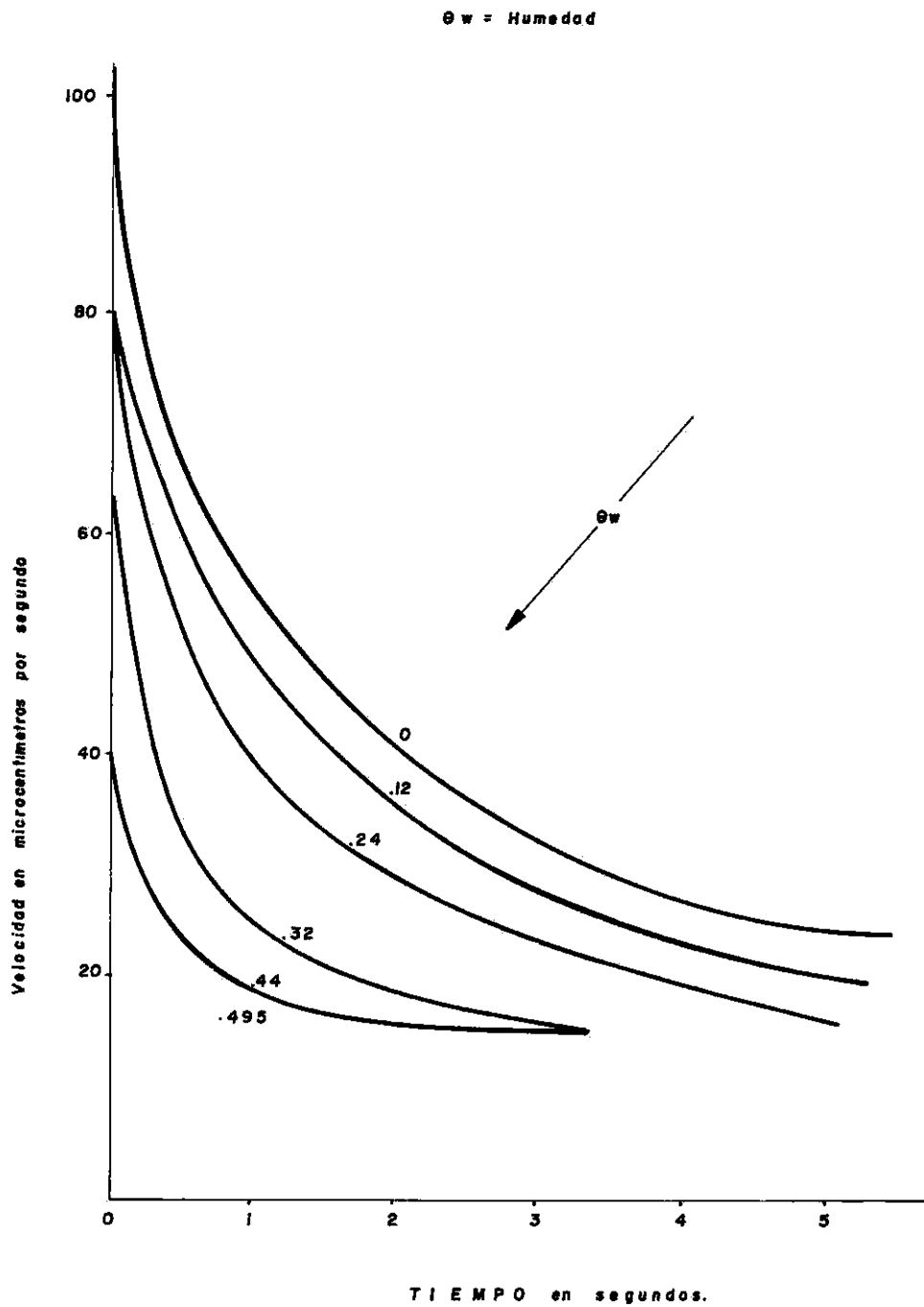


Figura 1. Velocidad de infiltración en función del tiempo para varios contenidos de humedad inicial (Θ_w) en el suelo.

Reats (45), encontró algunas ecuaciones para el flujo de humedad en función del contenido de humedad en el frente de humedecimiento.

$$V = \frac{\theta_{ivi} - \theta_o V_o}{\theta_i - \theta_o} = \frac{K_i \left(\frac{h_o - h_1}{L} + (K_i - K_o) \right)}{\theta_i - \theta_o} \quad [30]$$

θ_{ivi} = Contenido de humedad para flujo inicial

$\theta_o V_o$ = Contenido de humedad para flujo final

h_o = Cabeza de presión del suelo en la superficie.

h_1 = Cabeza de presión efectiva en el frente de humedecimiento.

θ_i = Contenido de agua en el perfil del suelo.

K_i = Conductividad hidráulica inicial.

K_o = Conductividad hidráulica al final.

$$V = \frac{h_o - (h_{cl} + h_a - L)}{(\theta_i - \theta_o) L} \quad Z/h \quad [31]$$

Gumbs and Warkentin (21) encontraron que el cálculo de la difusividad está en función del contenido de humedad inicial.

Grassi (19), en su ensayo de riego por surcos encontró al analizar los resultados mediante la ecuación de Kostiaikov, que existe una pequeña variación en el coeficiente con el aumento en el contenido de humedad inicial. En el exponente, la reducción no fue significativa (Figura 2)

El US Bureau Reclamation, Land Classification Hand-book, sugiere, dadas las dificultades que se presentan al determinar las características de la infiltración, efectuar dos pruebas de infiltración: una con suelo húmedo y otra con suelo seco. Una buena aproximación es efectuar la prueba en el instante en el cual las condiciones de humedad del suelo requieren riego para evitar bajas en la producción como consecuencia de los déficit de humedad (19).

2.4. DETERMINACION DE LA INFILTRACION

El método más preciso para medir directamente la infiltración en terre nos cultivados, consiste en aforar el agua aplicada y a este volúmen substraer la que sale en alguna forma del terreno. Cuando no se puede efectuar esta medida directa se utilizan anillos infiltrómetros con re sultados aceptables (16, 17, 18, 28).

Hay que tener en cuenta que debido a la extrema heterogeneidad de los suelos y a la variabilidad que existe de un punto a otro en el terreno,

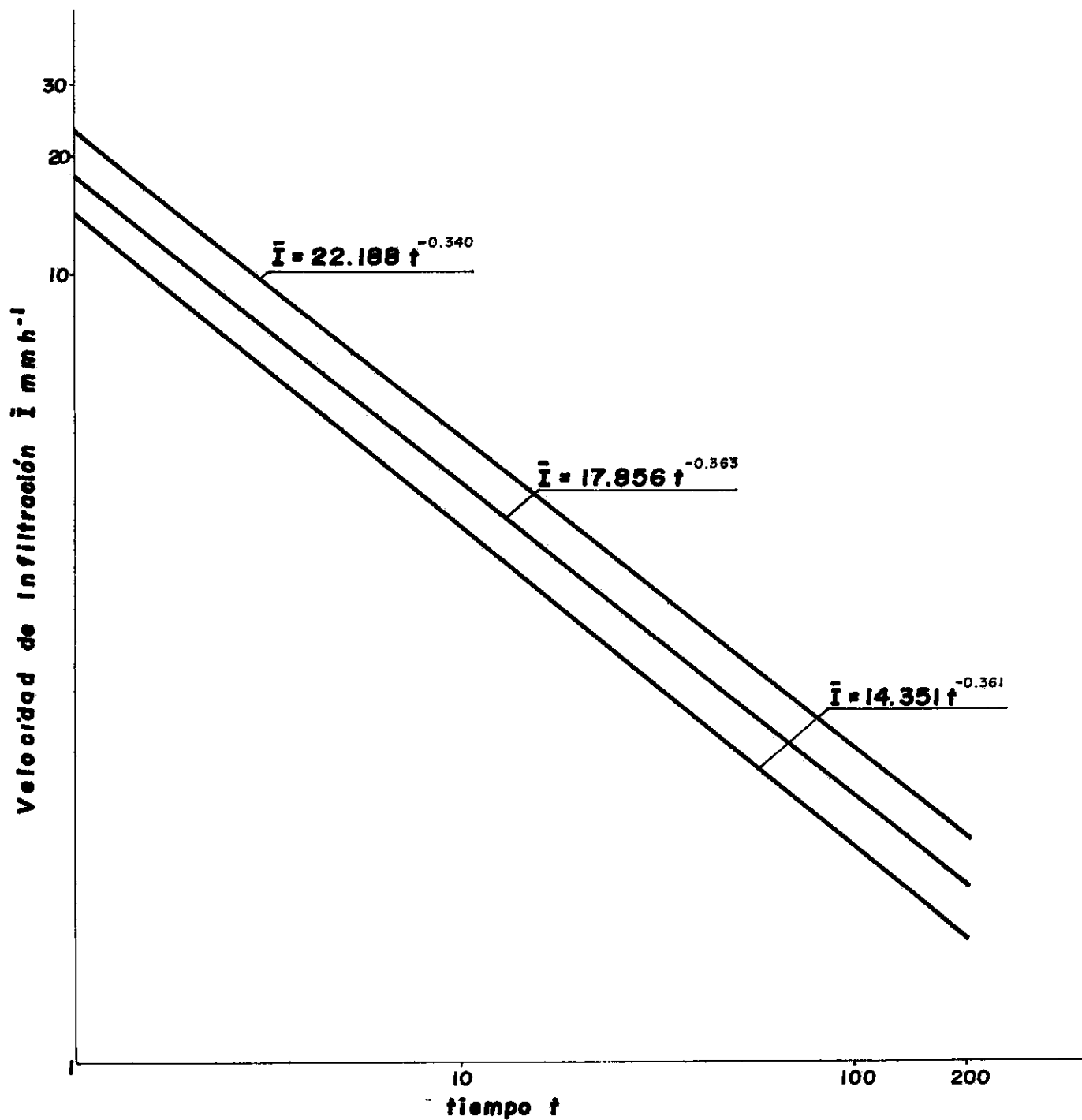


Figura 2. Velocidad de infiltración \bar{I} en función del tiempo para varios contenidos de humedad inicial en el suelo

los resultados de las mediciones de infiltración son datos puntuales y en consecuencia, su utilización ha de ser presidida de una extrema cautela, ya que una muestra del suelo es representativa únicamente de una parte muy pequeña del suelo (28).

Peele y Beale (35), desarrollaron una metodología para determinar en el laboratorio la tasa de infiltración con suelos disturbados. Simultáneamente efectuaron evaluaciones en el campo y en el laboratorio y encontraron resultados muy semejantes en los primeros 30 minutos. Los registros tomados en el laboratorio fueron significativamente muy bajos después de transcurridos 60 minutos de evaluación.

Varios aparatos de laboratorio han sido propuestos para producir lluvia en diferentes intensidades y con gotas de diferentes tamaños, con el objeto de simular en el laboratorio exactamente las condiciones de campo, sin embargo, no se había logrado una uniforme distribución hasta que Römken et al en 1975 (47), desarrollaron un instrumento que permite graduar una intensidad y una uniformidad de aplicación que no tiene una variación más del 2.5% de lo predicho.

Las propiedades hidrodinámicas del suelo en el campo son mejor evaluadas in situ y en aquellas localidades remotas sería más conveniente determinar la infiltración tomando como base muestras de suelo disturbado para evaluar sobre éste las propiedades en el laboratorio (21).

Ahuja et al (2), teniendo en cuenta lo anterior, estudió detalladamente el comportamiento de la infiltración vertical del agua y el gradiente lateral y vertical, estableciendo el frente de humedecimiento. Para ello empleó dos anillos concéntricos y tensiómetros a diferentes profundidades con los cuales determinó los diferentes gradientes que ocurrían. Al igual que otros investigadores estableció que en el centro de los anillos se debía determinar la infiltración. No obstante, esta podía ser mal estimada en la medida que el diámetro del anillo exterior era menor de 60 cm. En los casos de diámetros superiores las posibles variaciones fueron insignificantes.

Muntz, citado por Aronovici (4), fue quién hizo los primeros estudios sobre la bondad del método de evaluación de la infiltración mediante anillos concéntricos.

Dos fuerzas causan el movimiento del agua a través del suelo según Aronovici (4): la gravedad y las fuerzas asociadas con el gradiente de presión. El gradiente hidráulico representa el vector suma de la gravedad y de las fuerzas del gradiente de presión.

Comunmente se emplea un infiltrómetro en forma de anillo para evaluar la capacidad de infiltración de la superficie del suelo. La ecuación [32] da una idea sobre el posible error que se comete al estimar la infiltración por este método. El valor I rara vez es superior a 0.05 cm y el más común es 0.02 (6).

$$I = K \left(1 + \frac{4}{\pi \alpha r^2} \right) \quad [32]$$

K = Conductividad hidráulica a saturación.

α = Constante

r = Radio de la fuente de agua

Aronovici (4), afirma que la velocidad de infiltración medida por un infiltrómetro depende básicamente de tres factores: a) de la conductividad hidráulica (K) del suelo saturado que se encuentra contenida dentro del área circunscrita al anillo infiltrante, b) de la conductividad no saturada del suelo entre el frente de humedecimiento y la base del infiltrómetro y c) de la cabeza de presión que incluye todas las fuerzas que se generan entre la saturación y el frente de humedecimiento. El autor cita a Lewis al afirmar que son muy difíciles de evaluar todas las fuerzas en el campo y propone la evaluación con la fórmula de Kostiaikov.

Para Erie (16), el uso de los anillos infiltrómetros es una de las vías más comunes para determinar la tasa de infiltración cuando se propone regar por inundación o cuando se aplica una lámina de agua sobre el suelo durante el regadío.

Según Bouwer (10), el método de evaluación con doble anillo, permite evitar los errores de evaluación de la velocidad de infiltración vertical, debido a que el movimiento lateral es controlado por los efectos de buffers. Erie (16), no comparte este criterio ya que para él como para otros, esta práctica ha presentado controversias. Además de terminó numerosos errores debidos al movimiento lateral, pero según él, ninguno de ellos es significativo.

Al usar los dos anillos se encontró que si existe una diferencia grande entre los dos niveles de agua en el interior de los anillos, esto produce un error que sí es significativo especialmente en las últimas etapas del proceso debido a que esta cabeza de presión provoca un flujo (10).

En general se ha encontrado que existe una sobreestimación de la capacidad final de infiltración, fenómeno que en parte es contralado por el método de doble anillo concéntrico (9).

Dixón (14), teniendo en cuenta otro factor importante como es el aire del suelo, desarrolló un aparato para determinar la infiltración bajo presiones negativas que es el fenómeno que comunmente ocurre con el riego y con la precipitación natural.

Swartzendruber y Olson (51), al igual que otros investigadores (Marshall, Stirk, Kohnke, Musgrave), encontraron que la velocidad de infiltración

es esencialmente constante en el centro del área circular, pero esta se incrementa en la medida que disminuye el diámetro del anillo exterior (9).

De acuerdo con lo anterior, los anillos deben tener por lo menos 24 cm de diámetro el anillo interior y una altura de 45 cm, el anillo exterior puede tener 60 cm. El espesor del anillo no tiene importancia significativa (6, 16, 17, 28, 51).

Generalmente para comodidad deben estar hechos de acero liso y ser lo suficientemente gruesos para poderlos incar, pero con un espesor que produzca el mínimo de disturbación en las condiciones del suelo (17, 28).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACION Y EXTENSION

El Centro Nacional de Investigaciones Palmira - ICA se encuentra situado al sur del Valle geográfico del alto Cauca, en el municipio de Palmira, Departamento del Valle del Cauca.

Latitud:	3° 31' N
Longitud:	76° 19' W
Altura:	1001 m.s.n.m.

Tiene una superficie de 440 ha y se encuentra subdividida en lotes con extensiones que varían entre 5 - 35 ha. Se cultiva sorgo, maíz, soya, frijol, algodón, frutales, cacao, yuca, plátano y algunas otras especies tropicales de clima cálido.

3.2. CLIMATOLOGIA

El área de la investigación se ubica dentro de la formación ecológica bosque seco tropical; con un clima muy característico de aquellos lugares donde ocurre un sistema de circulación intertropical. Las mayores variaciones se presentan en la humedad relativa y en la precipitación, la temperatura es básicamente una función de la altitud y en consecuencia los intervalos de variación son muy estrechos (23.2°-23.9°). Para

efectos prácticos se puede considerar la temperatura media como una constante 23.7°C (figura 3).

La humedad relativa es de 67%, con vientos dominantes al norte que llegan a una velocidad máxima de 71 Km/h y una evaporación promedio de 4.3 mm/día. Esta presenta sus máximos valores en los meses de enero, febrero, marzo, agosto y septiembre; períodos que corresponden a las épocas de preparación, siembra y recolección de los cultivos. (figura 4).

La precipitación media se caracteriza por tener dos máximos al año (de la semana 15-22 y de la semana 40-45) y dos mínimos (de la semana 49-12 y de la semana 24-36). El período Junio - Agosto se registra como el más seco del año. El promedio anual es de 1018 mm y la cantidad de agua acumulada por año varía entre 645 - 1536 mm. Los años secos se presentan con una probabilidad estimada en 30.77% y una precipitación promedio anual de 801.6 mm. Los años húmedos registran una precipitación media de 1276 mm y ocurren con una probabilidad estimada en 26.92% (figura 4).

3.3. DISPONIBILIDAD DE AGUA

El régimen de precipitación determina la disponibilidad de agua, los posibles requerimientos (figura 4) y las cantidades de agua que se infiltran en el área contribuyendo a la recarga de los acuíferos.

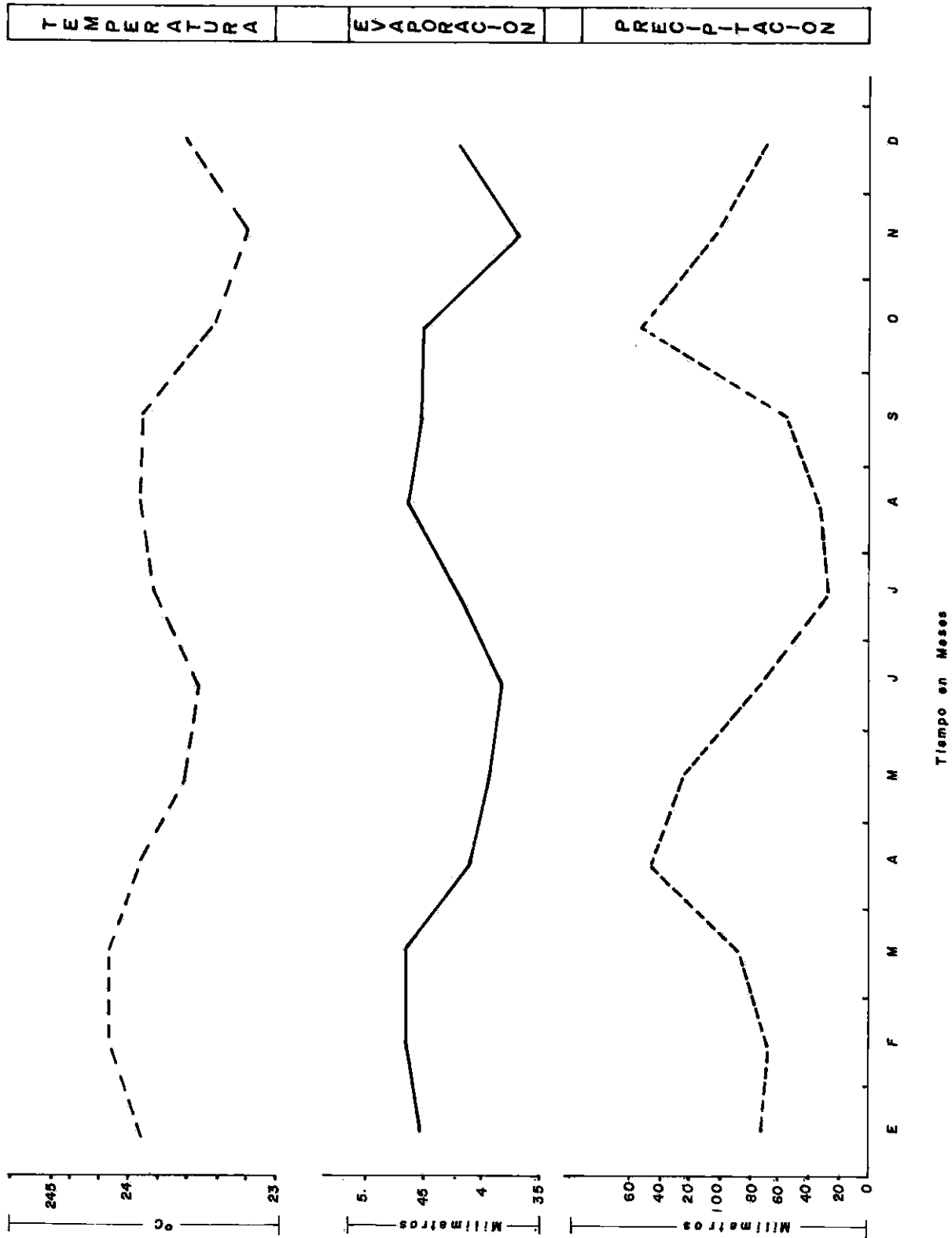


Figura 3. Registros meteorológicos de la estación Palmira. Temperatura (1930-1971) Precipitación (1930-1971) Evaporación (1960-1971).

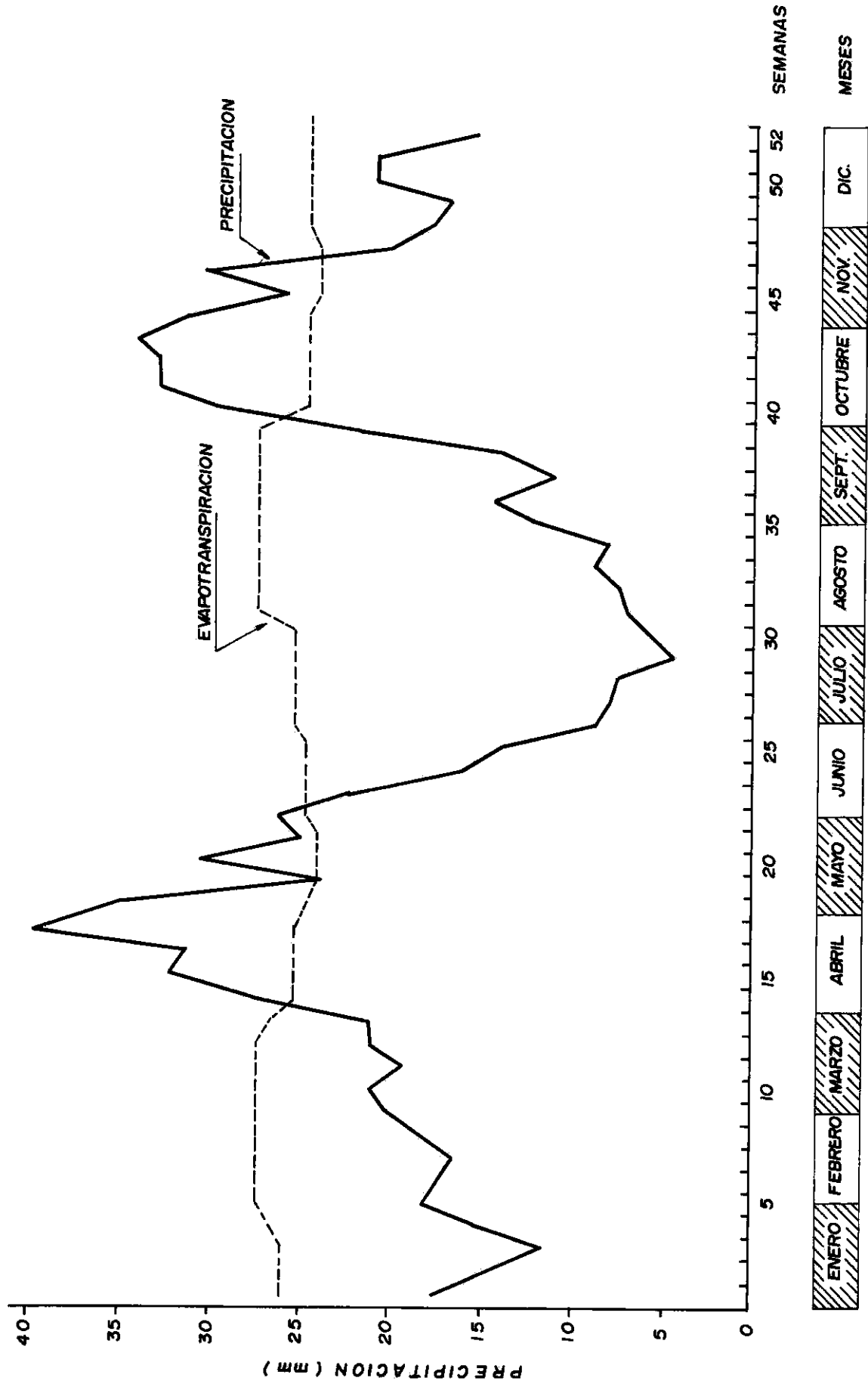


Figura 4 Balance hídrico para períodos de 7 días promedios de 50 años. (1930-1981) Centro Nacional de Investigaciones Palmira.

Estos últimos son la única fuente que posee actualmente el Centro como riego suplementario.

Las aguas subterráneas se deben considerar como un suministro suplementario, tal como ocurre en el CNI Palmira, donde se requieren 375 LPS y actualmente se toma parcialmente de tres pozos (Vp 301, Vp 322 y Vp 177).

El logro de una mayor economía en el uso del agua debe constituirse en uno de los objetivos de un sistema de producción. Estos objetivos se alcanzan con un conocimiento profundo de las características propias de los suelos y un adecuado manejo del riego que minimice la escorrentía y la percolación profunda.

3.4. SUELOS

La información básica disponible se halla consignada en el "Estudio de de tallado de Suelos y Clasificación para Riego y Drenaje del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Palmira" (46). En él se suministra una descripción detallada de la naturaleza, características físicas y químicas de los suelos del Centro. Allí se delimitan los suelos al nivel de series y fases.

Desde el punto de vista de esta investigación, se seleccionó una clasi ficación taxonómica del suelo a nivel de fase que según Rivillas (49), se identifica como serie Palmira (PLc), cuyas características se inclu

yen en la tabla 1.

Los parámetros físicos de la tabla 1 son la base para hacer los análisis correspondientes a la investigación propuesta. Estos parámetros, para fines de la investigación, se consideran como constantes ya que se estableció como única variable el contenido inicial de humedad; en consecuencia, la clasificación taxonómica a nivel de fase permite obtener esta condición relativa.

3.5. METODOLOGIA DE CAMPO

3.5.1. Selección de la Fase de Suelos

Para estudiar el efecto del contenido de humedad inicial sobre la velocidad de infiltración, la infiltración básica e infiltración acumulada, se planearon los experimentos en tres lotes de la misma fase de suelos (PLc) (46). La única variación considerada para cada una de las series de experimentos fue la clase de cultivo establecido.

Al seleccionar la fase de suelos se tuvo en cuenta que esta correspondiera a una de las fases de suelos que fuesen dominantes en el Valle a fin de extrapolar los resultados, los cuales se clasifican como un suelo Haplustoll páchico según el sistema americano de clasificación de suelos.

Tabla 1 Parámetros Físicos del Suelo de la Serie Palmira (PLc) *

Profundidad cm	Granulometría			Permeabilidad		Da gr/cm ³	Porosidad Ø %	Retención Hmedad		Agua %
	A%	L%	Ar%	Alterada cm/h	No alterada cm/h			1/10 at. %	15 at. %	
00 - 23	28	42	30	0.02	2.61	1.67	37	31.5	13.9	13.4
23 - 55	26	42	32	0.01	2.61	1.67	37	35.9	14.6	8.6
55 - 75	24	52	24	0.16	6.99	1.52	44	35.5	10.4	-
> 100	56	40	04	3.56	-	2.65	-	-	-	-

* Tomados del Estudio Detallado de Suelos y Clasificación para Riego y Drenaje (46).

3.5.2. Métodos de Evaluación

Se seleccionó el método de doble anillo concéntrico para efectuar la investigación teniendo en cuenta: a) en la práctica es el método más fácil de ejecutar, el más difundido y el que comunmente se usa para es timar la infiltración con fines de diseño de riego y aún los resultados de estos ensayos son útiles en el proyecto de manejo de cuencas hi drodinámicas y geohidrológicas, b) la compilación de la información es sencilla y se pueden controlar los agentes extraños que pueden alterar los resultados, c) el método permite hacer muchas evaluaciones en un área reducida. Esto asegura una menor variación en las características hidrodinámicas del suelo, d) como se puede observar en la revisión de literatura este es uno de los métodos directos que se han utilizado am pliamente con buenos resultados (16, 17, 18, 28).

De acuerdo con lo anterior y con los resultados obtenidos por otros in vestigadores tales como Bouwer (9), Gavande (18) e Israelsen (28), se efectuaron pruebas con una batería constituida de tres juegos de infiltró metros.

El diámetro del anillo interno es de 30 cm y el del anillo exterior de 45 cm con una altura de 35 cm construídos con lámina "Coll Rolled" calibre 12.

Las baterías de infiltrómetros se instalaron en el campo en los lotes seleccionados, los anillos internos se incaban cinco centímetros y los exteriores 15 centímetros, siguiendo la metodología general para este tipo de evaluación (17).

En los anillos interiores y en el área circunscrita por los anillos internos y externos se mantuvo una lámina de agua aproximadamente constante sobre la superficie del suelo; para no permitir que el nivel oscilara más de 10 cm.

La evaluación de la humedad se determinó por el método gravimétrico y consistió en tomar cinco muestras de suelo para las dos capas de 00-20 cm y de 20-40 cm con el contenido de humedad del momento.

3.5.3. Series de Experimentos

En los sitios de evaluación, que correspondían a la fase de suelos previamente seleccionada, se procedió a tomar los registros de campo al-

ternativamente en cada uno de los lotes. Los cambios del contenido de humedad en el suelo se provocaban por medio de riego por aspersión o se presentaron por precipitación.

Una de las series de experimentos se efectuó en un lote donde el suelo había permanecido por más de 15 años con praderas, lo cual garantizaba que las propiedades físicas del suelo fueran constantes. La segunda serie se efectuó en un suelo con un cultivo perenne (cacao) que tenía las mismas características del lote anterior.

En lotes con cultivos semestrales también se adelantó otra de las series de evaluaciones para determinar el efecto de la humedad inicial sobre la función de infiltración. El cultivo sembrado era fríjol Calima.

Se tomaron algunos otros registros en suelos diferentes a la serie seleccionada, pero su alto contenido de arcillas expansivas no permitieron lograr resultados aceptables a la luz del primer análisis de campo.

3.6. ANALISIS DE RESULTADOS

3.6.1. Análisis Estadísticos y de Regresión

Teniendo en cuenta que el trabajo se desarrolló en el campo, el análisis de los resultados se planeó de tal manera que los parámetros determinados

minados fueran respuesta a la variable contenido de humedad y no de otro grupo de variables propias de la heterogeneidad de los suelos.

Inicialmente se analizó cada una de las pruebas de infiltración utilizando para este fin un ajuste a la ecuación empírica de Kostiaikov, citada por Philip (36). La mayor parte de los eventos analizados respondieron a este modelo y sólo algunos tenían un coeficiente de determinación bajo. Por tanto éste se tomó como criterio para descartar aquellos ensayos que no proporcionaban confiabilidad para los análisis posteriores.

La infiltración básica se determinó por el método establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos o sea el 10% del valor instantáneo de la tasa de cambio para un período estandar.

Para determinar la infiltración básica se asumió que este parámetro podría tener un comportamiento semejante a cualquier fenómeno hidrológico. Por tanto se le hizo un análisis probabilístico y así se determinó el intervalo dentro del cual podría oscilar la infiltración básica razonablemente. Con este criterio se descartaron muchos de los resultados obtenidos en el campo.

Aunque hay varias expresiones tanto empíricas como teóricas basadas en consideraciones físicas para explicar el flujo del agua dentro de un

medio poroso, en este caso, sólo se tomó el modelo empírico de Kostiaikov y se construyeron en papel log-log curvas de todas las pruebas para establecer visualmente la tendencia que la infiltración acumulada tenía a través del tiempo.

Una vez depurada esta información, se agruparon los resultados de infiltración bajo unos intervalos de humedad, se seleccionaron aquellos que en el análisis dieron un coeficiente de determinación igual o superior de 0.9; con lo cual, se aseguraba que las interpretaciones logradas tuvieran un alto grado de confiabilidad.

Los parámetros c' y α que se determinaron según el modelo de Kostiaikov se analizaron frente al contenido inicial de humedad y se estableció una posible correlación. Se construyeron curvas con los registros agrupados para encontrar el coeficiente de determinación y comprobar la bondad del análisis.

Una vez clasificados se efectuaron otros análisis con otros modelos para establecer el mejor modelo empírico o teórico que diera solución a los registros tomados en el campo. En especial se tomó la fórmula de Philip (41) para ratificar lo encontrado con los parámetros de Kostiaikov.

En el análisis de resultados se tuvieron en cuenta las observaciones de campo sobre el comportamiento de los suelos cuando se aplicaba riego por aspersión en aquellos lotes donde predominaba la serie de suelos es

tudiada. El equipo de riego empleado tenía una tasa de aplicación de 12.5 mm/hora. En muchos casos después de dos horas se presentaron en charcamientos y por tanto este criterio se tomó para descartar aquellas pruebas que se apartaban de la tasa de aplicación.

Por análisis de regresión se obtuvieron los parámetros de la función de infiltración, en algunos casos se lograron sólo tres pruebas para cada intervalo de humedad y en otros casos se logró agrupar hasta seis pruebas.

3.6.2. Selección de Pruebas de Campo y Agrupamiento por Contenido de Humedad Inicial

Dentro del procedimiento para el análisis de los resultados se prepararon curvas individuales en papel log-log, que permitieron hacer una primera clasificación. Se eliminaron aquellas que fueron afectadas por otras causas perturbadoras y que no correspondían a la variable propuesta.

Esta primera fase permitió eliminar los posibles errores debidos a la toma de lecturas, al cálculo inicial de los intervalos de tiempo y también a factores del suelo como: agrietamientos, compactación, contenido de residuos vegetales los cuales en un momento distorcionan los verdaderos coeficientes del suelo.

La representación gráfica individual de los resultados permitió clasificar las curvas y agruparlas de acuerdo con el tipo de curva. Estas también se clasificaron teniendo en cuenta que la infiltración básica es una característica hidrodinámica constante del suelo y así se obtuvieron dos series de familias de curvas.

Para seleccionar las diferentes curvas de regresión se tomó el índice R^2 (coeficiente de determinación).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En las tablas 5, 6, 7,38 se han resumido todos los registros que se tomaron en el campo; corresponden, a las cuatro variables que se determinaron: tiempo, infiltración acumulada, humedad inicial de 00-20 cm y de 20-40 cm de profundidad. También se incluyen los parámetros generales de las ecuaciones de Kostiakov y la infiltración básica deducida con base en el criterio del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. (ver Apéndice 1).

Los resultados de la primera serie de experimentos que se efectuaron en el lote con cultivo de pastos (pradera), se encuentran en las tablas 5, 6.....19; corresponde a la fase de suelos de la serie Palmira (PLc). En las tablas 20, 21.....29 se consignan los correspondientes al lote sembrado con cultivos transitorios. Las tablas 30, 31....38 contienen los correspondientes a la serie de ensayos adelantados en el lote sembrado con cacao. (Apéndice 1).

4.1. INFILTRACION ACUMULADA

Por medio de la ecuación de Kostiakov, se determinaron los parámetros de la infiltración y se evaluaron los resultados de campo; los cuales, se consignan en las tablas 39, 40, 41, 42, 43 (Apéndice 1).

El coeficiente de determinación (R^2) que se encontró para cada prueba individual, permite asegurar que la ecuación empírica de Kostiakov ade

más de ser práctica (19), es un modelo que resuelve satisfactoriamente la función de infiltración. Sólo un 10% de las pruebas obtuvieron un coeficiente de determinación (R^2) inferior a 0.9 (tablas 39, 40, 41, 42, 43); o sea que, el modelo empírico de Kostiaikov explica con un alto grado de confiabilidad los resultados de campo.

Un análisis detallado de los ensayos permite establecer que la ecuación de Kostiaikov es apropiada para los datos experimentales durante períodos cortos. Cuando las pruebas se prolongan por más de tres horas hay tendencias en las curvas que no son bien explicadas por el modelo empírico. Similares resultados ya había encontrado Taylor (53), quién formuló una solución complementaria para períodos largos. En general se puede afirmar que para fines de planeación y programación de riego es aceptable el uso adecuado de la ecuación de Kostiaikov tal como ya lo había recomendado Dixon (13).

De las 100 pruebas efectuadas con diferentes contenidos de humedad inicial no se encontraron dos absolutamente semejantes. Lo anterior, permite establecer de antemano que la determinación de este parámetro no es fácil y requiere de un conocimiento profundo de las características físicas del suelo, las cuales se deben correlacionar con los registros de campo para una adecuada interpretación.

En la figura 5 se presenta en papel log-log una curva típica de los resultados que en un 90% se encontraron en el campo. La figura 6 presenta aquellos casos en los cuales la infiltración, después de un período

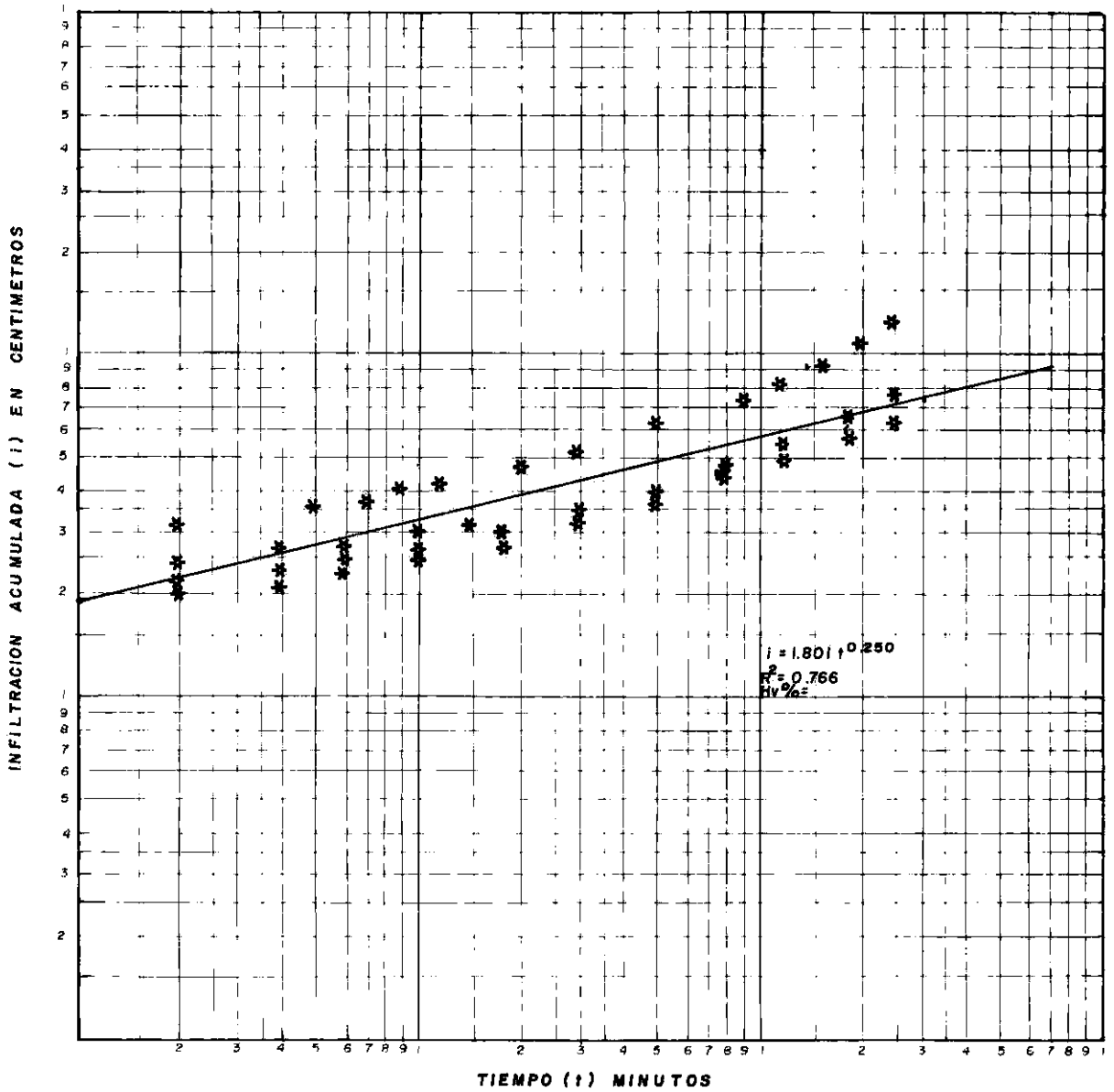


Figura 5 Infiltración acumulada (i) en función del tiempo (t) para un contenido de humedad (curva tipo ajustada a Kostiakov)

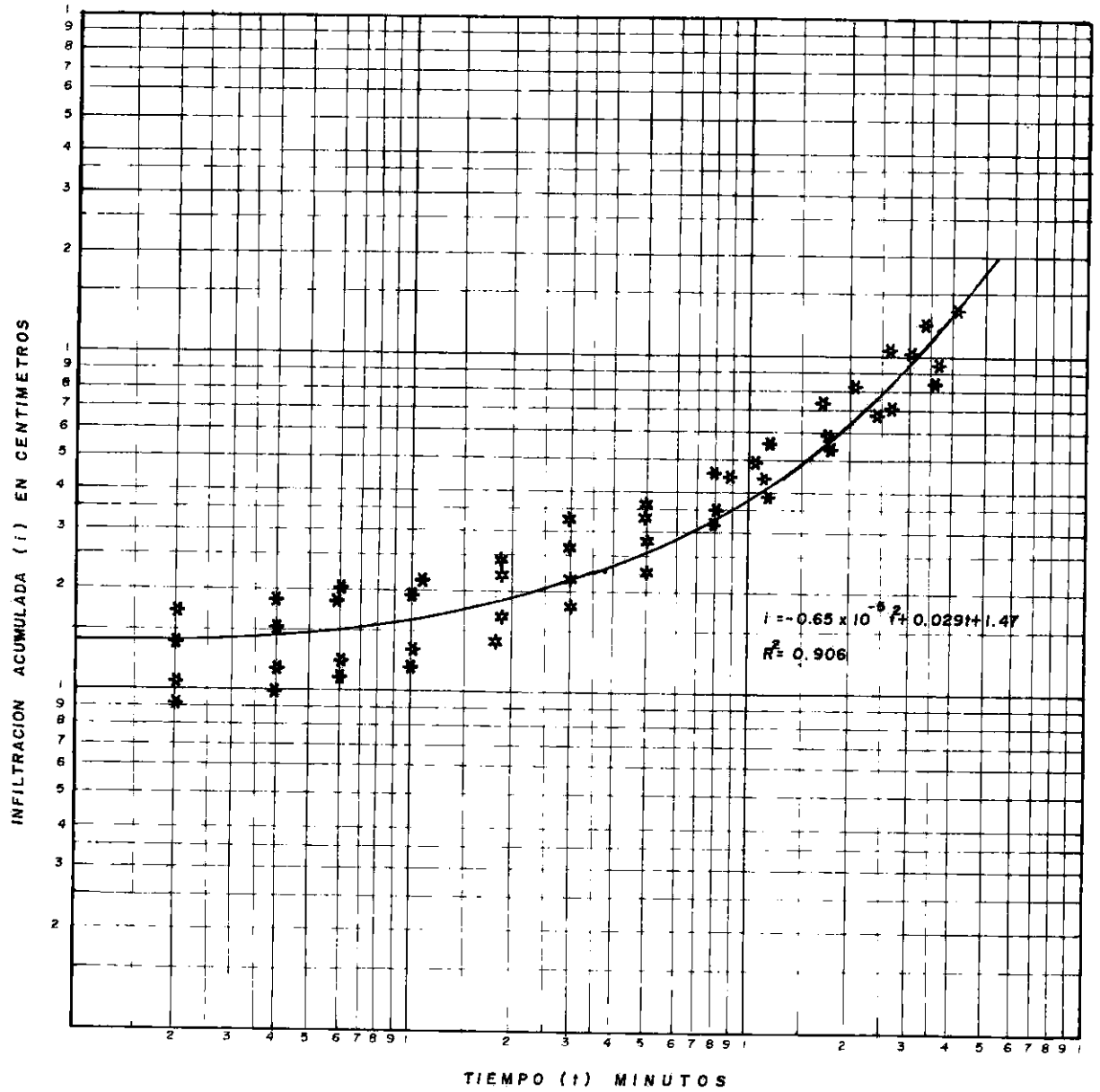


Figura 6 Tendencia de la infiltración acumulada que se ajusta a una ecuación cuadrática.

largo, tiene una tendencia cuya solución está más acorde con una función cuadrática. Al analizar en detalle las pruebas, se podría encontrar alguna explicación en la teoría, si se recuerda, que el movimiento del agua en el suelo depende no sólo de la cabeza de posición, sino de otras fuerzas de atracción del agua por las partículas sólidas y de la tensión superficial en la interfase aire-agua. Al aumentar con el tiempo el frente de humedecimiento hay mayor superficie de contacto en la interfase y se incrementa la probabilidad de que se presenten fuerzas de atracción y por ende se incrementaría la velocidad de infiltración.

Este aspecto sería una consecuencia que afecta el método de evaluación (infiltrómetro), pero no el fenómeno de la infiltración, en especial cuando la aplicación del riego se hace por el método de riego por aspersión o por inundación. En el caso del método de riego por surcos, se ha encontrado que es conveniente hacer una evaluación de infiltración por el método de entrada y salida.

Como lo han encontrado todos los autores que han estudiado el fenómeno, la infiltración instantánea tiene su máximo valor cuando se empieza a aplicar agua al suelo y va decreciendo gradualmente hasta ser asintótica; es decir, una constante que permite caracterizar un suelo para identificar o clasificar una serie de suelos a niveles detallados, o ultra detallados con fines de riego.

Hay otra ecuación basada en flujo del agua a través de un medio poroso y que Philip (37, 40) desarrolló dando una solución para la infiltración acumulada. Los resultados experimentales permitieron la determinación de los parámetros de dicha ecuación, dando un ajuste razonable si se tiene en cuenta que esta ecuación se desarrolló para suelos homogéneos no estratificados. Figura 7. En esta figura no obstante tener un alto coeficiente de determinación hay mejor ajuste con el modelo cuadrático ($R^2 = 0.913$). No sucede lo mismo con el modelo de Kostiaikov ($R^2=0.875$).

4.2. INFILTRACION BASICA

Los resultados de los ensayos con anillos infiltrómetros son puntuales y como tales sólo son representativos de una área muy reducida. Esto queda demostrado al estimar la infiltración básica (tablas 5,6....38), la cual a pesar de determinarse para suelos clasificados a nivel de fase da valores muy diferentes.

En la figura 8 se muestra la distribución agrupada por intervalos de los ensayos de campo para estimar la infiltración básica. Como se puede ver, este índice de infiltración toma valores tan diferentes, que según las clasificaciones cualitativas efectuadas en otros países, corresponden a la gama de suelos desde arenosos hasta arcillosos muy finos.

De otra parte, al efectuar observaciones directas en el campo con apli

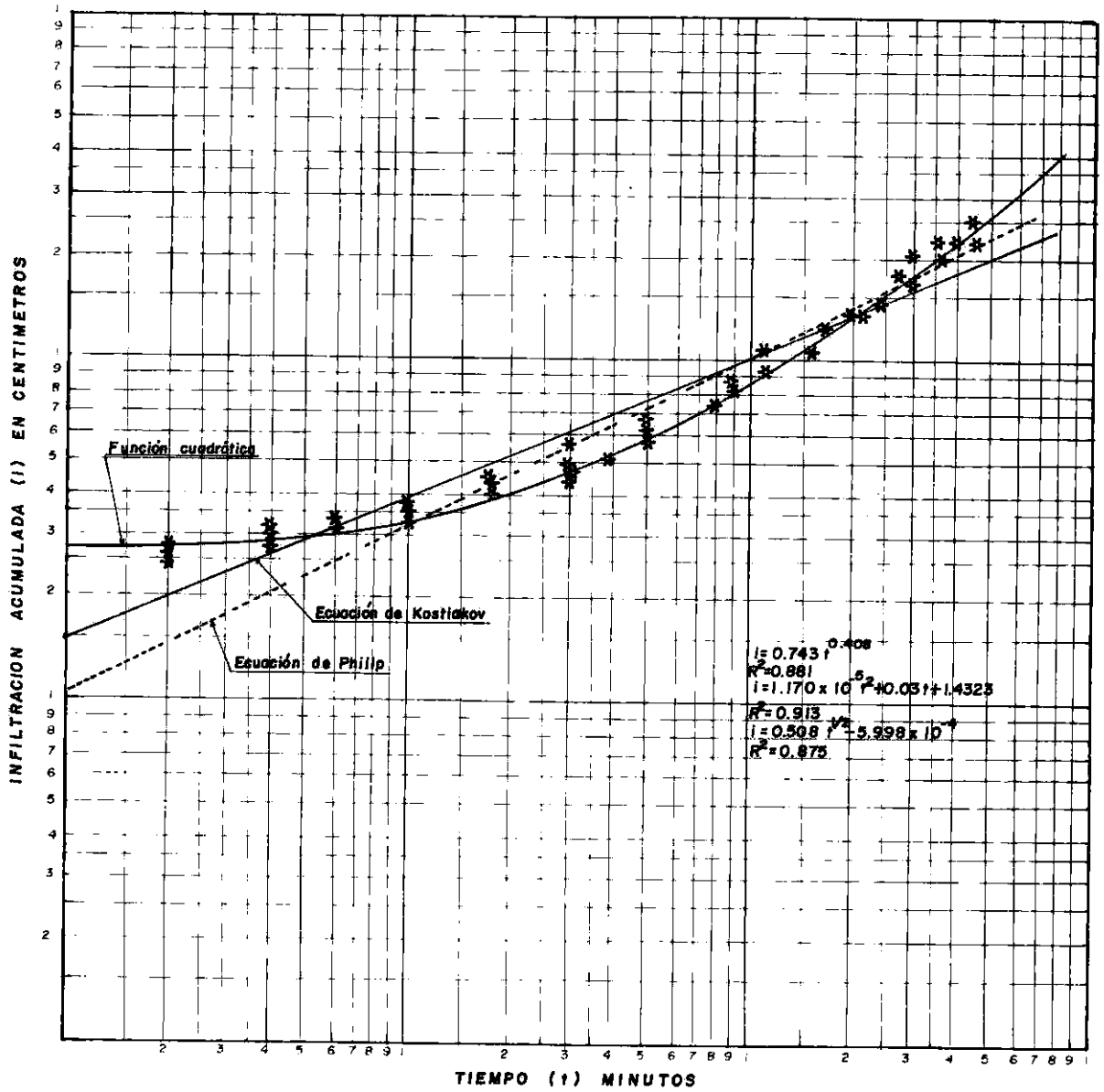


Figura 7 Comparación de tres modelos de ajuste para la infiltración acumulada para una humedad de (00-20) = 34.58% y (20-40) = 33.83%.



Figura 8. Variación de la infiltración básica y distribución agrupada por intervalos en un suelo de textura fina.

cación de riego por aspersión, se logró establecer que se presenta encharcamiento después de una hora de aplicación, a pesar de que el equipo de riego por aspersión utilizado, sólo aplica una tasa promedio de 12.5 mm/h.

La mayor parte de la literatura citada está de acuerdo en que para la textura de los suelos estudiados, los valores entre 2.5mm/h y 12.5 mm/h son razonables. Sin embargo, se registraron valores extremos del orden de 240 mm/h y 0.09 mm/h, los cuales aparentemente no tienen ningún significado en este tipo de suelos.

La porosidad del suelo es una medida que da una idea del movimiento del agua de él. Se supone que para un mismo suelo, teóricamente no debe haber modificaciones en la forma y disposición de las partículas individuales. En consecuencia, los intersticios o canales por donde circula o se almacena el agua, son una constante. En los ensayos se presentaron valores de infiltración altos, debidos a un sistema diferente al discutido, que favorece algunas veces la retención y otras la circulación del agua como es el caso de las arcillas expansivas, las cuales forman un agrietamiento cuando pierden la humedad.

De igual manera los valores mínimos no tienen significado hidrológico desde el punto de vista del movimiento del agua en el suelo. Por el contrario demuestran un problema de la condición del suelo por efecto de la compactación o degradación de la estructura que destruye los canales

o intersticios por donde circularía el agua a causa de la sobrepreparación de suelos.

Una inadecuada interpretación de los resultados de infiltración básica puede conducir a adquirir equipos de riego no adecuados para los suelos estudiados y lo que es más grave, a producir pérdidas permanentes de agua, energía y dinero.

Con los resultados encontrados se pueden diseñar sistemas de riego por aspersión para unas tasas de aplicación de : 12.5 mm/h, 25 mm/h, 7.7mm/h y 3.1 mm/h entre otras. Cualquiera de estos registros es aceptable (figura 8), sin embargo, la experiencia demuestra que para aplicar un riego de dos horas las tasas próximas a 12.5 mm/h son adecuadas y si observamos la figura 8 éstos corresponden a uno de los valores más frecuentes encontrados. Para aplicaciones de mayor período de tiempo se tienen buenos resultados con valores próximos a los 5.4 mm/h.

Es importante resaltar que se requieren buenas evaluaciones de campo que unidas a un buen criterio en la selección del equipo adecuado, den resultados óptimos en la utilización del recurso agua.

4.3. INFILTRACION INSTANTANEA

El análisis deductivo de la infiltración instantánea (I) o tasa de infiltración concuerda básicamente con el comportamiento encontrado para

este fenómeno en otras latitudes. En las tablas 5,6.....38 (apéndice 1) se encuentran los parámetros básicos deducidos según la metodología de Kostiaikov.

Tal como se había afirmado el parámetro " α^{-1} " indica la forma como la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo (18). Se encontró un valor medio de -0.665 con una variación entre 0.84 y 0.49, lo cual permite una vez más afirmar que a pesar de estar en un mismo suelo, hay factores como la humedad inicial del suelo que afectan el parámetro " α " y por ende " α^{-1} " de la ecuación de infiltración instantánea.

4.4. LA INFILTRACION Y EL CONTENIDO DE LA HUMEDAD INICIAL

En las tablas 44, 45, 46, 47, 48, 49 (apéndice 1) se encuentra el análisis de los resultados de la función de infiltración clasificados de acuerdo con el contenido inicial de humedad. En las tres primeras tablas se encuentran las variaciones del contenido de humedad frente a la función de infiltración ajustada bajo tres modelos, cuyos parámetros corresponden a la interpretación del efecto que la humedad inicial tiene sobre dichos coeficientes.

Para una mejor comprensión en las figuras 14, 15....19 (apéndice 2) se grafican las tendencias de la función de infiltración agrupada bajo diferentes contenidos de humedad inicial. El coeficiente de determinación

(R^2) de este grupo de curvas es significativo, si tenemos en cuenta que ellas son el resultado de pruebas de campo en suelos heterogéneos. El modelo de Kostiaikov se ha graficado del análisis tablas 44, 45 y se determinó que este modelo es el más apropiado, por lo menos para los tres contenidos inferiores de humedad. A medida que el contenido de humedad aumenta, el modelo no se ajusta pues hay una tendencia que se explica más fácilmente con el modelo de una ecuación cuadrática.

4.4.1. Características de la Humedad Inicial del Suelo

En la tabla 2 se presenta el promedio del contenido inicial de humedad del suelo, comparada con una serie de parámetros que corresponden a tres modelos de ajuste de la función de infiltración que se determinó en el campo. Se encuentran incluidos los valores del contenido de humedad inicial para los dos primeros horizontes, de 00-20 cm y de 20-40cm.

Se observa en dicha tabla una reducción decreciente de los coeficientes (α , S, C) de los tres modelos estudiados a medida que se incrementa el contenido de humedad, tanto en el primer grupo como en el segundo de los ensayos efectuados. El primer grupo de promedios contiene los registros que dan una infiltración básica promedio de 4.24 mm/h. El segundo grupo corresponde a la agrupación de ensayos que dan una infiltración promedio de 9.64 mm/h.

Tabla 2. Contenido de humedad inicial promedio, parámetros de tres modelos de infiltración
Y Coeficiente de Determinación

Humedad %		$i = At^2 + Bt + C$			$i = St^{\frac{1}{2}} + At$		$i = C't^{\alpha}$		Coeficiente Determinación R^2		
	20-40cm.	$Ax10^{-5}$	B	C	S	A	C'	α	Cuadrática	Philip	Kostiakov
PRIMER	GRUPO										
23.30	24.42	-10.340	0.055	5.199	2.000	-0.083	3.411	0.229	0.884	0.766	0.957
27.79	24.88	-12.640	0.064	4.274	1.720	-0.064	2.803	0.257	0.735	0.687	0.838
28.95	27.58	-4.352	0.041	3.876	1.375	-0.044	2.326	0.270	0.876	0.769	0.914
30.53	33.67	-3.601	0.027	2.504	0.942	-0.034	1.687	0.242	0.948	0.775	0.940
33.76	24.41	-1.391	0.025	2.380	0.777	-0.017	1.245	0.322	0.929	0.860	0.910
37.65	35.61	-1.007	0.029	1.479	0.508	$-5.99x10^{-4}$	0.743	0.408	0.914	0.875	0.881
SEGUNDO	GRUPO										
27.45	27.75	-1.579	0.090	6.251	2.442	-0.084	3.875	0.271	0.701	0.677	0.838
28.13	26.82	-0.532	0.066	5.199	1.818	-0.043	2.748	0.328	0.856	0.824	0.935
30.43	32.14	-2.016	0.051	3.866	1.288	-0.020	2.017	0.348	0.965	0.902	0.948
34.58	33.83	-2.624	0.061	2.944	1.012	-0.0033	1.489	0.418	0.983	0.960	0.944
38.58	31.59	-1.331	0.046	2.035	0.663	-0.0095	1.007	0.438	0.941	0.707	0.916

En forma cualitativa se puede deducir de una comparación de las curvas o ecuaciones, tablas 44,45...49 (apéndice 1) agrupadas por humedad, que cuando se presenta un bajo contenido de humedad, la ecuación empírica de Kostiaikov correlaciona mejor con los resultados experimentales. Sin embargo, en las diferentes pruebas, los datos de las repeticiones fueron bastantes consistentes y muestran una tendencia que se ajusta a un modelo de tipo cuadrático, como se puede observar en las figuras 4, 5, 6 (apéndice 2).

De la tabla 2 podemos analizar que los parámetros "c", "S" y "C" presentan una variación que es consistente con la variación del contenido inicial de humedad para el horizonte 00-20 cm. No sucede lo mismo con la humedad determinada para el segundo horizonte 20-40 cm. Este fenómeno ocurre tanto en el primer grupo de curvas como en el segundo, lo que permite establecer en principio que independiente de la infiltración básica, existe una tendencia a variar los coeficientes de las ecuaciones con los cambios del contenido de humedad inicial.

4.4.2. Influencia del Cultivo

En estos ensayos la determinación de la lámina de agua que penetra a través del suelo durante un período predeterminado, fue realizada en tres lotes diferentes, los cuales, se encontraban sembradas con frijol, soya, pradera y cacao.

Es bien conocido que una sobrelabranza produce compactación en el subsuelo y destruye la estructura alterando las condiciones hidrodinámicas por tanto, no obstante pertenecer a la misma fase, los resultados de la infiltración no tuvieron la misma respuesta a la variable (contenido inicial de humedad).

En suelos con cultivos perennes se hizo más fácil determinar el efecto de la humedad inicial sobre los parámetros de la infiltración.

4.5. EFECTO DE LA HUMEDAD INICIAL SOBRE LOS PARAMETROS DE INFILTRACION – MODELO (KOSTIAKOV)

Se obtuvieron ecuaciones individuales para cada una de las pruebas (tablas 5 a 38). Para conseguir una ecuación de tipo más generalizada para cada nivel medio de humedad, se promediaron y se tomó una sola curva para cada una de las humedades, bajo las cuales se agruparon resultados. (figura 14 a 19 apéndice 2). En general se logró un mínimo de dos ecuaciones para cada humedad, llegando a un máximo de seis ecuaciones. Los resultados promedios se presentan en la tabla 3.

La función de infiltración determinada con el modelo de Kostiakov se estudió con respecto al contenido de humedad y a la determinación de la infiltración básica o índice de infiltración.

Tabla 3 Parámetros de la Infiltración (Kostiakov) y
Contenido de Humedad Inicial

Humedad % 00-40 cm 20-40 cm		$i = c' t^\alpha$		Coeficiente Correlación R^2	Infiltración Básica mm/h
		c'	α		
Primer Grupo					
23.30	24.42	3.441	0.229	0.957	4.17
27.79	24.88	2.803	0.257	0.838	4.77
28.95	27.58	2.326	0.270	0.914	4.46
30.53	33.67	1.687	0.242	0.940	2.37
33.76	24.41	1.245	0.322	0.910	4.09
37.65	35.61	0.743	0.408	0.881	5.62
Segundo Grupo					
27.45	27.75	3.875	0.271	0.838	7.42
28.13	26.82	2.748	0.328	0.935	9.60
30.43	32.14	2.017	0.348	0.948	8.70
34.58	33.83	1.489	0.418	0.944	12.40
38.58	31.59	1.007	0.438	0.916	10.04

4.5.1. Coeficientes α , c' de Kostiakov

En este análisis se ha logrado obtener una alta correlación no obstante haberse efectuado las pruebas en suelos heterogéneos, estratificados y bajo condiciones de campo. Según los criterios de muchos científicos (18) los parámetros de la ecuación de Kostiakov aparentemente son adimensionales. Sin embargo, los resultados encontrados tienen relación directa con el contenido de humedad inicial en especial, sobre el parámetro " c' ".

El parámetro " α " o pendiente de la ecuación no tiene una tendencia tan clara. Sólo cuando el contenido de humedad está próximo a saturación, se presenta un cambio que quizá corresponde a la interfase del movimiento del agua de un medio no saturado a un medio saturado, cuyas características muy poco se conocen.

Los anteriores resultados permiten plantear unas ecuaciones generales para los parámetros " c' " y " α ", en función del contenido inicial de humedad para los dos estratos superiores.

$$c' = f(H_1, H_2) \quad [33]$$

$$\alpha = f(H_1, H_2) \quad [34]$$

H_1 = Contenido de humedad de
los 00-20 cm.

H_2 = Contenido de humedad de
los 20-40 cm.

Estas ecuaciones son válidas para suelos cartografiados que se han logrado clasificar en estudios ultradetallados con fines de riego, pues de lo contrario hay otros factores como textura, condiciones químicas, contenido de materia orgánica que afectan los parámetros de la ecuación. No obstante, para un mismo suelo las ecuaciones planteadas se cumplen.

Mediante el análisis de regresión se obtuvieron una serie de ecuaciones que permiten correlacionar el parámetro c' y la humedad inicial. En la figura 9 se presenta la variación del coeficiente " c' " con respecto al contenido de humedad.

Estas curvas tienen diferentes soluciones matemáticas, una de ellas es la siguiente:

$$c' = 8.190 - 0.190H_1 - 0.013H_2 \quad [35]$$

$$R^2 = 0.963 \quad [36]$$

Los parámetros de esta ecuación se ajustaron por el método de mínimos

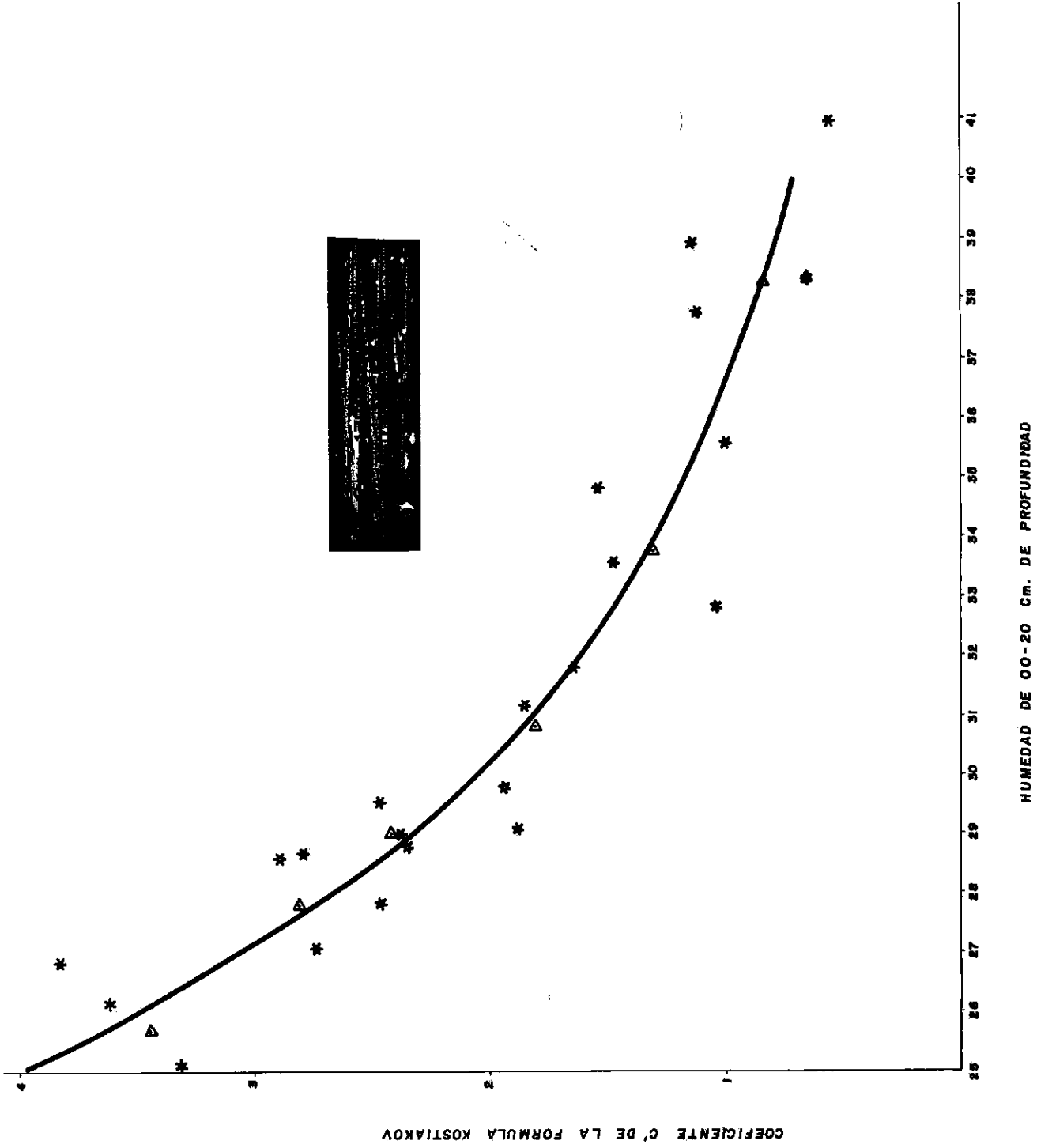


Figura 9 Comportamiento del parámetro (c') de Kostiakov frente al contenido de humedad Inicial

cuadrados dando esta ecuación lineal múltiple [35] con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.963$ que permite asegurar que existe una alta asociación de las variables independientes con la variable dependiente.

Con otros modelos matemáticos tenemos las siguientes ecuaciones:

$$c' = 138\,198.88 H_1^{-3.306} \quad [37]$$

$$R^2 = 0.932$$

$$c' = 10.84\,009 - 0.384 H_1 + 0.003029 H_2^2 \quad [38]$$

$$R^2 = 0.965$$

$$c' = 8.0675 - 0.198 H_1 \quad [39]$$

$$R^2 = 0.960$$

Con el segundo grupo de registros (tabla 2) se obtuvieron ecuaciones que como en el caso anterior presentaron altos coeficientes de determinación que confirman el planteamiento presentado en las ecuaciones [33] y [34].

En la tabla 51 (Apéndice 1) se presenta un análisis detallado de la relación que existe entre el parámetro c' y el contenido inicial de humedad. En la tabla 52 (Apéndice 1) se hace un análisis semejante para

el exponente " α " de la ecuación de Kostiakov.

Dado el alto grado de asociación de los anteriores modelos, se optó por hacer un análisis con todos los datos para observar el grado de variabilidad. El análisis en estas condiciones llegó a una ecuación semejante a la primera. Tabla 51 (Apéndice 1).

Así,

$$c' = 8.120 - 0.172H_1 - 0.028H_2 \quad [40]$$

$$R^2 = 0.828$$

Es evidente que estas ecuaciones [37] y [40] tienen una característica común y es que la humedad inicial de 00-20 cm es la que afecta considerablemente el coeficiente "c'". La humedad de 20-40 cm no contribuye en forma significativa. Por tanto para esta profundidad se practicaron los análisis con el contenido inicial de humedad de 00-20 cm. Tabla 51 (Apéndice).

En esta forma,

$$c' = 172148.28H_1^{-3.293} \quad [41]$$

$$R^2 = 0.907$$

Del análisis de la tabla referida se puede concluir que el mejor ajuste corresponde a una curva de tipo potencial [41], ya que es la más

consistente en todos los análisis.

De igual manera el parámetro " α " presenta una correlación que se ajusta bien a las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = 0.0055 H_1^{1.1557} \quad [42]$$

$$R^2 = 0.790$$

$$\alpha' = -0.0824 + 0.01221H_1 \quad [43]$$

$$R^2 = 0.817$$

$$\alpha = 0.81352 - 0.04766H_1 - 9.788 \times 10^{-4} H_1^2 \quad [44]$$

$$R^2 = 0.944$$

Como en el caso de "c'", la humedad inicial de 20-40 cm, tabla 52, no afecta significativamente el parámetro de la ecuación de Kostiaikov, se optó por continuar con el análisis de la humedad inicial de 00-20 cm que presenta un coeficiente de determinación altamente significativo para el modelo de una ecuación cuadrática.

En las figuras 10 y 11, se presentan las familias de las curvas que varían con el contenido de humedad. La variación es manifiesta en cuanto se refiere al coeficiente "c'", el cual disminuye con el contenido de

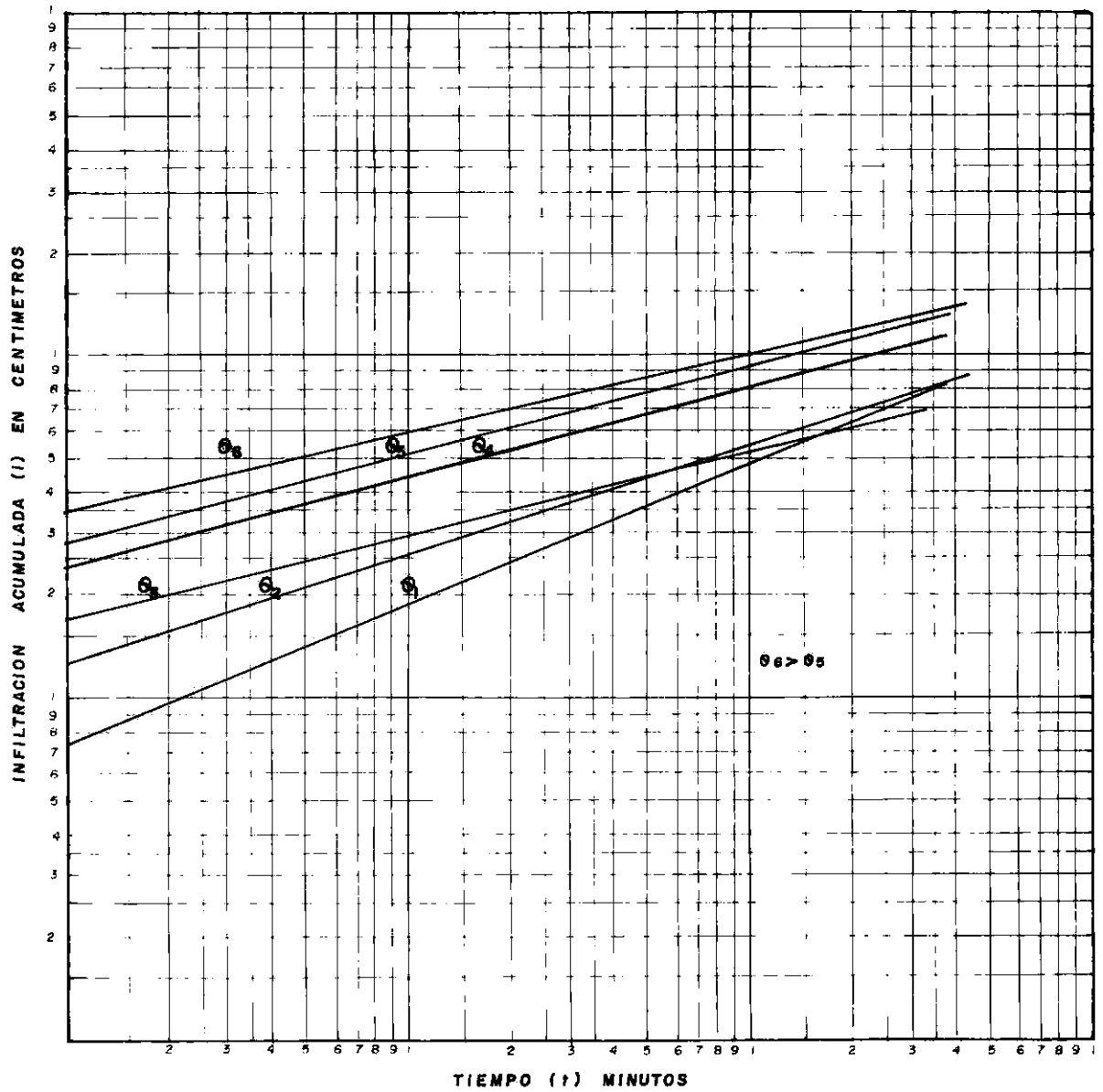


Figura 10 Familia de curvas (Kostiakov) de infiltración en función del tiempo y del contenido de humedad inicial.

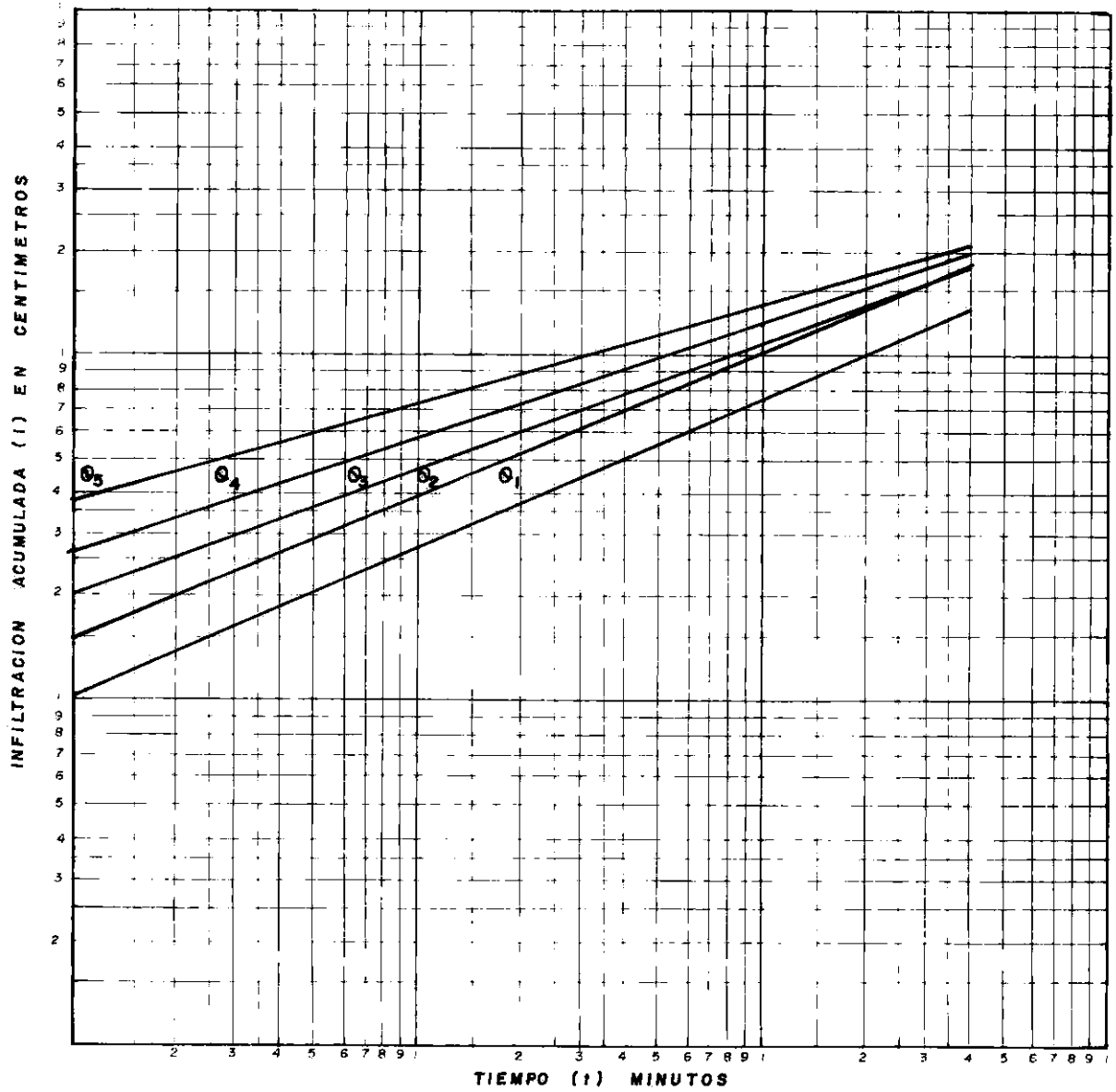


Figura 11 Familia de curvas (Kostiakov) de infiltración en función del tiempo y del contenido de humedad inicial (θ)

humedad y sólo hay una pequeña variación en el exponente " α ", tal como lo había reportado anteriormente Grassi (22).

Los ensayos una vez mas permiten establecer que el parámetro "c'", depende en un alto grado de las condiciones iniciales de humedad que tiene el suelo antes de la aplicación de agua, además de estar influenciado por la estructura del suelo. Se ha encontrado para un suelo arcilloso, una variación del coeficiente "c'" de 0.7 a 3.8 cm. Las condiciones del experimento permiten establecer que el parámetro "c'" es un parámetro que está en función básicamente de la humedad inicial del suelo y que esta relación varía en forma potencial, como se puede deducir de las tablas de análisis de regresión que se presentan en el apéndice 1.

Los suelos agrietados crean una condición de porosidad anormal, como resultado de la contracción e expansión de ciertas arcillas. Estos suelos presentaron altos coeficientes "c'" y el índice de infiltración no corresponde al tipo de suelos estudiado.

El parámetro " α " también fue afectado aunque en menor grado por el contenido inicial de humedad, lo cual indica la variación de la tasa de infiltración en función de la duración del tiempo de aplicación. Las ecuaciones muestran sólo una pequeña variación. El análisis estadístico muestra sin embargo, que estas diferencias no son significativas. Estos resultados son consistentes tal como se observa en el aná-

lisis del segundo grupo (tabla 51).

Se puede formular una ecuación general de infiltración con base en lo anterior la cual estaría en función del contenido inicial de humedad así:

$$c' = aH_1^{-b} \quad [45]$$

$$\alpha' = A + BH_1 + CH_1^2 \quad [46]$$

- H_1 = Contenido inicial de humedad de 00-20 cm del suelo.
- a, b = Coeficientes de regresión adimensionales.
- B, C = Coeficientes de la ecuación cuadrática que interpreta la posible relación entre el coeficiente y el contenido de humedad inicial
- A = Término independiente.

Teniendo en cuenta la ecuación de Kostiaikov,

$$i = a H_1^{-b} t^{(A + BH_1 + CH_1^2)} \quad [47]$$

La ecuación [47] resume la influencia que la humedad inicial tiene sobre los dos parámetros de la ecuación empírica de Kostiaikov. Esta ecuación que se plantea como el modelo base, es otra ecuación empírica deducida de una serie aleatoria de ensayos efectuados bajo iguales condiciones, en un suelo arcilloso del Valle del Cauca.

El parámetro "a" de las ecuaciones [45], [47], que caracteriza el coeficiente "c'", es un factor que depende de la estructura del suelo, de la composición química y mineralógica del mismo, así como también del espesor y grado de compactación de las capas, en especial de los primeros 20 cm. El parámetro "b" es un indicativo de cómo el parámetro "c'" decrece a medida que el contenido de humedad se incrementa hasta llegar a saturación; momento este, que corresponde a flujo en medio saturado el cual no es objeto de este estudio.

Los parámetros "A", "B" y "C" de la ecuación [46] se podrían referir a los cambios que ocurren en el suelo como resultado del proceso de humedecimiento. La influencia que estos tienen en la modificación del exponente es mínima, aunque en un análisis más detallado y llevando los ensayos más allá de seis horas, se observa que las familias de las curvas tienden a interceptarse después de los mil minutos de tiempo.

La infiltración instantánea se obtiene derivando la ecuación [47] con respecto al tiempo así:

$$\frac{di}{dt} = I = aH_1^{-b} \left[A+BH_1 + CH_1^2 \right] t^{(A+BH_1+CH_1^2)^{-1}} \quad [48]$$

Seguendo el criterio del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos, el tiempo básico sería igual a:

$$t_b = -600 \left[\left[A+BH_1+CH_1^2 \right] \alpha^{-1} \right] \quad [49]$$

Todo lo anterior permite afirmar que el contenido de humedad de un suelo es un factor altamente significativo, cuando se trata de determinar las características de infiltración del suelo. La infiltración instantánea, di/dt , decrece cuando el contenido de humedad aumenta. Similares estudios fueron efectuados en forma empírica por Neal y Tisdall (36).

Por su importancia, se debe incluir la determinación del contenido de humedad como un parámetro básico en toda prueba de infiltración, dándole especial precisión a la determinación de la humedad en los primeros 30 cm del suelo. Como la humedad es una función de la porosidad del suelo, es obvio que se tomen densidades aparentes para así llegar a una evaluación lo más aproximada de la función de infiltración que permita un diseño adecuado de los sistemas de riego y también para la formulación de los planes de riego hacia un uso eficiente del agua. Algunos apartes de estos resultados o deducciones del estudio se habían sugerido en otros estudios tales como los de Grassi (19). Por otra parte, hay acuerdo con la recomendación de US Bureau of Reclamation-Land

Clasification Hand-book.

En forma general los resultados se enmarcan en los análisis teóricos que presentan los investigadores (5, 23, 24, 31), no obstante haberse obtenido los resultados de este estudio en condiciones de suelos heterogéneos, estratificados y anisotrópicos. Una vez más los resultados confirman que el proceso de infiltración es muy complejo, pues a pesar de haberse seleccionado suelos clasificados a nivel de fase, no se logró aislar los factores ajenos a las variables que se habían propuesto analizar.

Los estudios de clasificación de suelos son una herramienta básica en la formulación de proyectos y en los diseños de obras de riego y/o drenaje. La infiltración es un parámetro o índice que requiere un estudio cuidadoso, para que además de obtenerse una clasificación cualitativa se tenga una apreciación cuantitativa, que dé un valor promedio representativo. Es obvio y en este estudio se encontró que las pruebas y/o ensayos de campo con anillos infiltrómetros, no pueden ser una simple mecánica, sino que además se deben adelantar correlaciones con otros estudios que presenten condiciones semejantes de textura y se deben repetir aquellos que no estén dentro de los intervalos generales que se han establecido para cada tipo de textura.

4.6. LA HUMEDAD INICIAL Y EL MODELO DE PHILIP

De acuerdo con los resultados de los ensayos de campo, se pudo demostrar que el modelo de Philip se ajusta ampliamente a las condiciones encontradas, como lo demuestra el coeficiente de determinación R^2 , (tablas 44 a 48).

De igual manera que con la ecuación de Kostikov se estudiaron todos y cada uno de los contenidos de humedad, agrupando éstos bajo dos denominaciones, clasificadas según el índice de infiltración o infiltración básica. tabla 4.

4.6.1. Parámetros "S" y "A" de la Ecuación de Philip

En la figura 12, se presenta la dispersión de las observaciones encontradas en el campo relativas al parámetro "S". Es claro que hay una tendencia muy semejante a la encontrada para el parámetro "c'" de Kostikov.

Los coeficientes de determinación son altamente significativos y permiten afirmar que efectivamente el parámetro "S" es función del contenido inicial de humedad. Tal como lo había encontrado Philip (41), este parámetro puede aumentar continuamente como decrece el contenido de humedad. En este caso es evidente que una solución de tipo potencial es la que más se aproxima a una solución razonable, como se puede deducir de la tabla 52.

Tabla 4. Parámetros de la Ecuación de Infiltración para modelo Philip y su contenido Inicial de Humedad

Número de Pruebas	H u m e d a d $i = St^{\frac{1}{2}} + At^*$				Coeficiente de Determinación R^2	Infiltración Básica mm/h
	00-20 Cm	20-40 Cm	S Cm/S $^{\frac{1}{2}}$	A Cm/S		
Primer Grupo						
4	23.30	24.44	2.000	-0.083	0.766	4.17
3	27.79	24.88	1.720	-0.064	0.687	4.77
6	28.95	27.58	1.375	-0.044	0.769	4.46
4	30.53	33.67	0.942	-0.034	0.775	2.37
3	33.76	24.41	0.777	-0.017	0.860	4.09
5	37.65	35.61	0.508	-5.99×10^{-4}	0.875	5.62
Segundo Grupo						
2	27.45	27.65	2.442	-0.084	0.677	7.52
3	28.13	26.82	1.818	-0.043	0.824	9.6
3	30.43	32.14	1.288	-0.020	0.902	8.7
3	34.58	33.83	1.012	-0.0033	0.960	12.4
4	38.58	31.59	0.663	-0.0095	0.707	10.04

$t =$ Segundos, $i =$ Cms

Las ecuaciones del coeficiente "S" tanto para el primer grupo, como para el segundo, muestran consistencia con un exponente negativo, el cual al afectar el contenido inicial de humedad de los 00-20, permite determinar el valor de "S" en la ecuación general de infiltración.

Para fines prácticos, la ecuación de Kostiaikov presenta una buena solución e igualmente, los parámetros encontrados para la ecuación de Philip, confirman que en efecto la humedad inicial es un factor determinante en la definición o caracterización de los índices de infiltración. La tendencia de las curvas expresada en los exponentes de los modelos para los coeficientes "c" y "S" son semejantes figuras 9 y 12. Esta semejanza no es casual ya que Philip anteriormente había discutido ampliamente sobre este efecto, aunque no se había intentado estimar el efecto en suelos heterogéneos.

El efecto del contenido de humedad inicial sobre el parámetro "A" no es significativo, aunque para contenidos de humedad próximos a la capacidad de campo, su influencia es mayor. Este parámetro es comparable con el exponente " α " de la ecuación de Kostiaikov y sus tendencias frente a los cambios del contenido de humedad, tienen el mismo comportamiento (tabla 49). Las ecuaciones encontradas para este parámetro son de tipo lineal.

El contenido inicial de humedad de 00-20 cm, es la variable que afecta considerablemente el parámetro "S"; no ocurre lo mismo con el contenido

COEFICIENTE S DE LA FORMULA PHILIP

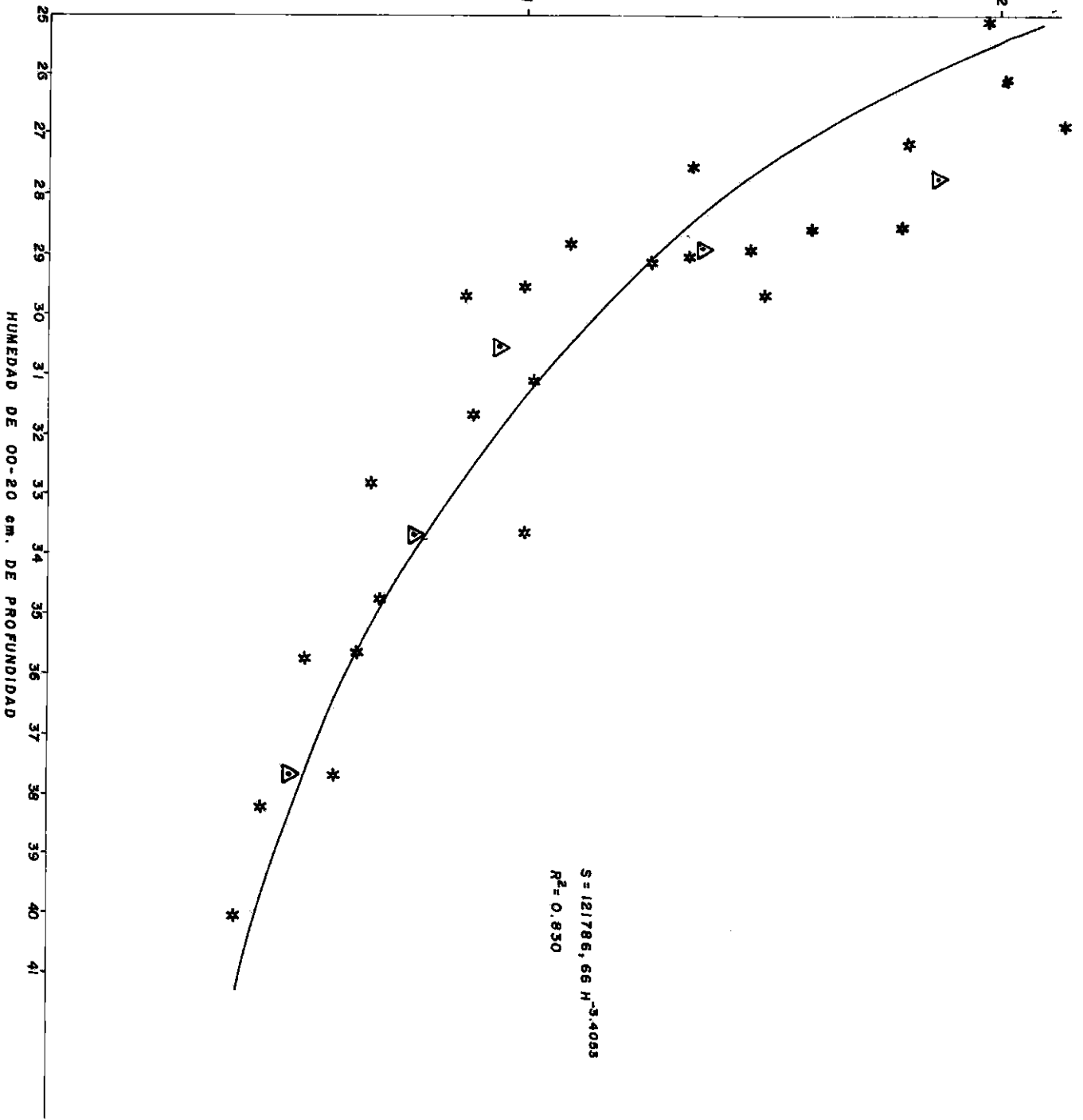


Figura 12 Comportamiento del parámetro (s) de Philip frente al contenido de humedad inicial.

de humedad de 20-40 cm. Este aspecto se había determinado anteriormente en el estudio del parámetro "c".

De igual forma que con los parámetros de la ecuación de Kostiakov, se pueden plantear ecuaciones generales para los dos parámetros de la ecuación de Philip así:

$$S = a H_1^{-b} \quad [50]$$

$$A = A + BH_1 + CH_1^2 \quad [51]$$

H_1 = Contenido de humedad de 00-20 cm

a, b = Coeficiente de regresión adimensionales.

B, C = Coeficientes de regresión adimensionales.

A = Término independiente.

4.7. RELACION ENTRE LA INFILTRACION Y EL MODELO DE ECUACION CUADRATICA

Este modelo se ajusta con mayor precisión que los anteriores en algunos casos, como lo confirman los coeficientes de determinación encontrados en los análisis correspondientes tablas 44 a 49. Sin embargo, no existe una diferencia significativa frente a los coeficientes de determina-

ción encontrados para el modelo Kostiaikov.

El modelo de ecuación cuadrática se expresa en la siguiente forma:

$$i = At^2 + Bt + C \quad [52]$$

Donde:

A,B = Coeficiente de regresión

C = Término independiente

El término independiente de este modelo, está directamente afectado por el contenido inicial de humedad y tiene la misma tendencia que los parámetros "S" y "c" mencionados (tabla 54).

Los otros coeficientes de regresión A y B de la ecuación cuadrática no dan correlación frente al contenido inicial de humedad y en consecuencia interpretan otras características hidrodinámicas de los suelos. Estas propiedades deben ser estudiadas con mayor detenimiento para hacer una adecuada interpretación de cada uno de los parámetros. Hay sin duda efectos de la humedad sobre las propiedades químicas de los suelos, tales como heterogeneidad etc., los cuales muy probablemente pueden manifestarse a través de los parámetros de esta ecuación.

4.8. DETERMINACION DE LA INFILTRACION EN UNA FASE DE SUELOS

Se analizaron en detalle todos los datos provenientes de los ensayos ex

perimentales que se ejecutaron en tres lotes que pertenecían a la misma fase de suelos. Se empleó la ecuación de Kostiaikov para expresar la relación entre el tiempo la lámina acumulada que penetra en el suelo para cada contenido de humedad.

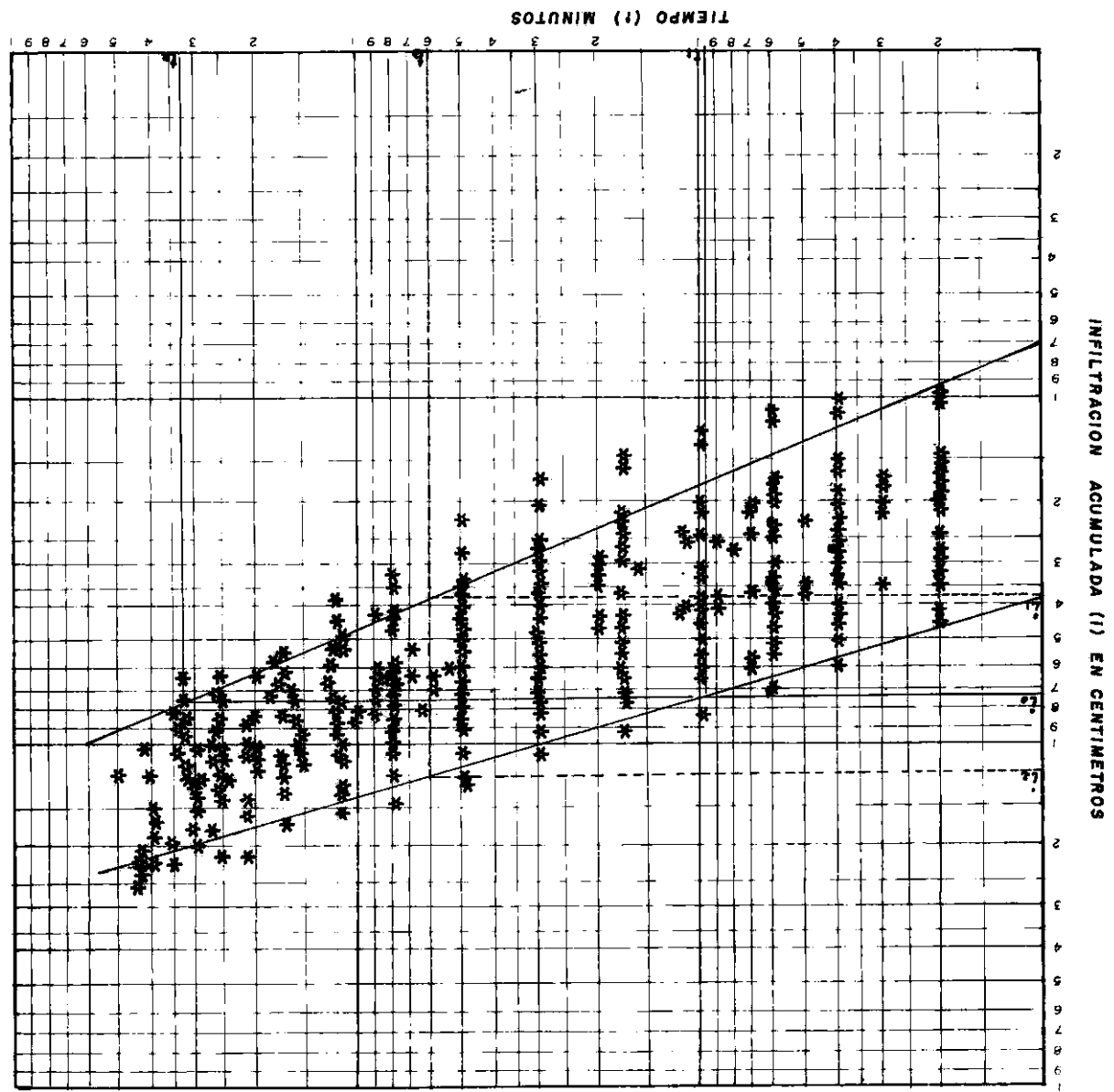
Con el anterior procedimiento se esperaba obtener un índice de infiltración o infiltración básica muy semejante, que caracterizara el suelo estudiado. Sin embargo, como se puede detallar en la figura 13 esto no ocurrió y se obtuvo una gama de infiltraciones básicas (figura 8) correspondientes a una parcela de treinta por treinta metros por cada lote.

Estos resultados hacen pensar que la determinación de la función de infiltración para caracterizar un suelo, requiere antes que de un número determinado de pruebas, de una metodología adecuada que elimine los posibles errores en la evaluación. Esta metodología de campo debe incluir mínimo dos o tres pruebas de infiltración con diferentes contenidos iniciales de humedad. En especial, una de ellas debe efectuarse cuando el suelo esté próximo al contenido de humedad en el cual se aplicará el riego.

Los resultados indican que antes de realizar una investigación sobre las características de infiltración de un suelo en el campo, se debe hacer acopio de los antecedentes conocidos sobre las posibles condiciones hidrodinámicas del suelo. Hay información teórica que debe ser con

Fig. 13

Figura 13 Nube de puntos de los ensayos experimentales para todas las pruebas en el intervalo de humedad tomado.



sultada, ya que ésta con los modelos estudiados, permite hacer una correcta interpretación de los resultados de campo. La información teórica junto con una alta experiencia permitirá preparar un plan adecuado para desarrollar un verdadero muestreo y así lograr una buena caracterización de los suelos desde el punto de vista infiltración.

Se deben seleccionar los sitios de muestreo sobre mapas topográficos o restituciones provenientes de foto-interpretación en forma provisional. Una vez en el campo se debe fijar la localización definitiva y allí determinar el número de pruebas.

Se hizo evidente que el uso de un método como los anillos infiltrómetros no es suficiente para la caracterización adecuada de un suelo. Se debe recurrir a todos los métodos que se dispongan, correlacionándolos para después de un tiempo poder definir el comportamiento más probable.

Como proceso dinámico que es, las evaluaciones se deben programar para ejecutarlas en el tiempo. Esto nos ayuda a conocer otros procesos como la degradación del suelo, para tomar a tiempo los correctivos necesarios.

4.8.1. Manejo del Agua de Riego y la Función de Infiltración

El manejo de las tasas de aplicación y las láminas netas de riego, están directamente afectadas por una adecuada determinación de los parámetros

de la infiltración.

Los resultados encontrados referentes al contenido de humedad permiten asegurar que una buena evaluación de la infiltración requiere una adecuada correlación con el contenido inicial de humedad. Hay contenidos de humedad en los cuales la determinación de la infiltración no es adecuada, ya que sus resultados corresponden a factores diferentes a la porosidad propia de los suelos como son la expansión de las arcillas.

Las pérdidas por escurrimiento y o percolación profunda son significativas sino se hace un adecuado diseño del sistema de riego. Un equipo de riego por aspersión diseñado con una tasa de infiltración superior a la infiltración básica produce pérdidas por escorrentía que afectan significativamente la eficiencia del riego.

5. CONCLUSIONES

El contenido inicial de la humedad no se puede considerar como una constante ya que sufre un proceso de cambio, en la medida en que se alteran las condiciones físicas de los suelos. Esta variable ejerce una gran influencia sobre el comportamiento de la función de infiltración y es así como altas tasas de infiltración están asociadas a bajos contenidos iniciales de humedad y viceversa.

La función de infiltración se ajusta bien a la ecuación de Kostikov, es práctica y sus parámetros "c" y " α ", se pueden determinar por simple representación gráfica logarítmica o por el método de mínimos cuadros.

La ecuación algebraica de Philip simplificada, no presentó el mismo grado de correlación frente a la ecuación de Kostikov. Lo anterior no quiere decir que la ecuación de Philip no sea útil o que la ecuación de Kostikov sea preferible. Es necesario recordar que el modelo desarrollado por Philip es para suelos homogéneos y que además sólo se estudia ron dos términos de la serie infinita de la ecuación general.

Un gran número de los resultados se ajustaron bien al tipo de ecuación cuadrática, $i = At^2 + Bt + C$. Este fenómeno se presentó con más frecuencia para los registros tomados con un contenido inicial de humedad alto.

Se encontró que el coeficiente "c'" de la ecuación de Kostiakov varía en función del contenido inicial de humedad. El grado de variación se ajusta bien a un modelo de ecuación potencial $c' = aH_1^{-b}$. Su variación para el suelo estudiado es significativa y por tanto, en el diseño y programación de tiempos de riego se pueden producir grandes desfases, si no se ha efectuado una adecuada evaluación de la infiltración. En este estudio el coeficiente "c'" varió entre 0.7 y 3.8.

El efecto del contenido inicial de humedad sobre el exponente " α " no es significativo; sólo se observa una tendencia a modificarlo con al tos contenidos iniciales de humedad. Existe una tendencia a converger todas las curvas para tiempos superiores 1000 minutos.

La variación del coeficiente "c'" es función básicamente del contenido inicial de humedad de los primeros 20 cm de suelo. El efecto que produce el contenido de humedad de los 20 a 40 cm no es significativo. Un ajuste con el contenido inicial de humedad de los primeros 20 cm despre ciando los valores del segundo horizonte, es práctico en la determinación de la función de infiltración.

Los parámetros de la ecuación de infiltración para el modelo de Philip presentan un comportamiento semejante a los de Kostiakov. El coeficiente "S" es función del contenido inicial de humedad de los 00-20 cm de humedad del suelo. El efecto del contenido de humedad de los siguientes 20 cm no es significativo. El parámetro "A" no se afecta por el

contenido inicial de humedad y bien pudiera obviarse al hacer un ajuste en la función de infiltración.

Como es natural cualquier modelo que interprete adecuadamente la función de infiltración, debe manifestar en uno de sus parámetros la correlación con el contenido inicial de humedad. En el caso de un modelo cuadrático el término independiente "C" de la ecuación es el afectado con un comportamiento semejante al de los coeficientes "c" y "S" de las ecuaciones de Kostiaikov y Philip respectivamente.

En forma general todos los modelos estudiados tienen coeficientes que están en función del contenido inicial de humedad y se ajustan bien al tipo de ecuación potencial $y = Ax^{-B}$. Aparentemente cualquier modelo que se evalúe para estudiar la función, tiene en sus parámetros uno que es función del contenido inicial de humedad de los primeros 20 cm.

La determinación de la infiltración básica mostró que no es una operación fácil, sino que requiere de un adecuado análisis e interpretación cualitativa y cuantitativa. Se requiere un estudio previo antes de cualquier determinación que incluye: génesis, manejo de los suelos, propiedades físicas y composición química .

La determinación de la función de infiltración se debe hacer mínimo bajo tres contenidos iniciales de humedad, de tal manera que la metodología permita estimar el efecto de esta variable teniendo en cuenta que

ésta responde a un modelo potencial.

El número de pruebas que se deben efectuar en el campo para determinar la infiltración, está dado antes que todo por: el grado de heterogeneidad de los suelos, el conocimiento previo que se tenga sobre la serie de suelos estudiada, el grado de experiencia de quienes van a efectuar la evaluación en la región y finalmente el número de factores exógenos que alteran la dinámica de los suelos.

Se comprueba una vez mas, que el proceso de infiltración es muy complejo y este es aún más difícil de interpretar si se está ante suelos heterogéneos, estratificados y con propiedades de anisotropía.

Teniendo en cuenta que la infiltración es un proceso dinámico, su determinación en el campo no se debe hacer por una sola vez, ésta debe ser un proceso continuado en el tiempo para poder inferir el comportamiento mas probable que permita caracterizar una unidad taxonómica de suelos.

El manejo inadecuado de los suelos hace aún más difícil este tipo de caracterización, por tanto, es conveniente efectuar pruebas con infiltrómetros de cubetas que reúnan más áreas. La evaluación por medio de melgas es una práctica útil que permite llegar a un mejor conocimiento de la función de infiltración lo mismo que la evaluación con equipos de riego por aspersión que tienen tasas de aplicación conocida.

El movimiento de agua en el suelo en condiciones de no saturación varía con el contenido inicial de humedad antes de la aplicación de agua y con la distribución de la misma en el suelo de acuerdo con sus propiedades físicas.

La teoría que existe sobre la infiltración es de gran ayuda para la interpretación adecuada del movimiento del agua a través del suelo; es una herramienta de gran utilidad que no se puede dejar de lado para sólo recurrir al empirismo.

Se recomienda que en investigaciones futuras se tenga en cuenta además otros factores tales como la temperatura y el contenido de aire.

La determinación de la infiltración por el método de anillos concéntricos es una práctica común que ofrece buenos resultados para tiempos cortos. En el caso de cuencas el estudio de la función de infiltración requiere de análisis más detallados correlacionando los resultados con un balance hídrico general.

En suelos con altos contenidos de arcillas expansivas se debe evitar hacer evaluaciones cuando estos estén con contenidos de humedad inicial bajos. La práctica de aplicar agua en esta condición no es recomendable para ningún cultivo.

La parte extrapolable del estudio consiste en la metodología que se de-

be emplear para la determinación de la función de infiltración, ya que por la heterogeneidad del suelo es difícil precisar o caracterizar un suelo y luego generalizar.

6. RESUMEN

En el CNI Palmira se efectuó un estudio de infiltración por el método de infiltrómetros en una serie de suelos pesados (Haplustoll), teniendo en cuenta como variable el contenido de humedad inicial del suelo.

Se compararon tres modelos básicos: Philip, Kostiaikov y una ecuación cuadrática. Los resultados indican que el modelo de Kostiaikov es el de mejor ajuste ($R^2 = 0.9$).

Por análisis de regresión se obtuvo una expresión matemática de tipo potencial ($c' = aH_1^{-b}$, $R^2 = 0.9$), que expresa el parámetro "c'" en función de la humedad inicial (H_1), para la ecuación de Kostiaikov. El parámetro " α " no presentó valores significativos que permitieran afirmar con certeza que la humedad afecta el parámetro y por tanto sólo se puede hablar de una tendencia que se expresa con la siguiente ecuación:

$$\alpha = A + BH_1 + CH_1^2 ; R^2 = 0.944$$

Se concluye que en la determinación de la infiltración se debe tener en cuenta el contenido inicial de humedad para lograr una mejor caracterización de los índices de infiltración que garanticen un adecuado manejo del agua a nivel predial.

7. SUMMARY

An infiltration study was conducted in heavy soils (Haplustoll), at Palmira Experiment Station, by means of infiltrometer rings, to determine the effect of the soil initial water content.

Three basic models were compared: Philip, Kostikov, and a quadratic equation. Results indicate that the best fit corresponds to the Kostikov model ($R^2 = 0.9$).

Regression analysis was used to develop a power function for the parameter "c" of the Kostikov equation, as a function of the soil initial water content H_1 ($c' = aH_1^{-b}$, $R^2 = 0.91$). The parameter " α " on the other hand, does not appear to be influenced by H_1 and only a trend of its effect was observed. Nevertheless, " α " can be expressed as:

$$\alpha = A + BH_1 + CH_1^2 ; R^2 = 0.9$$

The need to take into account the soil initial water content to improve on-farm irrigation schedule, as a result of the present study is conclusive.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AHUJA, L. R. Unsaturated hydraulic conductivity from cumulative inflow data. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.38 no.5, p. 695-699. 1974.
2. _____; EL-SWAIFY, S. A.; ROHMAN, A. Measuring hydrologic properties of soil with a double-ring infiltrometer and multiple-depth tensiometers. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.40 no.4, p. 494-499. 1976.
3. ARON, G; MILLER, A. C.; LAKATOS, D. E. Infiltration formula based on S.C.S. curve number. Journal of the Irrigation and Drainage Division (Estados Unidos) v.103 no.1R4, p. 419-427. 1977.
4. ARONOVICI, V. S. Model study of ring infiltrometer performance under low initial soil moisture. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.19 no.1, p. 1-6. 1955.
5. AYLOR, D. E.; PARLANGE, J. Y. Vertical infiltration into a layered soil. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.37 no.5, p. 673-676. 1974.
6. BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Física de suelos. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1972. p. 335-398.
7. BAUWER, H. Infiltration into increasingly permeable soils. Journal of the Irrigation and Drainage Division (Estados Unidos) v.102 no.1, p. 127-136. 1976.
8. _____. Infiltration of water into nonuniform soil. Journal of the Irrigation and Drainage Division (Estados Unidos) v.95 no.1R4, p. 451-462. 1969.
9. _____. A study of final infiltration rates from cylinder infiltrometers and irrigation furrows with an electrical resistance network. Transactions International Congress of Soil Science (Estados Unidos) v.1, p. 448-456. 1960.
10. _____. Theoretical effect of unequal water levels on the infiltration rate determined with buffered cylinder infiltrometer. Journal of Hydrology (Holanda) v.1 no.1, p. 29-34. 1963.

11. BRAKENSIEK, D. L.; ONSTAD, C. A. Parameter estimation of the Green and Ampt infiltration equation. *Water Resources Research (Estados Unidos)* v.13 no.6, p. 1009-1012. 1977.
12. BUSSCHER, W. J. Simulation of infiltration from a continuous and an intermittent subsurface source. *Soil Science (Estados Unidos)* v.128 no.1, p. 49-55. 1979.
13. DIXON, R. M. Comment on "derivation of an equation of infiltration" by H.J. Morel-Seytoux and J. Khanji. *Water Resources Research (Estados Unidos)* v.12 no.1, p. 116-118. 1976.
14. _____. Design and use of closed-top infiltrometers. *Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos)* v.39 no.5, p. 755-763. 1975.
15. DULEY, F. L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos)* v.4 no.1, p. 60-64. 1939.
16. ERIE, L. J. Evaluation of infiltration measurements. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (Estados Unidos)* v.5 no.1, p. 11-13. 1962.
17. FORERO S., J. A. Infiltración. Bogotá Instituto Colombiano Agropecuario, 1974. 24.9.
18. GAVANDE, A. S. Física de suelos principios y aplicaciones. México, Limusa Wiley, 1974. p. 199-232.
19. GRASSI, C. J. Infiltration characteristics of furrow irrigation in a heavy-textured soil. Wageningen, The Netherlands, Communications Agricultural University, 1972. 165 p. (Tesis Ph. D).
20. GREEN, R. E.; HANKS, R. J.; LARSON, W. E. Estimates of field infiltration by numerical solution of the moisture flow equation. *Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos)* v.28 no.1, p. 15-19. 1964.
21. GUMBS, F. A.; WARKENTIN, B. P. The effect of bulk density and initial water content on infiltration in clay soil samples. *Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos)* v.36 no.6, p. 720-724. 1972.
22. _____; _____. Prediction of infiltration of water into aggregated clay soil samples. *Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos)* v.39 no.2, p. 255-263. 1975.

23. GUPTA, R. P.; STAPLE, W. J. Infiltration into vertical columns of soil under a small positive head. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.26 no.6, p. 530-534. 1962.
24. HANKS, R. J.; BOWERS, S. A. Numerical solution of the moisture flow equation for infiltration into layered soils. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.26 no.6, p. 530-534. 1962.
25. HAVERKAMP, R.; VAUCLIN, M; TOUMA, J.; WIERENGA, P. J.; VACHAUD, G. A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. Soil Science Society of America Journal (Estados Unidos) v.41 no.2, p. 285-294. 1977.
26. HILLEL, D.; GARDNER, W. R. Transient infiltration into crust-topped profiles. Soil Science (Estados Unidos) v.109 no.1, p. 69-76. 1970.
27. _____; VAN-BAVEL, C. H. M.; TALPAZ, H. Dynamic simulation of water storage in fallow soil as affected by mulch of hydrophobic aggregates. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.39 no.5, p. 826-833. 1975.
28. ISRAELSEN, O. W.; HANSEN, V. E. Principios y aplicaciones de riego. México, Editorial Reverté, 1965. 396 p.
29. JAMES, L. G.; LARSON, C. L. Modeling infiltration and redistribution of soil water during intermittent application. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (Estados Unidos) v.19 no.3, p. 482-488. 1976.
30. LEWIS, M. R.; POWERS, W. L. A study of factors affecting infiltration. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.3 no.4, p. 334-337. 1938.
31. MEIN, R. G.; FARRELL, D. A. Determination of wetting front suction in the Green-Ampt equation. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.38 no.6, p. 872-876. 1974.
32. _____; LARSON, C. L. Modeling infiltration during a steady rain. Water Resources Research (Estados Unidos) v.9, p. 384-394. 1973.
33. MOREL-SEYTOUX, H. J. Reply to comment on "derivation of an equation of infiltration" by H.J. Morel-Seytoux and J.Khanji. Water Resources Research (Estados Unidos) v.12, p. 119-120. 1976.

34. NEUMAN, S. P. Wetting front pressure head in the infiltration model of Green and Ampt. Water Resources Research (Estados Unidos) v.12, p. 564-565. 1976.
35. PEELE, T. C.; BEALE, O. W. Laboratory determination of infiltration rates of disturbed soil samples. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.19 no.4, p. 429-432. 1955.
36. PHILIP, J. R. An infiltration equation with physical significance. Soil Science (Estados Unidos) v.77 no.1, p. 153-157. 1954.
37. _____. The theory of infiltration I. The infiltration equation and its solution. Soil Science (Estados Unidos) v.83 no.5, p. 345-357. 1957.
38. _____. The theory of infiltration II. The profile of infinity. Soil Science (Estados Unidos) v.83 no.5, p. 435-448. 1957.
39. _____. The theory of infiltration III. Moisture profiles and relation to experiment. Soil Science (Estados Unidos) v.84 no.2, p. 97-182. 1957.
40. _____. The theory of infiltration IV. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil Science (Estados Unidos) v.84 no.3, p. 257-264. 1957.
41. _____. The theory of infiltration V. The influence of the initial moisture content. Soil Science (Estados Unidos) v.84 no.4, p. 329-339. 1957.
42. _____. The theory of infiltration VI. Effect of water depth over soil. Soil Science (Estados Unidos) v.85 no.5, p. 278-286. 1958.
43. _____. The theory of infiltration VII. Soil Science (Estados Unidos) v.86 no.6, p. 333-337. 1958.
44. PLOEG, R. R. VAN-DER; BENECKE, P. Unsteady unsaturated, on dimensional moisture flow in soils. A computer simulation program. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.38 no.6, p. 881-885. 1974
45. RAATS, P. A. C. Unstable wetting fronts in uniform and nonuniform soils. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.37 no.5, p. 681-685. 1973.

46. RIVILLAS V. J.; IBARRA A. C. Estudio detallado de suelos y clasificación para riego y drenaje del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Palmira. Bogotá Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1975. 120 p.
47. RÖMKENS, M. J. M.; GLENN, L. E.; NELSON, D. W.; ROTH, C. B. A laboratory rainfall simulator for infiltration and soil detachment studies. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.39 no.2, p. 158-160. 1975.
48. SHU, T. C. Infiltration during an unsteady rain. Water Resources Research (Estados Unidos) v.14 no.5, p. 461-466. 1978.
49. SMITH, R. E. Comments on "derivation of an equation of infiltration" by H.J. Morel-Seytoux and J. Khanji. Water Resources Research (Estados Unidos) v.11, p. 762-762. 1975.
50. SWARTZENDRUBER, D. Infiltration of constant-flux rainfall into soil as analyzed by the approach of Green and Ampt. Soil Science (Estados Unidos) v.117 no.5, p. 272-281. 1974.
51. _____; D.; OLSON, T. C. San-model study of buffer effects in the double-ring infiltrometer. Soil Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.25 no.1, p. 5-8. 1961.
52. _____; YOUNGS, E. G. A comparison of physically-based infiltration equations. Soil Science (Estados Unidos) v.117 no.5, p. 165-167. 1974.
53. TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco, W. H. Freeman, 1972. 360 p.
54. TAYLOR, S. A.; CARY, J. W. Linear equations for the simultaneous flow of matter and energy in a continuous soil system. Soils Science Society of America Proceedings (Estados Unidos) v.28 no.1, p. 167-172. 1964.
55. WHISLER, F. E.; BOUWER, H. Comparison of methods for calculating vertical drainage and infiltration for soils. Journal of Hydrology (Holanda) v.10 no.1, p. 1-19. 1970.
56. YOUNGS, E. G. Moisture profiles during vertical infiltration. Soil Science (Estados Unidos) v.84 no.2, p. 283-290. 1957.
57. _____. Redistribution of moisture in porous materials after infiltration. Soil Science (Estados Unidos) v.86 no.2, p. 117-125. 1958.

APENDICE 1

Tabla 5 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
1	3.36	00-20 cm.	1	2.78	0-20cm.	1	2.40	0-20 cm.
2	4.31	16.20	2	3.02	14.65	2	2.60	14.80
4	5.40	16.01	4	3.56	13.49	4	3.00	14.65
6	6.27	15.95	6	3.72	13.98	6	3.11	13.55
10	7.40	16.26	10	3.83	14.02	10	3.24	15.05
18	8.95	<u>14.81</u>	18	4.25	<u>14.39</u>	18	3.43	<u>15.67</u>
30	10.76	15.85	30	4.37	14.10	30	3.59	14.75
50	13.45		50	4.94		50	3.75	
80	16.02		80	5.31		80	3.86	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
120	19.18	15.92	120	5.53	15.41	120	4.05	15.51
180	23.16	15.21	180	6.16	14.45	180	4.13	15.86
240	27.27	15.73	240	6.52	16.47	240	4.35	15.17
300	30.31	15.23	300	6.62	14.73	300	4.43	14.76
360	32.10	<u>14.67</u>	360	7.04	<u>15.50</u>			<u>15.92</u>
420	33.83	15.35			15.30			15.44
c'	3.367		c'	2.739		c'	2.566	
α	0.393		α	0.154		α	0.096	
$\alpha - 1$	-0.607		$\alpha - 1$	-0.846		$\alpha - 1$	-0.904	
$60 c' \alpha$	71.661		$60 c' \alpha$	25.324		$60 c' \alpha$	14.780	
$tb(\text{min})$	364		$tb(\text{min})$	508		$tb(\text{min})$	542	
$ib(\text{m.m./h})$	20.01		$ib(\text{m.m./h})$	1.30		$ib(\text{m.m./h})$	0.50	

Tabla 6 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.93		1	3.04		1	2.71	
2	3.02	19.32	2	4.05	15.59	2	3.24	15.15
4	3.96	17.35	4	4.62	14.14	4	3.45	16.39
6	4.17	18.11	6	4.90	14.72	6	3.55	16.13
10	4.93	18.04	11	5.50	16.29	9	3.69	16.73
18	5.73	19.43	18	5.79	14.41	18	3.79	16.53
30	7.05	18.45	30	6.13	14.99	30	3.87	15.99
45	8.24		50	6.60		50	4.14	
80	11.42		80	7.13		80	4.30	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
120	14.35	23.12	120	7.84	22.16	120	4.73	19.13
180	17.12	22.82	180	8.42	19.97	180	5.06	19.32
240	20.19	22.76	240	9.34	20.92	240	5.38	14.78
300	23.53	34.42	300	10.74	21.56	300	5.71	23.97
420	29.23	23.35			22.03			19.26
		25.09			21.33			19.29
c'	1.947		c'	3.540		c'	2.895	
α	0.420		α	0.173		α	0.105	
$\alpha - 1$	-0.579		$\alpha - 1$	-0.827		$\alpha - 1$	-0.895	
$60 c' \alpha$	49.064		$60 c' \alpha$	36.761		$60 c' \alpha$	18.257	
$tb(\text{min})$	347		$tb(\text{min})$	496		$tb(\text{min})$	537	
$lb(\text{m.m./h})$	16.55		$lb(\text{m.m./h})$	2.17		$lb(\text{m.m./h})$	0.66	

Tabla 7 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	1.12		1	2.66		1	2.63	
2	1.50	14.83	2	3.24	16.29	2	3.10	16.15
4	1.94	17.42	4	3.78	17.91	5	3.67	17.34
6	2.21	15.95	6	4.13	18.13	8	3.90	16.76
10	2.58	15.73	10	4.39	14.55	16	4.33	15.72
18	2.88	<u>16.27</u>	18	4.85	<u>15.45</u>	32	4.46	<u>15.62</u>
30	3.27	16.04	30	5.13	16.47	46	4.69	16.32
50	3.63		50	5.29		64	4.88	
80	3.96		80	5.64		94	5.05	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
120	4.30	14.45	120	5.79	13.86	154	5.64	13.54
180	4.83	15.29	160	5.93	13.07	214	5.91	15.08
240	5.30	14.44	220	6.07	14.90	274	6.10	15.28
300	5.93	13.20	280	6.21	12.48			13.88
		<u>15.71</u>			<u>13.73</u>			<u>12.61</u>
		14.62			13.67			14.07
c'	1.366		c'	3.228		c'	2.918	
α	0.249		α	0.123		α	0.129	
$\alpha - I$	-0.751		$\alpha - I$	-0.877		$\alpha - I$	-0.871	
$60 c' \alpha$	20.440		$60 c' \alpha$	23.785		$60 c' \alpha$	22.523	
f_b	450		f_b	526		f_b	522	
f_b mm/h	2.08		f_b mm/h	0.97		f_b mm/h	0.96	

Tabla 8 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.32		1	1.69		1	2.48	
2	2.78	13.77	2	2.06	11.50	2	3.00	16.07
4	3.28	14.61	4	2.31	15.74	4	3.78	14.55
6	3.58	13.77	6	2.50	15.07	6	4.30	15.96
10	3.81	15.38	9	2.68	15.41	10	4.98	16.22
18	4.03	<u>10.52</u>	18	2.91	<u>11.98</u>	18	6.28	<u>16.49</u>
30	4.29	13.61	30	3.10	13.94	30	6.46	15.86
50	4.55		50	3.31		50	9.38	
80	4.81		80	3.58		80	12.58	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
100	4.93	12.37	110	3.73	13.12	140	17.85	15.82
130	5.12	12.69	170	4.04	12.86	200	22.03	13.33
190	5.47	13.29	230	4.13	12.19	260	26.58	13.39
250	5.72	13.71	290	4.25	12.63			12.85
310	6.22	<u>12.73</u>			<u>13.69</u>			<u>13.71</u>
		12.96			12.90			13.82
c'	2.671		c'	1.908		c'	1.884	
α	0.139		α	0.143		α	0.445	
$\alpha - 1$	-0.861		$\alpha - 1$	-0.858		$\alpha - 1$	-0.555	
$60 c' \alpha$	22.276		$60 c' \alpha$	16.397		$60 c' \alpha$	50.250	
$tb(\text{min})$	516		$tb(\text{min})$	514		$tb(\text{min})$	333	
$lb(\text{m.m./h})$	1.03		$lb(\text{m.m./h})$	0.78		$lb(\text{m.m./h})$	19.96	

Tabla 9 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.20		1	1.64		1	2.81	
2	2.80	16.57	2	2.05	13.91	2	3.48	14.91
4	3.48	16.87	4	2.31	14.28	4	4.51	15.69
6	3.85	15.01	6	2.55	14.58	6	5.43	15.69
10	4.28	17.39	10	2.65	15.79	10	6.11	17.34
18	4.88	<u>17.73</u>	18	2.83	<u>16.49</u>	18	7.05	<u>15.29</u>
30	5.48	16.64	30	3.03	15.01	30	8.16	15.78
50	6.01		50	3.20		50	8.42	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
80	6.61		80	3.46		80	9.16	
126	7.04	14.16	90	3.50	15.05	120	10.12	15.55
160	7.65	14.03	125	3.51	14.35	180	11.31	15.27
220	8.93	14.37	185	3.64	13.20	240	12.20	15.32
280	10.05	15.10	245	3.86	13.87	300	13.07	15.12
340	10.96	<u>15.47</u>	305	4.08	<u>13.43</u>			<u>14.69</u>
		14.63			13.98			15.19
c'	2.412		c'	1.958		c'	3.309	
α	0.241		α	0.126		α	0.241	
$\alpha - 1$	-0.758		$\alpha - 1$	-0.874		$\alpha - 1$	-0.759	
$60 c' \alpha$	34.952		$60 c' \alpha$	14.749		$60 c' \alpha$	47.855	
$t_b(\text{min})$	455		$t_b(\text{min})$	525		$t_b(\text{min})$	455	
$l_b(\text{m.m./h})$	3.37		$l_b(\text{m.m./h})$	0.62		$l_b(\text{m.m./h})$	4.59	

Tabla 10 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	1.17		1	2.81		1	1.62	
2	1.66	15.33	2	4.15	15.26	2	2.24	16.79
4	2.16	21.61	4	5.67	16.95	4	3.02	16.93
6	2.53	21.86	6	6.85	18.85	6	3.46	13.59
10	3.14	17.64	10	8.48	18.81	10	4.03	15.88
18	3.84	24.53	19	11.24	15.03	19	4.74	13.76
30	4.55	20.17	30	13.56	16.98	30	5.05	15.39
50	5.46		50	16.75		50	5.35	
80	6.14		80	20.32		80	5.67	
135	6.81	20-40 cm.	130	25.25	20-40 cm.	120	5.99	20-40 cm.
195	7.22	12.12	190	30.87	9.36	180	6.47	13.49
255	7.50	12.61	250	34.36	13.54	240	6.77	12.94
315	7.87	13.64	310	38.45	14.85	300	6.97	13.31
		13.24			13.75			13.73
		13.96			12.95			13.72
		13.11			12.98			13.44
c'	1.483		c'	3.090		c'	2.318	
α	0.307		α	0.436		α	0.204	
$\alpha - 1$	-0.693		$\alpha - 1$	-0.564		$\alpha - 1$	-0.796	
$60 c' \alpha$	27.320		$60 c' \alpha$	80.798		$60 c' \alpha$	28.352	
$t_b(\text{min})$	416		$t_b(\text{min})$	338		$t_b(\text{min})$	478	
$I_b(\text{m.m./h})$	4.18		$I_b(\text{m.m./h})$	30.19		$I_b(\text{m.m./h})$	2.09	

Tabla 11 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.70		1	2.69		1	1.44	
2	3.52	14.58	2	3.46	14.65	2	1.86	20.55
4	4.69	16.54	4	4.19	15.35	4	2.24	19.19
6	5.40	14.52	6	4.60	16.03	6	2.39	17.26
10	6.35	16.62	10	5.10	16.87	10	2.58	19.83
18	7.06	<u>16.04</u>	18	5.55	<u>16.33</u>	18	2.81	<u>17.30</u>
30	7.68	15.66	30	5.84	15.85	30	2.97	18.82
50	8.13		50	6.12		50	3.08	
65	8.26		99	6.53		90	3.36	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
105	8.45	12.42	136	6.80	14.79	130	3.48	18.38
145	9.53	14.69	256	7.38	14.60	250	3.88	18.60
265	10.67	12.56			14.61			14.40
		12.59			16.00			15.13
		12.56			13.09			14.77
		—			—			—
		12.96			14.62			16.26
c'		3.596	c'		3.459	c'		1.817
α		0.202	α		0.143	α		0.139
$\alpha - 1$		-0.798	$\alpha - 1$		-0.857	$\alpha - 1$		-0.861
$60 c' \alpha$		43.541	$60 c' \alpha$		29.715	$60 c' \alpha$		15.117
$tb(\text{min})$		479	$tb(\text{min})$		514	$tb(\text{min})$		516
$lb(\text{m.m./h})$		3.16	$lb(\text{m.m./h})$		1.41	$lb(\text{m.m./h})$		0.69

Tabla 12 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.14		1	2.79		1	2.48	
2	2.39	18.78	2	3.58	12.79	2	2.90	17.22
4	2.68	16.15	4	4.35	12.64	4	4.04	16.50
6	2.77	18.39	6	4.88	15.75	6	4.74	18.33
10	3.09	18.19	10	5.68	13.80	10	5.24	17.05
18	3.43	16.50	18	6.44	14.30	18	6.05	16.49
30	3.56	17.60	30	7.28	13.86	30	6.56	17.12
50	3.71		50	8.11		50	7.19	
80	3.92	20-40 cm.	80	8.78	20-40 cm.	80	7.85	20-40 cm.
120	4.14	14.83	125	9.78	15.83	120	8.85	14.71
132	4.21	15.64	218	11.44	16.73	208	11.37	17.25
221	4.66	14.97	276	12.42	15.14	268	12.66	13.07
282	4.89	14.27			15.54			12.86
		13.71			14.43			14.89
		14.69			15.53			14.43
c'	2.210		c'	3.136		c'	2.701	
α	0.136		α	0.242		α	0.263	
$\alpha - 1$	-0.864		$\alpha - 1$	-0.758		$\alpha - 1$	-0.737	
$60 c' \alpha$	18.070		$60 c' \alpha$	45.482		$60 c' \alpha$	42.686	
$t_b(\text{min})$	518		$t_b(\text{min})$	454		$t_b(\text{min})$	411	
$I_b(\text{m.m./h})$	0.82		$I_b(\text{m.m./h})$	4.39		$I_b(\text{m.m./h})$	4.80	

Tabla 13 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
1	1.49	00-20 cm.	1	1.95	0-20 cm.	1	1.91	0-20 cm.
2	1.81	24.14	2	2.47	19.99	2	2.73	18.81
4	1.98	21.44	4	2.85	20.71	4	2.88	16.11
6	2.04	26.81	6	3.41	22.15	6	3.09	21.23
11	2.10	21.66	10	3.94	20.76	10	3.38	25.29
18	2.58	19.02	18	4.58	21.95	18	4.21	21.58
30	3.38	22.61	30	5.72	21.11	30	4.98	20.60
50	3.71		50	6.85		50	6.46	
90	4.45		90	8.58		90	8.21	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
110	4.95	19.00	150	10.65	19.28	130	11.00	18.57
205	8.44	17.61	239	14.76	18.88	225	15.71	19.01
266	10.94	18.90	300	16.93	20.77	285	19.01	19.73
333	13.46	16.47	366	20.08	20.58	352	23.13	19.42
407	14.22	19.09	440	22.76	19.29	426	26.68	17.03
		18.21			19.76			18.75
c'	0.965		c'	1.566		c'	1.390	
α	0.404		α	0.409		α	0.444	
$\alpha-1$	-0.596		$\alpha-1$	-0.591		$\alpha-1$	-0.556	
$60 c' \alpha$	23.379		$60 c' \alpha$	38.439		$60 c' \alpha$	37.081	
t_b	357		t_b	354		t_b	333	
l_b mm/h.	7.02		l_b	11.97		l_b	14.70	

Tabla 14 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
1	1.76	00-20 cm.	1	3.23	0-20cm.	1	1.14	0-20 cm.
2	2.61	20.23	2	3.98	15.90	2	2.17	22.32
4	3.42	20.54	4	4.38	16.04	4	2.67	21.37
6	4.35	18.65	6	4.51	16.77	6	3.99	18.19
10	5.51	17.78	10	5.23	16.23	10	5.02	18.97
18	7.61	19.80	18	6.02	16.05	18	7.39	18.62
30	9.98	19.40	30	7.44	16.20	30	9.45	19.89
50	13.88		50	8.63		50	12.65	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
80	18.68		80	10.25		80	16.72	
120	23.70	19.29	120	12.16	16.05	120	21.58	19.44
216	38.44	15.48	215	17.03	16.68	210	33.58	19.56
		16.29			16.71			19.49
		16.77			17.23			19.36
		18.20			15.99			19.73
		17.17			16.53			19.52
c'		1.560	c'		2.748	c'		1.320
α		0.570	α		0.308	α		0.588
$\alpha - 1$		-0.430	$\alpha - 1$		-0.692	$\alpha - 1$		-0.412
$60 c' \alpha$		53.345	$60 c' \alpha$		50.811	$60 c' \alpha$		46.571
$tb(min)$		258	$tb(min)$		415	$tb(min)$		247
$lb(m.m./h)$		48.92	$lb(m.m./h)$		7.84	$lb(m.m./h)$		48.05

Tabla 15 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
1	2.31	00-20 cm.	1	2.25	0-20cm.	1	2.17	0-20 cm.
2	3.20	23.74	2	2.63	23.05	2	2.63	24.05
4	3.95	21.87	4	2.93	23.15	4	3.06	21.75
6	4.40	20.54	6	3.18	21.75	6	3.41	21.34
10	4.73	21.65	10	3.63	21.79	10	3.97	26.03
18	5.53	22.96	18	4.28	22.96	18	4.67	19.07
30	6.93	22.15	30	5.38	22.54	30	5.77	22.45
50	8.18		50	6.43		50	6.83	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
80	9.85		80	7.54		80	8.15	
120	11.67	17.96	120	9.63	18.78	120	10.07	18.62
180	13.86	19.84	180	12.32	20.62	180	13.56	18.90
240	15.87	18.63	240	15.17	19.20	234	16.74	22.14
360	19.03	19.38	360	21.38	20.75	354	22.72	18.25
480	22.14	19.54	480	27.49	19.38	474	28.60	21.07
		19.07			19.75			19.80
c'	2.249		c'	1.478		c'	1.543	
α	0.351		α	0.421		α	0.427	
$\alpha - 1$	-0.649		$\alpha - 1$	-0.579		$\alpha - 1$	-0.573	
$60 c' \alpha$	47.414		$60 c' \alpha$	37.280		$60 c' \alpha$	39.497	
$tb(\text{min})$	389		$tb(\text{min})$	347		$tb(\text{min})$	343	
$lb(\text{m.m./h})$	9.91		$lb(\text{m.m./h})$	12.56		$lb(\text{m.m./h})$	13.88	

Tabla 16 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.87		1	2.59		1	3.53	
2	3.20	19.67	3	3.73	16.21	3	3.89	17.66
5	3.66	20.30	5	3.82	16.17	5	4.49	18.96
7	3.85	16.74	9	3.89	18.49	9	4.82	19.71
9	4.10	17.31	12	4.10	17.58	12	5.55	16.57
12	4.23	16.65	20	4.34	17.65	20	6.67	17.57
20	4.84	18.13	30	4.53	17.22	30	7.65	18.09
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
30	5.34		50	4.89		50	8.80	
50	6.04		70	6.41		70	11.93	
90	7.79	19.12	90	7.06	19.37	90	14.57	18.68
120	8.79	16.47	120	7.16	16.60	120	17.05	19.08
150	9.77	19.68	150	7.61	18.87	150	19.68	19.19
200	11.43	19.21	284	9.11	19.42	284	29.11	21.47
250	13.74	19.05	400	16.48	16.57	400	29.38	19.84
300	15.91	18.71			18.16			19.65
c'		2.076	c'		2.227	c'		1.932
α		0.316	α		0.259	α		0.447
$\alpha - 1$		-0.684	$\alpha - 1$		-0.741	$\alpha - 1$		-0.553
$60 c' \alpha$		39.352	$60 c' \alpha$		34.615	$60 c' \alpha$		51.845
$tb(\text{min})$		410	$tb(\text{min})$		444	$tb(\text{min})$		331
$lb(\text{m.m./h})$		6.42	$lb(\text{m.m./h})$		3.77	$lb(\text{m.m./h})$		20.96

Tabla 17 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	0.69		1	1.06		1	0.98	
3	1.03	24.55	3	1.42	22.29	3	1.15	22.88
5	1.18	20.96	5	1.58	23.46	5	1.25	21.89
9	1.48	16.74	9	1.74	20.50	9	1.48	23.25
12	1.65	25.60	12	1.84	24.53	12	1.63	21.86
20	2.28	25.12	20	2.78	23.91	20	1.88	23.35
30	3.02	22.59	30	3.37	22.94	30	2.24	22.65
50	4.17		50	4.68		50	2.74	
70	5.34	20-40 cm.	70	5.80	20-40 cm.	70	3.32	20-40 cm.
90	6.48	20.95	90	6.98	20.55	90	4.08	20.33
120	8.36	21.57	120	8.81	20.13	120	5.15	19.72
150	10.09	20.67	150	10.39	20.98	150	6.16	20.05
250	18.09	19.97	250	17.09	20.96	250	9.89	20.89
300	22.37	21.67	300	20.39	21.39	300	12.34	20.99
400	30.39	20.97	400	27.82	20.80	400	17.75	20.40
c'		0.327	c'		0.480	c'		0.439
α		0.701	α		0.625	α		0.542
$\alpha - 1$		-0.299	$\alpha - 1$		-0.375	$\alpha - 1$		-0.458
$60 c' \alpha$		13.752	$60 c' \alpha$		18.004	$60 c' \alpha$		14.262
$tb(\text{min})$		179	$tb(\text{min})$		224	$tb(\text{min})$		274
$lb(\text{m.m./h})$		29.19	$lb(\text{m.m./h})$		23.65	$lb(\text{m.m./h})$		10.88

Tabla 18 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	1.84		1	1.26		1	1.39	
2	1.97	21.47	2	1.30	24.57	2	1.60	24.73
5	2.29	23.11	5	1.59	17.34	5	2.11	22.23
9	2.58	24.96	9	2.19	22.77	9	2.51	23.40
20	3.20	27.86	20	3.06	26.42	20	3.56	22.61
30	3.79	25.28	30	3.91	21.76	30	4.50	21.82
50	4.70	24.54	50	5.15	22.57	50	6.20	22.96
70	5.71		70	6.70		70	7.74	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
120	7.76		120	9.73		120	11.44	
150	8.89	19.20	150	11.94	20.01	150	13.93	19.82
200	10.77	20.66	200	15.75	19.10	200	17.95	19.05
250	12.77	21.43	250	19.41	18.78	250	21.83	19.91
300	14.89	21.25	300	23.38	20.71	300	26.17	18.84
425	20.39	20.77	425	34.38	19.28	325	37.55	19.10
		20.66			19.57			19.34
c'		1.039	c'		0.577	c'		0.724
α		0.440	α		0.619	α		0.604
$\alpha - 1$		-0.560	$\alpha - 1$		-0.381	$\alpha - 1$		-0.396
$60 c' \alpha$		27.411	$60 c' \alpha$		21.435	$60 c' \alpha$		26.245
$tb(\text{min})$		336	$tb(\text{min})$		228	$tb(\text{min})$		237
$lb(\text{m.m./h})$		10.53	$lb(\text{m.m./h})$		27.12	$lb(\text{m.m./h})$		30.12

Tabla 19 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
2	0.04		2	0.02		2	0.10	
7	0.24	28.29	7	0.21	28.34	7	0.21	34.48
17	0.56	30.50	17	0.57	32.38	17	0.40	30.24
52	1.56	26.92	52	1.71	29.71	52	1.21	36.89
102	2.76	32.49	102	3.26	30.23	102	2.10	26.01
222	5.73	33.19	222	6.85	26.23	222	4.47	34.74
322	7.62	30.28	322	9.49	29.38	322	6.00	32.47
372	8.75		372	10.80		372	7.00	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
		22.00			20.82			20.75
		22.14			21.06			20.71
		22.59			21.83			22.45
		21.79			21.21			20.49
		21.70			20.54			20.53
		20.04			21.09			20.29
c'		0.156	c'		0.016	c'		0.045
α		0.641	α		1.132	α		0.839
$\alpha - 1$		-0.359	$\alpha - 1$		0.132	$\alpha - 1$		-0.160
$60 c' \alpha$		6.020	$60 c' \alpha$		1.086	$60 c' \alpha$		2.280
$tb(\text{min})$		215	$tb(\text{min})$		79	$tb(\text{min})$		96
$lb(\text{m.m./h})$		8.76	$lb(\text{m.m./h})$		19.34	$lb(\text{m.m./h})$		10.96

Tabla 20 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.48		1	2.44		1	2.35	
2	2.51	18.14	2	2.59	16.65	2	2.48	16.20
4	2.55	18.97	4	2.80	18.25	4	2.55	18.43
6	2.59	19.13	6	2.83	18.37	6	2.59	18.23
10	2.66	19.82	10	2.93	16.95	11	2.78	16.41
18	2.73	18.94	18	2.94	17.88	18	2.82	18.10
30	2.94	19.00	30	3.06	17.62	30	2.90	17.47
50	3.38		50	3.21		50	3.02	
80	3.74	20-40 cm.	80	3.48	20-40 cm.	80	3.12	20-40 cm.
120	3.87	14.18	120	3.58	15.15	113	3.23	15.07
254	4.57	15.11	248	3.90	13.14	233	3.53	15.57
350	4.88	15.86	333	4.41	16.15	330	3.96	17.60
		15.58			15.45			15.60
		15.65			15.45			18.10
		15.28			15.07			16.39
c'	2.035		c'	2.369		c'	2.253	
α	0.136		α	0.091		α	0.082	
$\alpha - 1$	-0.863		$\alpha - 1$	-0.909		$\alpha - 1$	-0.918	
$60 c' \alpha$	16.682		$60 c' \alpha$	12.874		$60 c' \alpha$	11.144	
$tb(min)$	518		$tb(min)$	545		$tb(min)$	550	
$lb(m.m./h)$	0.76		$lb(m.m./h)$	0.42		$lb(m.m./h)$	0.34	

Tabla 21 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.87		1	2.03		1	1.34	
2	3.83	17.53	2	2.52	19.87	2	2.43	16.87
4	5.00	16.93	4	3.35	20.81	4	2.76	16.79
6	6.10	18.28	6	4.09	20.84	6	2.79	18.59
10	8.04	16.31	10	5.40	20.49	10	3.02	18.05
18	10.78	18.72	18	7.53	19.58	18	3.18	18.11
30	15.01	17.55	30	10.18	20.32	30	3.44	17.68
50	20.38	20-40 cm.	55	15.80	20-40 cm.	50	3.96	20-40 cm.
80	30.01		80	20.53		80	4.48	
131	41.24	20.81	120	27.30	21.20	120	5.09	26.03
180	49.54	22.75	180	34.17	22.42	186	5.98	23.06
240	59.24	22.44	240	43.16	24.02	240	6.43	22.41
300	68.79	23.03	300	47.67	23.71	300	7.04	22.18
		19.98			22.92			20.27
		21.80			22.85			22.79
c'	2.147		c'	1.413		c'	1.909	
α	0.598		α	0.611		α	0.209	
$\alpha - 1$	-0.402		$\alpha - 1$	-0.389		$\alpha - 1$	-0.791	
$60 c' \alpha$	77.016		$60 c' \alpha$	51.793		$60 c' \alpha$	23.95	
$t_b(\text{min})$	241		$t_b(\text{min})$	233		$t_b(\text{min})$	474	
$I_b(\text{m.m./h})$	84.72		$I_b(\text{m.m./h})$	62.03		$I_b(\text{m.m./h})$	1.83	

Tabla 22 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	1.64		1	3.10		1	2.33	
3	1.73	16.37	3	3.24	16.77	3	2.49	16.93
7	1.83	19.82	7	3.27	17.02	7	2.51	17.87
15	1.85	20.36	15	3.32	15.60	14	2.61	17.91
25	1.94	16.90	25	3.36	16.27	25	2.64	17.94
40	2.08	18.41	40	3.40	17.11	40	2.67	17.41
60	2.12	18.37	60	3.42	16.55	60	2.71	17.61
80	2.18		80	3.53		80	2.78	
120	2.25	20-40 cm.	120	3.75	20-40 cm.	120	2.80	20-40 cm.
180	2.40	20.72	180	3.92	22.79	180	2.94	24.65
240	2.46	19.87	240	4.00	24.90	240	3.01	24.82
300	2.52	21.55	300	4.33	19.22	300	3.05	25.67
		22.49			22.58			26.04
		21.73			17.23			23.83
		21.27			21.34			25.00
c'	1.526		c'	2.872		c'	2.310	
α	0.084		α	0.057		α	0.044	
$\alpha-1$	-0.916		$\alpha-1$	-0.943		$\alpha-1$	-0.956	
$60 c' \alpha$	7.699		$60 c' \alpha$	9.862		$60 c' \alpha$	6.170	
$tb(\text{min})$	549		$tb(\text{min})$	565		$tb(\text{min})$	573	
$lb(\text{m.m./h})$	0.24		$lb(\text{m.m./h})$	0.25		$lb(\text{m.m./h})$	0.14	

Tabla 23 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.47		1	2.10		1	0.99	
2	2.91	19.44	2	2.28	19.09	2	1.10	20.55
4	3.43	19.75	4	2.42	18.68	4	1.36	20.04
6	3.99	18.46	6	2.58	18.70	6	1.47	22.38
10	4.85	19.15	10	2.76	19.02	10	1.50	20.14
18	5.81	18.95	18	3.00	19.51	18	1.58	22.90
30	7.57	19.15	30	3.26	19.00	30	1.61	21.20
50	9.18		50	3.78		50	1.96	
80	13.17		80	4.34		80	2.28	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
120	17.90	22.71	120	5.31	22.28	120	2.69	22.41
180	23.49	22.50	180	6.19	22.86	180	3.14	22.65
		23.39	288	8.74	21.58	283	4.28	20.57
		21.78			22.14			22.60
		23.11			23.08			23.87
		22.70			22.39			22.42
c'		1.764	c'		1.619	c'		0.880
α		0.462	α		0.250	α		0.237
$\alpha - 1$		-0.538	$\alpha - 1$		-0.750	$\alpha - 1$		-0.763
$60 c' \alpha$		48.916	$60 c' \alpha$		24.307	$60 c' \alpha$		12.506
$t_b(\text{min})$		322	$t_b(\text{min})$		449	$t_b(\text{min})$		458
$I_b(\text{m.m./h})$		21.89	$I_b(\text{m.m./h})$		2.49	$I_b(\text{m.m./h})$		1.16

Tabla 24 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	3.10		1	3.87		1	3.24	
2	5.03	19.53	2	4.67	20.94	2	3.40	22.30
4	6.64	20.82	4	5.81	20.92	4	3.73	23.43
6	8.32	22.82	6	6.89	21.41	6	4.00	23.11
9	9.58	22.53	10	8.99		10	4.93	
18	17.00		18	11.87		18	6.12	
22	19.58	21.42	30	18.11	21.09	30	7.08	22.94
30	25.37		50	25.74		50	9.54	
36	29.41	20-40 cm.	64	35.74	20-40 cm.	80	11.48	20-40 cm.
50	39.61	21.94	80	43.77	23.47	120	13.97	22.04
68	51.61	22.95	120	49.77	22.45	180	16.47	21.41
80	60.14	22.87			23.18			21.65
99	71.14	22.14						
115	81.14							
		22.47			23.03			21.70
c'	2.377		c'	2.427		c'	2.227	
α	0.720		α	0.621		α	0.371	
$\alpha - 1$	-0.280		$\alpha - 1$	-0.379		$\alpha - 1$	-0.629	
$60 c' \alpha$	102.670		$60 c' \alpha$	90.402		$60 c' \alpha$	49.635	
$t_b(\text{min})$	168		$t_b(\text{min})$	227		$t_b(\text{min})$	377	
$l_b(\text{m.m./h})$	244.30		$l_b(\text{m.m./h})$	115.45		$l_b(\text{m.m./h})$	11.91	

Tabla 25 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	2.31		1	2.53		1	1.41	
2	2.34	20.32	2	2.65	19.98	2	1.57	20.86
4	2.49	20.27	4	3.10	20.70	4	1.73	21.78
6	2.51	20.56	6	3.19	20.20	6	1.97	21.23
10	2.68	20.92	10	3.33	20.65	10	2.08	21.05
18	2.77	20.22	18	4.05	20.52	18	2.38	21.46
30	3.09	20.46	30	4.70	20.41	30	2.86	21.27
50	3.64		50	5.91		50	3.51	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
80	4.21		80	7.35		80	4.45	
120	5.14	22.80	120	9.28	21.00	120	5.73	22.30
180	6.34	22.54	180	13.34	21.66	180	7.20	21.31
300	9.04	22.30	300	20.02	22.05	300	10.17	19.16
		23.05			22.48			23.10
		21.41			24.12			23.24
		22.42			22.26			21.82
c'	1.594		c'	1.582		c'	0.979	
α	0.250		α	0.383		α	0.366	
$\alpha - 1$	-0.750		$\alpha - 1$	-0.617		$\alpha - 1$	-0.634	
$60 c' \alpha$	23.885		$60 c' \alpha$	36.351		$60 c' \alpha$	21.517	
$t_b(\text{min})$	450		$t_b(\text{min})$	370		$t_b(\text{min})$	380	
$l_b(\text{m.m./h})$	2.44		$l_b(\text{m.m./h})$	9.45		$l_b(\text{m.m./h})$	4.98	

Tabla 26 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	0.93		1	0.98		1	1.71	
2	1.01	21.97	2	1.27	22.01	2	1.81	21.12
4	1.19	23.44	4	1.28	21.66	4	1.90	21.50
6	1.24	23.29	6	1.33	23.79	6	1.94	22.07
10	1.44	22.12	10	1.40	23.27	11	2.02	22.07
18	1.75	23.76	18	1.48	24.65	18	2.02	22.84
30	2.26	22.92	30	1.58	23.07	30	2.12	21.90
50	2.97	20-40 cm.	50	1.62	20-40 cm.	50	2.21	20-40 cm.
80	3.54		80	1.66		90	2.29	
120	4.67	24.84	120	1.70	23.65	135	2.31	24.63
180	5.40	25.28	152	1.75	22.89	230	2.58	24.23
270	7.08	23.68	245	1.80	24.49	320	3.09	24.02
360	9.23	24.63	335	2.00	24.22			24.18
		24.07			23.65			23.02
		24.50			23.78			24.02
c'	0.598		c'	1.160		c'	1.647	
α	0.428		α	0.084		α	0.084	
$\alpha - 1$	-0.572		$\alpha - 1$	-0.916		$\alpha - 1$	-0.916	
$60 c' \alpha$	15.353		$60 c' \alpha$	5.872		$60 c' \alpha$	8.263	
$tb(\text{min})$	343		$tb(\text{min})$	549		$tb(\text{min})$	549	
$lb(\text{m.m./h})$	5.44		$lb(\text{m.m./h})$	0.18		$lb(\text{m.m./h})$	0.25	

Tabla 27 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	4.67		1	0.74		1	3.18	
2	5.52	22.88	2	0.90	21.65	2	3.47	22.21
4	6.37	22.91	4	1.07	23.59	4	3.84	24.27
6	7.63	23.58	6	1.21	25.47	6	4.12	23.23
10	9.17	26.66	10	1.29	22.10	10	4.50	23.62
18	15.30	26.55	18	1.62	24.09	18	5.44	23.32
30	19.08	24.52	30	1.89	23.38	30	6.24	23.33
45	26.30		50	2.38		50	7.93	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
65	36.00		80	3.24		80	11.01	
90	46.00	22.56	125	3.98	22.07	120	13.48	21.84
120	56.00	25.29	185	5.48	24.18	180	20.06	23.19
150	66.00	25.02	240	6.98	23.46	240	26.86	24.18
		22.82	360	8.30	22.36	300	36.32	24.61
		22.99			23.28			23.83
		23.74			23.07			23.53
c'	2.747		c'	0.530		c'	1.785	
α	0.612		α	0.434		α	0.454	
$\alpha - 1$	-0.388		$\alpha - 1$	-0.565		$\alpha - 1$	-0.546	
$60 c' \alpha$	100.89		$60 c' \alpha$	13.822		$60 c' \alpha$	48.624	
$t_b(\text{min})$	232		$t_b(\text{min})$	339		$t_b(\text{min})$	327	
$l_b(\text{m.m./h})$	121.75		$l_b(\text{m.m./h})$	5.12		$l_b(\text{m.m./h})$	20.58	

Tabla 28 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.93		1	2.66		1	2.33	
2	3.36	23.85	2	3.53	24.21	2	2.95	24.76
4	3.79	23.18	4	4.27	25.14	4	3.47	24.18
6	4.18	24.97	6	5.04	23.60	6	3.96	24.40
10	4.46	24.76	10	6.09	22.21	10	4.21	23.92
18	5.32	24.69	18	7.30	25.07	18	4.79	24.02
30	6.18	24.29	30	8.47	24.05	30	5.30	24.26
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
50	7.89		50	10.15		50	6.07	
80	10.08		80	12.31		80	7.22	
120	13.12	22.99	120	15.64	22.84	120	10.34	21.91
180	19.63	23.07	180	19.57	23.17	180	15.34	23.43
240	25.11	22.78	240	23.32	23.05	240	20.29	23.19
300	31.34	21.64	300	27.18	24.47	300	25.15	22.02
		22.51			22.80			23.65
		22.60			23.25			22.84
c'	1.820		c'	2.413		c'	1.757	
α	0.438		α	0.398		α	0.398	
$\alpha - 1$	-0.562		$\alpha - 1$	-0.602		$\alpha - 1$	-0.602	
$60 c' \alpha$	47.853		$60 c' \alpha$	57.655		$60 c' \alpha$	41.971	
$t_b(\text{min})$	337		$t_b(\text{min})$	361		$t_b(\text{min})$	361	
$l_b(\text{m.m./h})$	18.19		$l_b(\text{m.m./h})$	16.65		$l_b(\text{m.m./h})$	12.12	

Tabla 29 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	0.012		2	0.013		1	1.74	
6	0.018	27.70	11	0.018	25.62	3	1.81	23.96
51	0.020	27.95	46	0.020	27.39	7	2.39	25.31
126	0.024	27.48	121	0.100	29.57	47	3.31	23.59
231	0.030	25.49	226	0.102	27.38	122	5.57	26.47
		27.19			29.63	227	8.66	25.60
		27.16			27.92			24.99
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
		21.36			21.80			19.01
		25.59			22.10			19.33
		23.54			18.59			20.17
		24.92			21.66			19.60
		25.28			20.10			19.91
		24.14			20.85			19.80
c'	0.014		c'	0.007		c'	1.190	
α	0.127		α	0.463		α	0.331	
$\alpha - 1$	-0.873		$\alpha - 1$	-0.537		$\alpha - 1$	-0.669	
$60 c' \alpha$	0.103		$60 c' \alpha$	0.195		$60 c' \alpha$	23.634	
$tb(\text{min})$	524		$tb(\text{min})$	322		$tb(\text{min})$	401	
$lb(\text{m.m./h})$	43.53		$lb(\text{m.m./h})$	0.09		$lb(\text{m.m./h})$	4.28	

Tabla 30 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.74		1	3.13		1	2.58	
2	3.32	17.50	2	4.28	16.23	2	3.17	16.52
4	4.07	16.93	4	5.16	17.32	4	3.53	17.03
6	4.88	17.15	6	5.92	13.76	6	4.00	17.05
10	6.35	16.87	10	6.56	16.52	10	4.56	18.06
18	6.72	17.01	18	7.41	16.57	18	5.31	17.73
30	7.66	17.09	30	8.18	16.08	30	6.19	17.28
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
50	8.71		50	9.18		50	7.07	
80	9.96		80	10.06		80	7.95	
125	11.15	12.84	125	11.15	15.00	120	9.44	16.19
253	13.33	13.73	252	13.02	15.37	248	12.65	17.45
310	14.19	14.50	310	13.68	17.78	307	13.89	14.98
		13.00			12.14			12.26
		13.60			13.76			15.42
		13.53			14.81			15.26
c'	2.927		c'	3.830		c'	2.358	
α	0.279		α	0.223		α	0.294	
$\alpha - 1$	-0.721		$\alpha - 1$	-0.777		$\alpha - 1$	-0.706	
$60 c' \alpha$	48.990		$60 c' \alpha$	51.171		$60 c' \alpha$	41.605	
$t_b(\text{min})$	432		$t_b(\text{min})$	466		$t_b(\text{min})$	424	
$lb(m.m./h)$	6.16		$lb(m.m./h)$	4.31		$lb(m.m./h)$	5.81	

Tabla 31 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	1.82		1	3.50		1	2.60	
2	2.26	16.92	2	4.65	17.66	2	3.12	17.27
4	2.78	17.25	4	6.12	16.37	4	3.62	17.34
6	3.32	17.12	6	7.17	16.67	6	3.92	17.91
10	3.96	18.04	10	8.41	16.79	10	4.46	18.09
18	4.64	17.62	18	9.98	16.49	18	5.32	17.87
30	5.38	17.39	30	11.70	16.80	30	6.27	17.70
50	6.19		50	13.96		50	7.24	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
80	7.04		80	16.00		80	8.07	
125	8.16	18.71	125	18.43	18.18	120	9.07	15.20
252	10.06	18.52	252	22.58	17.58	248	11.07	16.15
330	11.26	18.60	329	24.57	18.75	352	12.03	16.40
		17.60			18.20			16.20
		18.53			17.17			15.55
		18.39			17.98			15.90
c'	1.874		c'	3.931		c'	2.484	
α	0.307		α	0.319		α	0.269	
$\alpha - 1$	-0.693		$\alpha - 1$	-0.680		$\alpha - 1$	-0.731	
$60 c' \alpha$	34.497		$60 c' \alpha$	75.342		$60 c' \alpha$	40.156	
$tb(\text{min})$	415		$tb(\text{min})$	408		$tb(\text{min})$	438	
$lb(\text{m.m./h})$	5.27		$lb(\text{m.m./h})$	12.59		$lb(\text{m.m./h})$	4.71	

Tabla 32 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.52		1	2.87		1	2.78	
2	2.96	17.74	2	3.69	16.68	2	3.23	18.63
4	3.42	18.09	4	4.63	17.56	4	3.77	18.52
6	3.95	18.50	6	5.37	17.26	6	4.01	16.30
10	4.44	18.75	10	6.34	17.52	10	4.45	16.80
18	5.36	16.90	18	7.79	17.17	18	5.02	17.20
30	6.42	18.00	30	9.38	17.24	30	5.87	17.49
50	7.88	20-40 cm.	50	11.24	20-40 cm.	50	6.35	20-40 cm.
80	9.42		80	13.78		80	7.08	
120	11.27	17.82	120	15.95	18.73	120	7.71	17.64
185	14.22	17.68	185	18.64	18.74	180	8.39	17.40
315	18.94	19.13	315	23.22	17.80	310	10.03	17.61
450	24.01	18.66	448	26.84	18.41	443	11.64	17.71
		17.82			16.97			17.74
		18.22			18.13			17.62
c'	1.937		c'	2.760		c'	2.673	
α	0.382		α	0.367		α	0.228	
$\alpha - 1$	-0.618		$\alpha - 1$	-0.633		$\alpha - 1$	-0.772	
$60 c' \alpha$	44.405		$60 c' \alpha$	60.788		$60 c' \alpha$	36.549	
$t_b(\text{min})$	370		$t_b(\text{min})$	380		$t_b(\text{min})$	463	
$l_b(\text{m.m./h})$	11.48		$l_b(\text{m.m./h})$	14.17		$l_b(\text{m.m./h})$	3.19	

Tabla 33 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20cm.			0-20 cm.
1	1.85		1	1.89		1	1.86	
2	2.06	22.91	2	2.05	17.52	2	2.16	20.05
4	2.22	16.27	4	2.26	17.65	4	2.47	18.04
6	2.43	16.01	6	2.35	17.85	6	2.73	18.08
10	2.62	16.52	10	2.56	18.27	8	2.82	18.16
18	2.96	17.01	18	2.77	18.55	16	3.38	19.25
30	3.37	17.74	30	2.85	17.97	30	3.81	18.72
50	3.88	20-40 cm.	50	3.17	20-40 cm.	50	4.28	20-40 cm.
80	4.75		80	3.38		80	4.73	
138	5.89	20.17	136	3.76	17.44	132	5.28	16.90
198	6.71	17.85	196	4.01	17.99	192	5.84	17.25
258	7.62	17.54	256	4.24	18.40	252	6.25	16.92
318	8.47	18.57	316	4.51	16.22	312	6.50	16.77
		18.23			17.01			17.17
		18.47			17.41			17.00
c'	1.437		c'	1.796		c'	1.824	
α	0.285		α	0.151		α	0.220	
$\alpha - 1$	-0.714		$\alpha - 1$	-0.849		$\alpha - 1$	-0.780	
$60 c' \alpha$	24.619		$60 c' \alpha$	16.323		$60 c' \alpha$	24.069	
$tb(\text{min})$	428		$tb(\text{min})$	509		$tb(\text{min})$	468	
$lb(\text{m.m./h})$	3.24		$lb(\text{m.m./h})$	0.82		$lb(\text{m.m./h})$	1.98	

Tabla 34 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.25		1	2.44		1	1.48	
2	2.43	17.68	2	2.93	17.41	2	1.50	19.55
4	2.83	17.69	4	3.29	17.22	4	1.72	19.48
6	3.00	18.00	6	3.54	17.54	6	1.80	20.75
10	3.20	18.18	10	3.96	17.40	10	2.00	17.59
18	3.49	16.55	18	4.51	17.02	18	2.47	20.90
30	3.79	17.62	30	5.15	17.32	30	2.80	19.65
55	4.34	20-40 cm.	55	6.04	20-40 cm.	50	3.50	20-40 cm.
85	4.64		85	6.81		80	4.32	
128	4.97	19.02	125	7.38	17.77	120	5.12	15.84
188	5.32	18.07	185	8.19	16.66	180	6.30	15.70
315	5.89	19.54	313	9.69	16.01	307	8.25	15.41
		18.47			16.97			14.43
		18.24			17.36			15.54
		18.67			16.95			15.38
c'	2.177		c'	2.342		c'	1.002	
α	0.170		α	0.239		α	0.341	
$\alpha - 1$	-0.830		$\alpha - 1$	-0.761		$\alpha - 1$	-0.659	
$60 c' \alpha$	22.268		$60 c' \alpha$	33.607		$60 c' \alpha$	20.509	
$t_b(\text{min})$	497		$t_b(\text{min})$	456		$t_b(\text{min})$	395	
$l_b(\text{m.m./h})$	1.29		$l_b(\text{m.m./h})$	3.18		$l_b(\text{m.m./h})$	3.99	

Tabla 35 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA c.m.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	1.14		1	0.80		1	2.02	
2	1.39	21.88	2	1.27	18.55	2	2.71	19.17
4	1.46	21.59	4	1.64	20.90	4	3.54	17.20
6	1.60	20.44	6	1.93	19.72	6	3.87	18.00
10	1.68	22.08	10	2.41	23.22	10	4.65	18.01
18	1.89	21.04	18	3.43	22.78	18	5.44	19.73
30	2.59	21.41	30	4.49	21.03	30	6.31	18.54
50	3.19	20-40 cm.	50	6.16	20-40 cm.	50	7.63	20-40 cm.
80	4.11		80	7.89		80	8.58	
158	5.40	18.64	157	11.52	20.62	153	11.33	19.94
286	7.64	18.46	264	16.66	19.86	259	15.11	22.95
399	10.35	17.85	389	22.78	21.19	394	19.36	21.41
		18.48			20.81			20.98
		18.38			19.21			18.70
		18.36			20.34			20.80
c'	0.791		c'	0.740		c'	2.038	
α	0.388		α	0.551		α	0.352	
$\alpha - 1$	-0.612		$\alpha - 1$	-0.449		$\alpha - 1$	-0.648	
$60 c' \alpha$	18.390		$60 c' \alpha$	24.468		$60 c' \alpha$	43.059	
$tb(\text{min})$	367		$tb(\text{min})$	269		$tb(\text{min})$	388	
$lb(\text{m.m./h})$	4.94		$lb(\text{m.m./h})$	19.82		$lb(\text{m.m./h})$	9.04	

Tabla 36 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	1.22		1	1.79		1	1.14	
2	1.48	25.17	2	2.15	21.13	2	1.48	22.47
4	1.72	21.75	4	2.28	19.74	4	1.77	23.28
6	2.08	22.33	6	2.48	19.20	6	1.99	21.01
10	2.22	21.15	10	2.61	21.54	10	2.21	20.06
18	2.90	24.64	18	2.69	22.52	18	2.38	21.75
30	3.45	23.01	30	3.08	20.83	30	2.86	21.71
50	4.52		50	3.58		50	3.20	
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
80	5.72		80	4.34		80	3.60	
120	7.65	16.58	120	5.03	18.79	120	4.01	19.31
201	10.98	18.61	200	6.35	18.36	197	4.95	18.56
324	15.82	19.88	322	8.66	20.81	316	6.33	18.16
431	19.62	19.17	430	10.72	18.49	426	7.15	17.22
505	22.82	17.88	503	12.35	18.30	499	8.21	18.66
		18.42			18.95			18.38
c'	0.778		c'	1.319		c'	1.111	
α	0.502		α	0.311		α	0.294	
$\alpha - 1$	-0.498		$\alpha - 1$	-0.689		$\alpha - 1$	-0.706	
$60 c' \alpha$	23.453		$60 c' \alpha$	24.635		$60 c' \alpha$	19.572	
$tb(min)$	298		$tb(min)$	413		$tb(min)$	424	
$lb(m.m./h)$	13.76		$lb(m.m./h)$	3.89		$lb(m.m./h)$	2.73	

Tabla 37 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	2.00		1	2.50				
2	2.17	20.38	2	2.73	21.14			
3	2.26	20.45	5	2.92	23.45			
5	2.44	18.18	7	3.01	22.60			
7	2.50	20.74	9	3.10	21.39			
9	2.51	20.58	12	3.12	18.65			
12	2.57	20.07	20	3.20	21.45			
20	2.72		30	3.67				
		20-40 cm.			20-40 cm.			20-40 cm.
30	3.04		50	3.97				
50	3.60	21.14	70	4.31	22.90			
90	4.52	22.19	90	4.80	21.76			
120	5.25	20.50	120	5.13	22.42			
150	5.88	22.35	150	5.66	22.73			
180	9.35	20.99	280	7.91	19.50			
		21.34			21.81			
c'	1.489		c'	2.024		c'		
α	0.267		α	0.198		α		
$\alpha - 1$	-0.732		$\alpha - 1$	-0.802		$\alpha - 1$		
$60 c' \alpha$	23.897		$60 c' \alpha$	24.040		$60 c' \alpha$		
$t_b(\text{min})$	439		$t_b(\text{min})$	481		$t_b(\text{min})$		
$l_b(\text{m.m./h})$	2.76		$l_b(\text{m.m./h})$	1.70		$l_b(\text{m.m./h})$		

Tabla 38 Infiltración acumulada, tiempo acumulado y humedad volumétrica de 0-20 y de 20-40 cm.

INFILTROMETRO 1			INFILTROMETRO 2			INFILTROMETRO 3		
TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %	TIEMPO ACUMULADO MINUTOS	INFILTRACION ACUMULADA cm.	HUMEDAD VOLUMETRICA %
		00-20 cm.			0-20 cm.			0-20 cm.
1	1.16		1	1.46		1	1.59	
2	1.83	21.90	2	1.98	20.20	2	1.88	23.96
3	1.88	20.62	3	2.50	19.26	3	2.28	21.20
7	2.18	21.51	7	3.08	21.78	7	2.48	24.65
12	2.68	23.33	12	3.85	18.48	12	2.78	24.40
20	3.13	22.84	20	4.93	18.70	20	3.40	22.01
30	3.58	22.04	30	5.93	19.68	30	4.02	23.24
50	4.56	20-40 cm.	50	7.66	20-40 cm.	50	5.18	20-40 cm.
90	6.25		90	10.61		90	7.15	
120	7.17	17.18	120	12.26	21.29	120	8.12	17.24
150	8.44	18.31	150	14.11	19.62	150	9.98	16.13
200	10.35	19.44	200	16.76	22.26	200	12.63	20.02
250	12.35	20.21	250	19.13	20.60	250	15.35	19.83
300	14.43	18.10	300	21.33	17.50	300	17.80	17.57
400	18.21	18.65	400	25.44	20.25	400	23.09	18.16
c'	0.999		c'	1.271		c'	1.046	
α	0.437		α	0.482		α	0.462	
$\alpha - 1$	-0.563		$\alpha - 1$	-0.518		$\alpha - 1$	-0.538	
$60 c' \alpha$	26.185		$60 c' \alpha$	36.756		$60 c' \alpha$	29.021	
$tb(\text{min})$	337		$tb(\text{min})$	311		$tb(\text{min})$	322	
$lb(\text{m.m./h})$	9.86		$lb(\text{m.m./h})$	18.78		$lb(\text{m.m./h})$	12.99	

Tabla 39. Parámetros de la función de infiltración estimados según la

Ecuación de Kostiaikov. Pastos

$i=c't \alpha$		α , cm		$I=60c' \alpha t$		α^{-1} cm/h		$tb = -600(\alpha^{-1})$		Humedad Inicial		Coeficiente de Determinación R^2
c'	α	$60c' \alpha$	α^{-1}	tb Minutos	Ib mm/h	Hv% 00-20 cm	Hv% 20-40 cm					
2.671	0.139	22.245	-0.861	516	1.03	22.73	21.64	0.983				
1.908	0.143	16.397	-0.857	514	0.78	23.27	21.54	0.997				
2.739	0.154	25.324	-0.846	508	1.30	23.54	25.55	0.988				
1.884	0.445	50.250	-0.555	333	19.95	26.49	23.08	0.967				
3.058	0.393	71.661	-0.648	364	20.01	26.47	25.63	0.995				
2.566	0.096	14.780	-0.904	542	0.50	24.63	25.78	0.983				
1.947	0.420	49.064	-0.579	347	16.55	30.81	41.90	0.978				
3.540	0.173	36.761	-0.827	496	2.17	25.03	35.62	0.971				
2.895	0.105	18.257	-0.895	537	0.66	26.70	32.21	0.935				
1.817	0.139	15.117	-0.861	516	0.69	31.43	27.15	0.978				
2.210	0.136	18.070	-0.864	518	0.82	29.39	24.53	0.989				
2.701	0.263	42.686	-0.737	441	4.80	28.59	21.10	0.974				
1.958	0.126	14.179	-0.874	525	0.62	25.07	23.35	0.988				
3.308	0.241	47.855	-0.759	455	4.59	26.35	25.37	0.981				
2.318	0.204	28.352	-0.796	478	2.09	25.70	22.44	0.950				
1.366	0.249	20.440	-0.751	450	2.08	26.78	24.42	0.990				
3.136	0.242	45.482	-0.758	454	4.39	23.15	25.94	0.996				
2.412	0.241	34.952	-0.758	455	3.37	27.79	24.43	0.983				
3.596	0.202	43.541	-0.798	479	3.16	26.15	21.64	0.941				
3.228	0.123	23.785	-0.877	526	0.97	27.50	22.83	0.966				
2.918	0.129	22.524	-0.871	522	0.96	27.25	23.50	0.985				
1.483	0.307	27.320	-0.693	416	4.18	33.68	21.89	0.981				
3.090	0.436	80.798	-0.564	338	30.19	28.36	21.68	0.999				

Tabla 40. Parámetros de la función de infiltración estimados según la Ecuación de Kostiaikov. Pastos

i = c't	α , cm		α^{-1} , cm/h		tb = -600 (α^{-1})		Humedad Inicial		Coeficiente de Determinación R^2
	c'	α	60c'	α	tb Minutos	Ib mm/h	Hv% 00-20 cm	Hv% 20-40 cm	
3.459	0.143	29.725	-0.857	514	1.41	26.47	24.41	0.956	
0.965	0.404	23.379	-0.596	357	7.02	37.76	30.41	0.909	
1.566	0.409	38.439	-0.591	354	11.97	35.25	33.00	0.977	
1.390	0.444	37.081	-0.556	333	14.70	32.40	31.31	0.943	
1.560	0.570	53.345	-0.430	258	48.92	32.40	28.67	0.993	
2.748	0.308	50.511	-0.692	415	7.84	27.05	27.60	0.962	
1.320	0.588	46.571	-0.412	247	48.05	33.22	32.60	0.995	
2.249	0.351	47.414	-0.649	389	9.91	36.99	31.85	0.984	
1.478	0.421	37.280	-0.579	347	12.56	37.64	32.98	0.947	
1.543	0.427	39.427	-0.573	343	13.88	37.49	33.07	0.955	
2.076	0.316	39.352	-0.684	410	6.42	30.28	31.24	0.943	
2.227	0.259	34.615	-0.741	444	3.77	28.76	30.33	0.833	
1.932	0.447	51.845	-0.553	331	20.96	30.21	32.81	0.965	
0.327	0.701	13.752	-0.299	179	29.19	37.72	35.02	0.966	
0.480	0.625	18.004	-0.375	224	23.65	38.31	34.74	0.959	
0.439	0.542	14.262	-0.458	274	10.88	37.82	34.07	0.925	
1.039	0.440	27.411	-0.560	336	10.53	40.98	34.50	0.940	
0.577	0.619	21.435	-0.381	228	27.12	37.69	32.68	0.964	
0.724	0.604	26.245	-0.396	237	30.12	38.34	32.30	0.952	
0.156	0.641	6.120	-0.359	215	8.76	50.56	33.47	0.437	
0.016	1.132	1.086	-0.132	79	19.34	49.06	35.22	0.989	
0.045	0.839	2.280	-0.160	96	10.96	54.22	33.88	0.994	

Tabla 41. Parámetros de la función de infiltración estimados según la Ecuación de Kostiakov. Maíz y Soya

c'	i = c't ^α , cm		I=60c' α t		α ⁻¹ , cm/h		tb = -600(α ⁻¹)		Humedad Inicial		Coeficiente de Determinación R ²
	α	α	60c' α	α ⁻¹	tb Minutos	Ib mm/h	Hv% 00-20cm	Hv% 20-40 cm			
2.035	0.136	16.682	-0.863	518	0.76	31.73	25.52	0.992			
2.369	0.091	12.874	-0.909	545	0.42	29.43	25.17	0.923			
2.253	0.082	11.144	-0.918	550	0.34	29.17	27.37	0.935			
2.147	0.598	77.016	-0.402	241	84.72	29.31	36.41	0.994			
1.413	0.611	51.793	-0.389	233	62.03	33.93	38.16	0.995			
1.909	0.209	23.950	-0.791	474	1.83	29.53	38.06	0.950			
1.526	0.084	7.699	-0.916	549	0.24	30.68	35.52	0.967			
2.872	0.057	9.862	-0.943	565	0.25	27.64	35.64	0.787			
2.310	0.044	6.170	-0.956	573	0.14	29.41	41.75	0.929			
1.764	0.462	48.916	-0.538	322	21.89	31.98	37.91	0.969			
1.619	0.250	24.307	-0.750	449	2.49	31.73	37.39	0.907			
0.880	0.237	12.506	-0.763	458	1.16	35.41	37.44	0.904			
2.377	0.720	102.670	-0.280	168	244.30	35.77	37.52	0.984			
2.427	0.621	90.402	-0.379	227	115.45	35.22	38.46	0.975			
2.227	0.371	49.635	-0.629	377	11.91	38.31	36.24	0.979			
1.594	0.250	23.885	-0.750	450	2.44	34.17	37.44	0.865			
1.582	0.383	36.351	-0.617	370	9.45	34.08	37.17	0.913			
0.979	0.366	21.517	-0.634	380	4.98	35.53	36.44	0.941			
0.598	0.428	15.353	-0.572	343	5.44	38.28	40.91	0.970			
1.160	0.084	5.872	-0.916	549	0.18	38.52	39.71	0.971			
1.647	0.084	8.263	-0.916	549	0.25	36.57	40.11	0.852			
2.747	0.612	100.890	-0.388	232	121.75	40.94	39.64	0.978			
0.530	0.434	13.822	-0.565	339	5.12	39.04	38.53	0.957			

Tabla 42. Parámetros de la función de infiltración estimados según la

Ecuación de Kostiaikov. Maiz y Soya

$i = c't^{\alpha}$, cm		$I = 60c' \alpha t$		α^{-1} , cm/h		$t_b = -600(\alpha^{-1})$		Humedad Inicial		Coeficiente de Determinación R^2
c'	α	$60c' \alpha$	α^{-1}	tb Minutos	Ib mm/h	Hv% 00-20 cm	Hv% 20-40, cm			
1.785	0.454	48.624	-0.546	327	20.58	38.96	39.29	0.909		
1.820	0.438	47.853	-0.562	337	18.19	40.56	37.74	0.918		
2.413	0.398	57.655	-0.602	361	16.65	40.16	38.83	0.983		
1.757	0.398	41.971	-0.602	361	12.12	40.51	38.14	0.887		
0.014	0.127	0.103	-0.873	524	43.53	45.36	40.31	0.815		
0.007	0.463	0.195	-0.537	322	0.09	46.62	34.82	0.783		
1.190	0.331	23.634	-0.669	401	4.28	41.73	33.07	0.933		

Tabla 43. Parámetros de la función de infiltración estimados según la Ecuación de Kostiaikov. Cacao

$i = c + t \alpha$, cm		$*I = 60c' \alpha t$		α^{-1}		$tb = -600 (\alpha^{-1})$		Humedad Inicial		Coefficiente de Determinación
C'	α	$60C' \alpha$	α^{-1}	tb Minutos	Ib mm/h	Hv% 00-20	Hv% 00-40	R^2		
2.927	0.279	48.990	-0.721	432	6.16	28.54	22.59	0.987		
3.830	0.223	51.171	-0.777	466	4.31	26.85	24.73	0.996		
2.358	0.294	41.605	-0.706	424	5.81	28.85	25.48	0.987		
1.874	0.307	34.497	-0.693	415	5.27	29.04	30.71	0.998		
3.931	0.319	75.342	-0.680	408	12.59	28.06	30.03	0.998		
2.484	0.269	40.156	-0.731	438	4.71	29.56	26.55	0.997		
1.937	0.382	44.405	-0.618	370	11.48	30.06	30.43	0.979		
2.759	0.367	60.788	-0.633	379	14.16	28.79	30.27	0.998		
2.673	0.228	36.549	-0.772	463	3.19	29.20	29.42	0.992		
1.437	0.285	24.619	-0.714	428	3.24	29.62	30.84	0.964		
1.796	0.151	16.323	-0.849	509	0.82	30.00	29.07	0.988		
1.824	0.220	24.069	-0.780	468	1.98	31.26	28.39	0.998		
2.177	0.170	22.268	-0.830	497	1.29	29.42	31.17	0.997		
2.342	0.239	33.607	-0.761	456	3.18	28.92	28.31	0.994		
1.002	0.341	20.509	-0.659	395	3.99	32.81	25.68	0.968		
0.791	0.388	18.390	-0.612	367	4.94	35.75	30.66	0.942		
0.740	0.551	24.468	-0.449	269	19.82	35.12	33.97	0.992		
2.038	0.352	43.059	-0.648	388	9.04	30.96	34.74	0.986		
0.778	0.502	23.453	-0.498	298	13.76	38.43	30.76	0.964		
1.319	0.311	24.635	-0.689	413	3.89	34.78	31.65	0.904		
1.111	0.294	19.572	-0.706	424	2.73	36.26	30.69	0.972		
1.489	0.267	23.897	-0.732	439	2.76	33.52	35.64	0.838		
2.024	0.198	24.040	-0.802	481	1.70	35.82	36.42	0.883		
1.000	0.437	26.185	-0.564	337	9.86	36.80	31.14	0.950		
1.271	0.482	36.756	-0.518	311	18.78	32.86	33.82	0.989		
1.046	0.462	29.021	-0.538	322	12.99	38.81	36.33	0.940		

* Centímetros por hora

Tabla 44. Parámetros para tres modelos de ajuste a la función de infiltración y variación del

Contenido inicial de humedad

Contenido inicial de Humedad %		$i = At^2 + Bt + C, \text{ cm}$			$i = St^{1/2} + At, \text{ cm}$		$i = C't + \alpha', \text{ cm}$		Coeficiente de Deter- minación		
00-20cm.	20-40 cm.	$A \times 10^{-4}$	B	C	S	A	C'	α'	Cuadrá- tica	Philip	Kostia- kov
Primer	Grupo A										
25.07	23.35	-1.073	0.060	5.147	1.980	-0.080	3.309	0.241	0.920	0.831	0.981
26.15	21.64	-1.162	0.051	5.196	2.047	-0.098	3.596	0.202	0.828	0.686	0.941
23.15	25.94	-1.232	0.060	4.699	1.882	-0.076	3.136	0.242	0.945	0.843	0.996
26-85	25.48	-1.311	0.065	5.543	2.162	-0.087	3.830	0.223	0.948	0.817	0.997
23.30	24.42	-1.034	0.055	5.199	2.000	-0.083	3.441	0.229	0.884	0.766	0.956
Segundo	Grupo A										
27.79	24.43	-0.347	0.032	3.817	1.341	-0.048	2.412	0.241	0.959	0.780	0.983
27.05	27.60	-1.267	0.086	4.267	1.819	-0.056	2.748	0.308	0.991	0.903	0.962
28.54	22.59	-1.473	0.074	4.694	1.895	-0.068	2.934	0.278	0.943	0.916	0.987
27.79	24.88	-1.264	0.064	4.274	1.720	-0.064	2.803	0.257	0.735	0.687	0.838

Tabla 45. Parámetros para tres modelos de ajuste a la función de infiltración y variación del contenido inicial de humedad

Contenido inicial de Humedad %	$i = At^2 + Bt + C, \text{ Cm}$		$i = St^{1/2} + At, \text{ Cm}$		$i = C' t^\alpha, \text{ Cm}$		Coeficiente de minación			Deter- kov	
	$A \times 10^{-5}$	B	C	S	A	C'	α	Cuadrática	Philip		Kostia-
00-20Cm.											
20-40Cm.											
Tercer Grupo A											
28.59	-8.214	0.052	4.299	1.680	-0.064	2.701	0.263	0.949	0.923	0.974	
28.76	-2.632	0.018	4.066	1.086	-0.025	2.227	0.259	0.939	0.701	0.833	
28.85	-9.343	0.060	3.778	1.482	-0.045	2.358	0.294	0.984	0.915	0.987	
29.04	-0.107	0.053	3.163	1.257	-0.039	1.874	0.307	0.961	0.944	0.998	
29.56	-0.056	0.056	3.889	1.514	-0.051	2.484	0.269	0.963	0.914	0.998	
28.92	-7.244	0.042	3.460	1.348	-0.052	2.342	0.239	0.968	0.821	0.995	
28.95	-4.352	0.041	3.876	1.375	-0.044	2.326	0.270	0.876	0.769	0.914	
Cuarto Grupo A											
29.53	-3.433	0.0244	2.674	0.999	-0.040	1.909	0.209	0.994	0.716	0.950	
31.73	-0.810	0.0238	2.454	0.891	-0.029	1.619	0.250	0.994	0.755	0.907	
29.62	-3.942	0.0315	2.274	0.862	-0.026	1.437	0.286	0.994	0.897	0.964	
31.26	-5.295	0.028	2.625	1.024	-0.041	1.824	0.220	0.964	0.812	0.999	
30.53	-3.601	0.027	2.504	0.942	-0.034	1.687	0.242	0.948	0.775	0.940	

Tabla 46. Parámetros para tres modelos de ajuste a la función de infiltración
y variación del contenido inicial de humedad

Contenido inicial Humedad %		$i = At^2 + Bt + C, \text{ cm.}$			$i = St^{1/2} + At, \text{ cm.}$		$i = C't^m, \text{ cm.}$		Coeficiente de determinación		
00-20cm.	20-40 cm.	$A \times 10^{-5}$	B	C	S	A	C'	α	Cuadratica	Phillip	Kostakov
Quinto											
33.68	21.89	-9.999	0.047	2.546	1.062	-0.037	1.483	0.307	0.927	0.979	0.981
32.81	25.68	-4.440	0.035	1.671	0.669	-0.014	1.002	0.341	0.995	0.951	0.968
34.78	31.65	-0.335	0.021	2.364	0.708	-0.011	1.319	0.311	0.998	0.901	0.905
33.76	24.41	-1.391	0.025	2.380	0.777	-0.017	1.245	0.322	0.929	0.860	0.910
Sexto											
37.76	30.41	-0.773	0.035	1.810	0.597	-0.0035	0.965	0.401	0.991	0.956	0.909
35.53	36.44	-2.838	0.037	1.681	0.646	-0.0072	0.979	0.366	0.999	0.950	0.941
38.28	40.91	-1.892	0.028	1.222	0.444	-0.0016	0.598	0.428	0.990	0.979	0.970
40.94	39.64	-2.495	0.030	0.972	0.384	-0.0020	0.530	0.435	0.996	0.980	0.957
35.75	30.66	-1.651	0.028	1.507	0.535	-0.0033	0.791	0.388	0.993	0.967	0.942
37.65	35.61	-1.007	0.029	1.479	0.508	-5.9×10^{-4}	0.743	0.408	0.914	0.875	0.881

Tabla 47. Parámetros para tres modelos de ajuste a la función de infiltración y variación del contenido inicial de humedad

Contenido inicial humedad %	$i = A t^2 + B t + C, \text{ cm.}$			$i = S t^{1/2} + A t, \text{ cm.}$		$i = C' t^\alpha, \text{ cm.}$		Coeficiente de determinación				
	00-20cm.	20-40 cm.	$A \times 10^{-4}$	B	C	S	A	C'	α	Cuadrático	Phillip	Kostiakov
Primer		Grupo B										
26.85		25.48	-1.311	0.065	5.543	2.162	-0.087	3.830	0.223	0.948	0.817	0.997
28.06		30.03	-2.337	0.128	6.678	2.740	-0.083	3.931	0.319	0.964	0.963	0.998
27.45		27.75	-1.579	0.090	6.251	2.442	-0.084	3.875	0.271	0.701	0.677	0.838
Segundo		Grupo B										
28.79		30.27	-1.141	0.097	5.366	1.996	-0.039	2.760	0.367	0.977	0.982	0.999
27.05		27.60	-1.267	0.086	4.267	1.819	-0.056	2.748	0.308	0.991	0.903	0.962
28.54		22.59	-1.473	0.074	4.694	1.895	-0.068	2.934	0.278	0.943	0.916	0.987
28.13		26.82	-0.532	0.066	5.199	1.818	-0.043	2.748	0.328	0.856	0.824	0.935

Tabla 48. Parámetros para tres modelos de ajuste a la función de infiltración y variación del contenido inicial de humedad

Contenido Inicial humedad %		$i = At^2 + Bt + C, \text{ cm.}$			$i = St^{1/2} + At, \text{ cm.}$		$i = C't^\alpha, \text{ cm.}$		Coeficiente de determinación		
00-20cm.	20-40cm.	$A \times 10^{-5}$	B	C	S	A	C'	α	Cuadrático	Philip	Kostialov
	Grupo B										
30.28	31.24	-1.200	0.044	3.667	1.277	-0.030	2.076	0.316	0.995	0.894	0.944
30.06	30.43	-5.120	0.067	3.807	1.327	-0.014	1.937	0.382	0.992	0.971	0.979
30.96	34.74	-5.282	0.060	3.835	1.386	-0.026	2.038	0.352	0.984	0.949	0.986
30.43	32.14	-2.016	0.051	3.866	1.288	-0.020	2.017	0.348	0.965	0.902	0.948
	Grupo B										
35.25	33.00	-2.546	0.055	3.308	1.109	-0.0059	1.566	0.409	0.994	0.974	0.977
34.40	31.31	-1.376	0.062	2.889	0.949	-0.0120	1.391	0.444	0.998	0.980	0.943
34.08	37.17	-0.168	0.057	2.836	0.999	-0.0065	1.582	0.383	0.999	0.932	0.913
34.58	33.83	-2.624	0.061	2.944	1.012	-0.0033	1.489	0.418	0.983	0.960	0.944

Tabla 49. Parámetros para tres modelos de ajuste a la función de infiltración y variación del contenido inicial de humedad

Contenido inicial de Humedad %	$i = At^2 + Bt + C, C_m$		$i = St^{1/2} + At, C_m$		$i = C' t^{\alpha}, C_m$		Coeficiente de Determinación			
	$A \times 10^{-5}$	B	C	S	A	C'	α	Quadrática	Philip	Kostiakov
00-20 cm										
Quinto										
37.76	-0.773	0.035	1.810	0.597	-0.0035	0.965	0.404	0.991	0.956	0.909
40.98	-0.494	0.044	2.275	0.669	-0.0106	1.039	0.440	0.998	0.875	0.941
36.80	-1.112	0.045	2.041	0.667	-0.0079	0.999	0.437	0.998	0.977	0.950
38.81	-0.138	0.053	2.184	0.684	-0.0181	1.046	0.462	0.999	0.978	0.941
38.58	-1.331	0.046	2.035	0.663	-0.0095	1.007	0.438	0.941	0.707	0.916

Tabla 50. Coeficiente c' de la ecuación de Kostiakov

Primer Grupo		Segundo Grupo	
Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales	Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales
$c' = AH_1^B$			
A =	172148.28	138198.88	172322.46
B =	-3.2933	-3.3062	-3.2936
R ² =	0.907	0.907	0.907
$c' = A + BH_1$			
A =	8.2934	8.0675	8.2941
B =	-0.19146	-0.1987	-0.19147
R ² =	0.791	0.960	0.791
$c' = A + BH_1 + CH_1^2$			
A =	26.5936	10.8401	26.5892
B =	-1.3082	-0.3840	-1.30789
C =	0.01672	0.003028	0.01672
R ² =	0.872	0.965	0.873
$c' = A + BH_1 + CH_2$			
A =	8.11977	8.18967	8.8884
B =	-0.17193	-0.19025	-0.176719
C =	-0.02754	-0.013318	-0.035040
R ² =	0.82847	0.963	0.803

H_1 = Humedad inicial de los 00-20 cm

H_2 = Humedad inicial de los 20-40 cm

Tabla 51. Exponente α de la ecuación de Kostiakov

Primer Grupo		Segundo Grupo	
Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales	Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales
<u>$\alpha = AH_1^B$</u>			
A =	0.0037	0.0055	0.0051
B =	1.2735	1.1557	1.2259
R ² =	0.646	0.790	0.711
<u>$\alpha = A+BH_1$</u>			
A =	-0.01303	0.01221	0.01286
B =	-0.1090	-0.0824	-0.05068
R ² =	0.720	0.819	0.740
<u>$\alpha = A+BH_1+CH_1^2$</u>			
A =	0.6068	0.81352	1.14927
B =	-0.03249	-0.04766	-0.07989
C =	-7.0956x10 ⁻⁴	-9.78844x10 ⁻⁴	-0.001004
R ² =	0.772	0.944	0.801
<u>$\alpha = A+BH_1+CH_2$</u>			
A =	0.1046	0.06905	0.07124
B =	-0.01376	-0.01314	-0.01026
C =	-9.0834	-0.001457	-0.00356
R ² =	0.723	0.826	0.683

H₁ = Humedad inicial de 00-20 cm

H₂ = Humedad inicial de 20-40 cm

Tabla 52. Coeficiente S de la Ecuación de Philip

Primer Grupo		Segundo Grupo	
Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales	Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales
$S = A H_1^B$			
A =	121786.66	31120.25	108752.68
B =	-3.4053	-3.014	-3.2819
R ² =	0.830	0.922	0.889
$S = A+BH_1$			
A =	4.618	4.6074	5.38279
B =	-0.11072	-0.11167	-0.123735
R ² =	0.771	0.924	0.778
$S = A+BH_1+CH_1^2$			
A =	8.9154	6.4930	15.09129
B =	-0.3840	-0.2374	-0.716175
C =	0.004259	0.002059	0.008873
R ² =	0.799	0.931	0.832
$S = A+BH_1+CH_2$			
A =	4.70777	4.7408	5.5554
B =	-0.09085	-0.10243	-0.11946
C =	-0.0238	-0.01455	-0.01017
R ² =	0.815	0.933	0.780

H₁ = Humedad inicial de 00-20 cm

H₂ = Humedad inicial de 20-40 cm

Tabla 53. Coeficiente A de la ecuación de Philip

Primer Grupo		Segundo Grupo	
Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales	Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales
<u>$A = aH_1^b$</u>			
a =	6.4513×10^{11}	1.4691×10^{12}	1.3695×10^8
b =	-9.057	-9.3766	-6.564867
R ² =	0.717	0.725	0.469
<u>$A = a+bH_1$</u>			
a =	0.213819	0.22199	0.191684
b =	-0.005639	-0.005986	-0.00494
R ² =	0.765	0.968	0.601
<u>$A = a+bH_1+cH_1^2$</u>			
a =	0.4310	0.2994	1.09078
b =	-0.01944	-0.01116	-0.0598
c =	2.1523×10^{-4}	8.4584×10^{-5}	8.21726×10^{-4}
R ² =	0.793	0.973	0.825
<u>$A = a+bH_1+cH_2$</u>			
a =	0.21352	0.2238	0.25058
b =	-0.004564	-0.00586	-0.003480
c =	-0.001145	-1.9761×10^{-4}	-0.003468
R ² =	0.762	0.969	0.731

H_1 = Humedad inicial de 00-20 cm

H_2 = Humedad inicial de 20-40 cm

Tabla 54. Término independiente C de la ecuación Cuadrática

Primer Grupo		Segundo Grupo	
Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales	Promedio por intervalo de humedad	Promedios generales
<u>$C = A H_1^B$</u>			
A = 154588.73	27.144.59	26900.62	156560.18
B = -3.1857	- 2.6769	-2.5811	-3.0811
R ² = 0.848	0.908	0.835	0.981
<u>$C = A+BH_1$</u>			
A = 11.6266	11.4766	12.4913	15.01677
B = -0.2738	-0.2701	-0.27047	-0.34421
R ² = 0.799	0.928	0.756	0.908
<u>$C = A+BH_1+CH_1^2$</u>			
A = 19.6459	15.3696	30.9286	47.3312
B = -0.7838	-0.53025	-1.3956	-2.34242
C = 0.007949	0.004251	0.01685	0.030356
R ² = 0.8016	0.933	0.796	0.966
<u>$C = A+BH_1+CH_2$</u>			
A = 11.86612	11.96516	12.5000	17.4483
B = - 0.233878	-0.236256	-0.27030	-0.27527
C = - 0.050105	-0.053263	-4.7056x10 ⁻⁴	-0.15204
R ² = 0.824	0.950	0.756	0.944

H₁ = Humedad inicial de 00-20 cm

H₂ = Humedad inicial de 20-40 cm

APENDICE 2

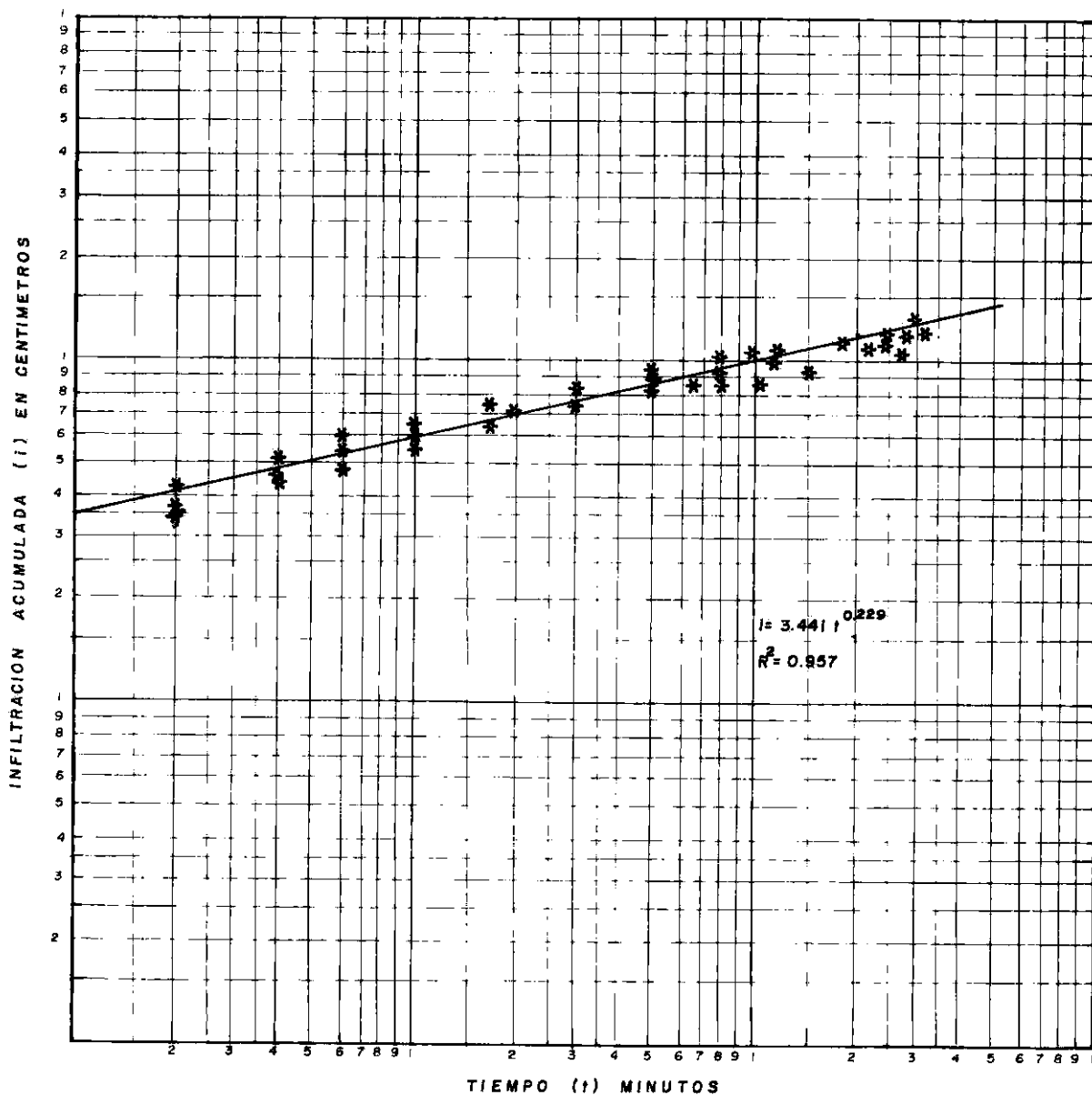


Figura 14 Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de humedad de (00-20 cm.) 26.30% y (20-40 cm.) 24.42%

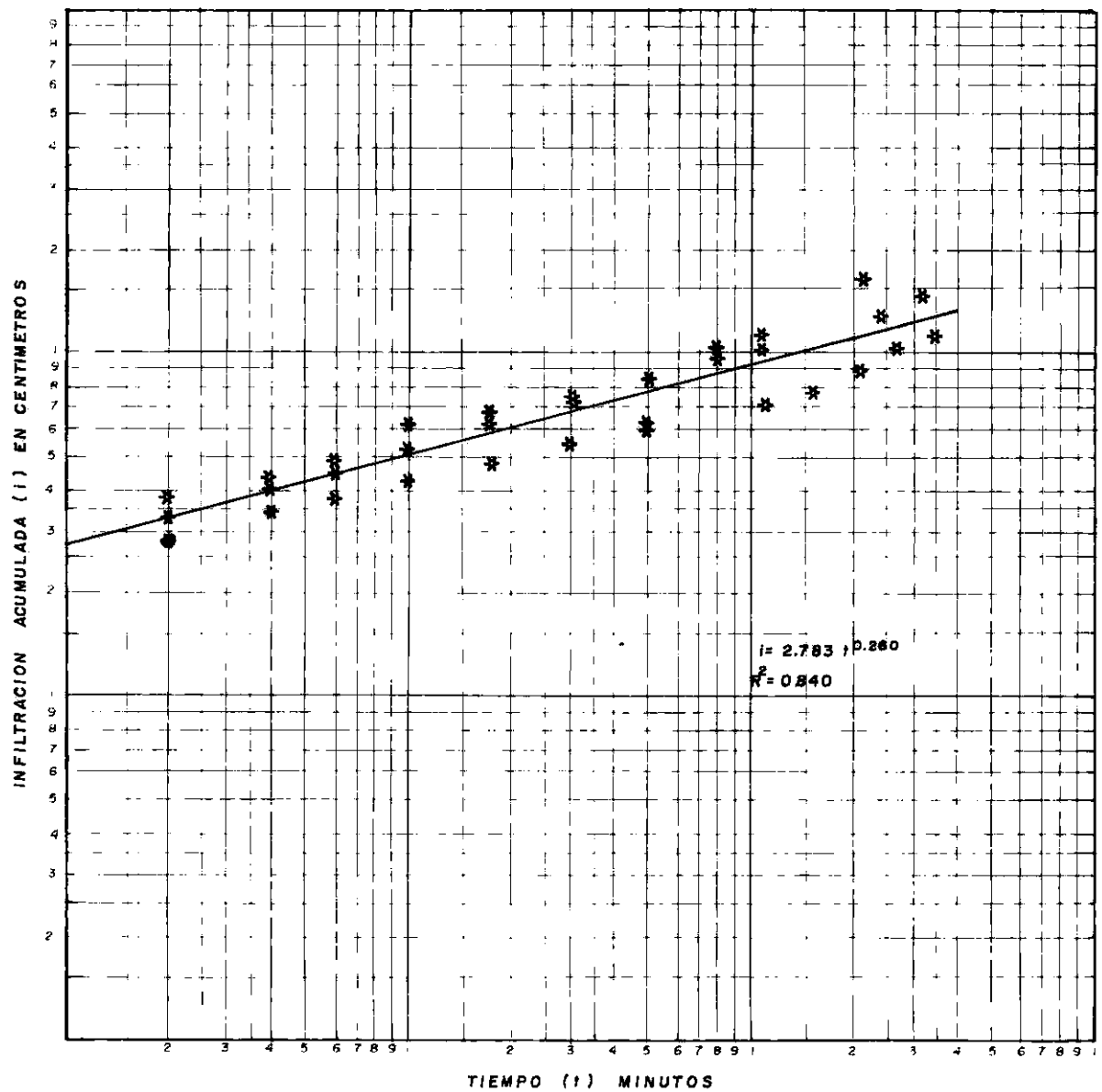


Figura 15 Representación de la función de infiltración con una humedad volumétrica de (00-20 cm) = 27.79 % y (20-40 cm) = 24.88 %

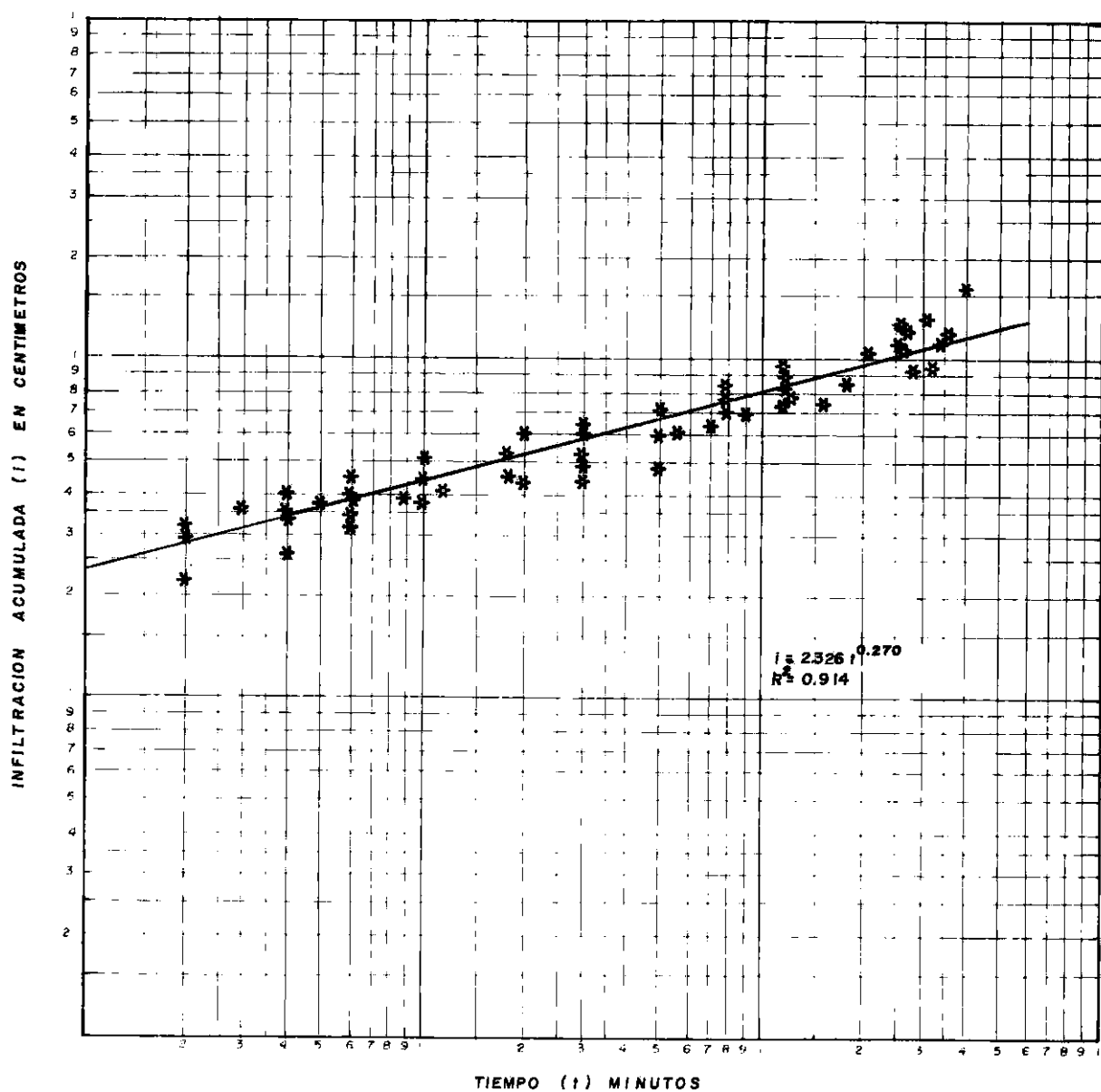


Figura 16 Representacion de la funcion de infiltración con una humedad volumétrica de (00-20cm)= 28.95% y (20-40cm) 27.58 %

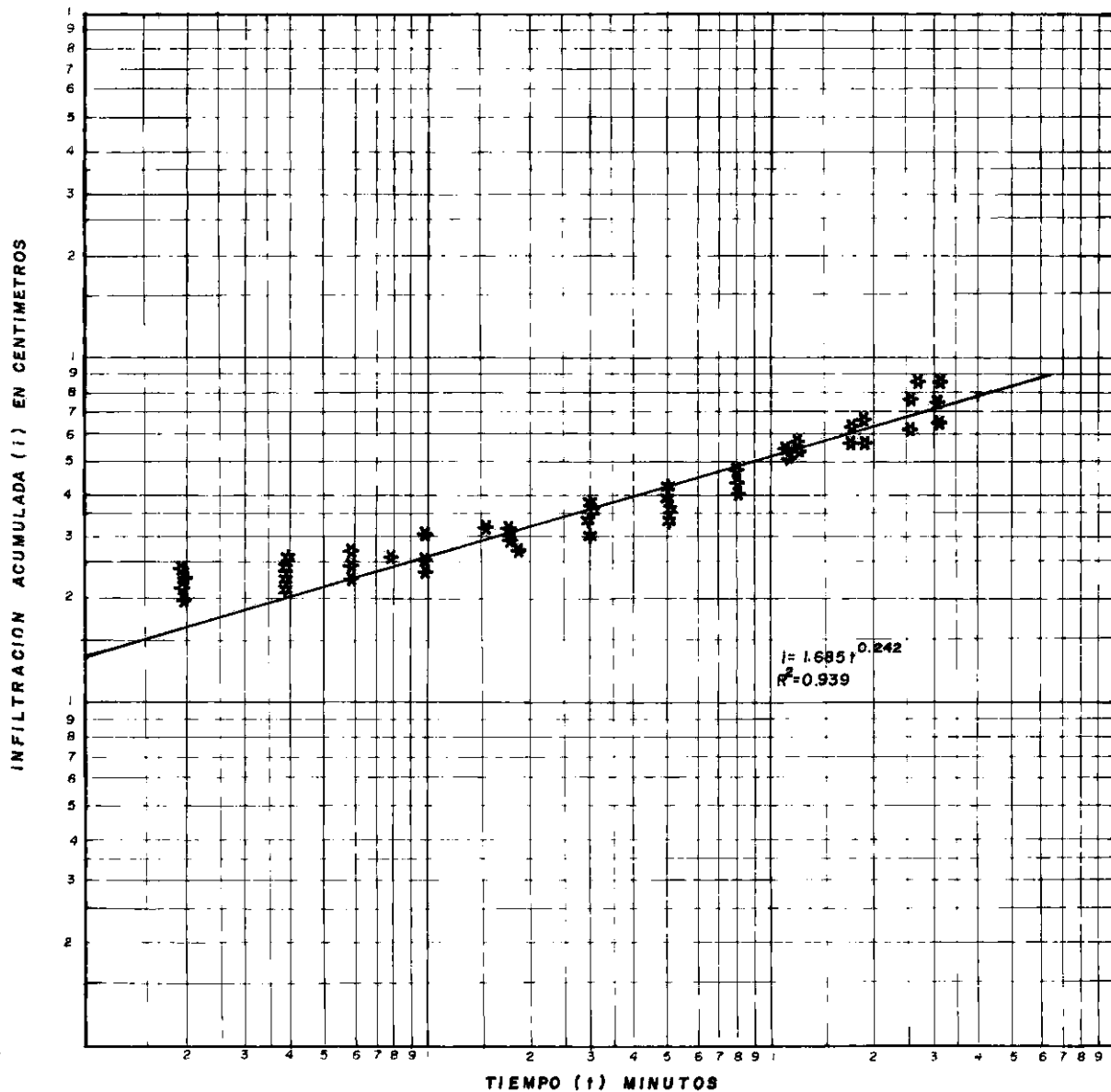


Figura 17 Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de humedad de (00-20cm.)=30.53% y (20-40 cm.)=33.67 %

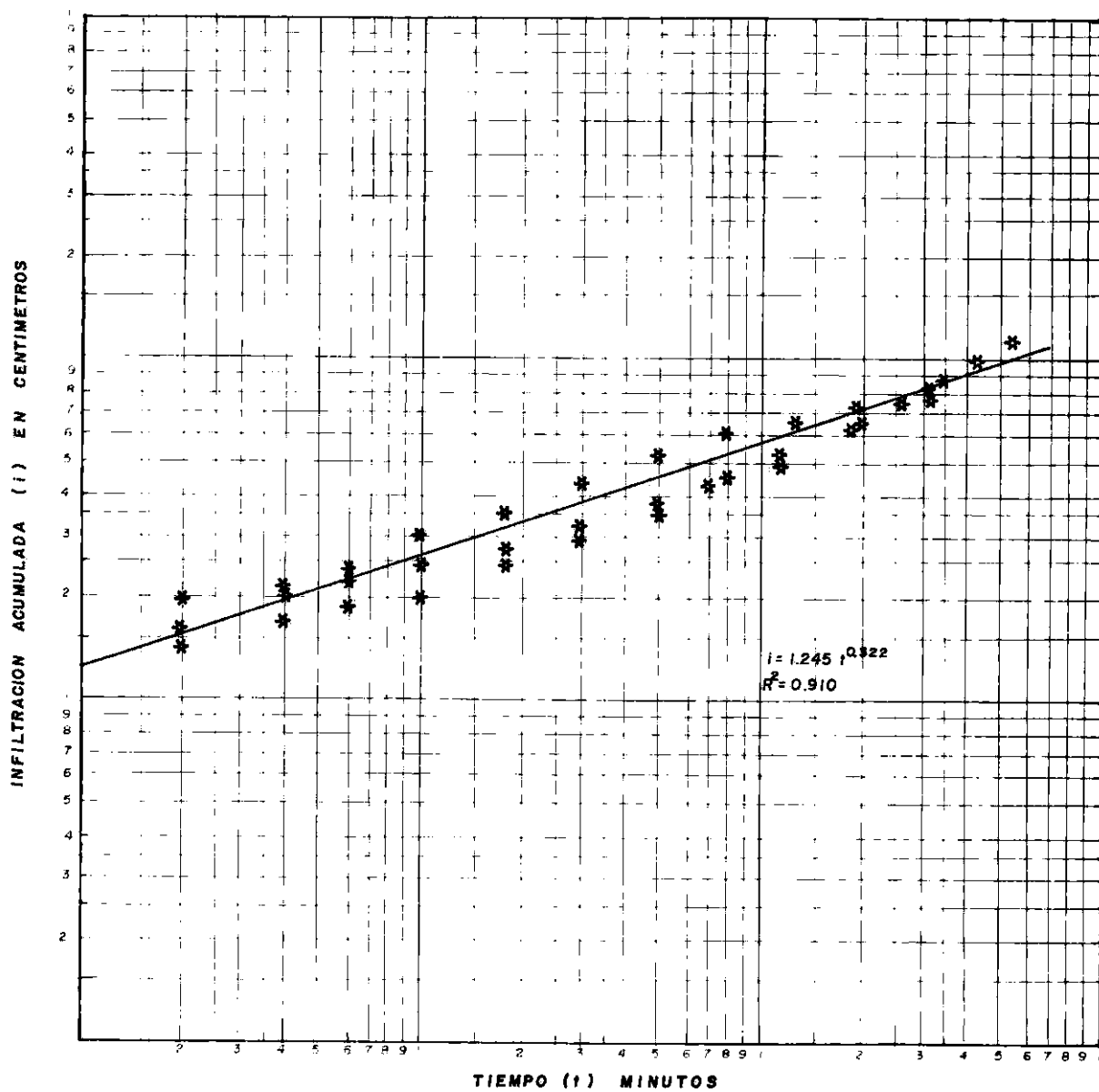


Figura 18 Representación de la función de infiltración para un contenido volumétrico de (00-20 cm) = 33.76% y (20-40cm.) = 24.41 %

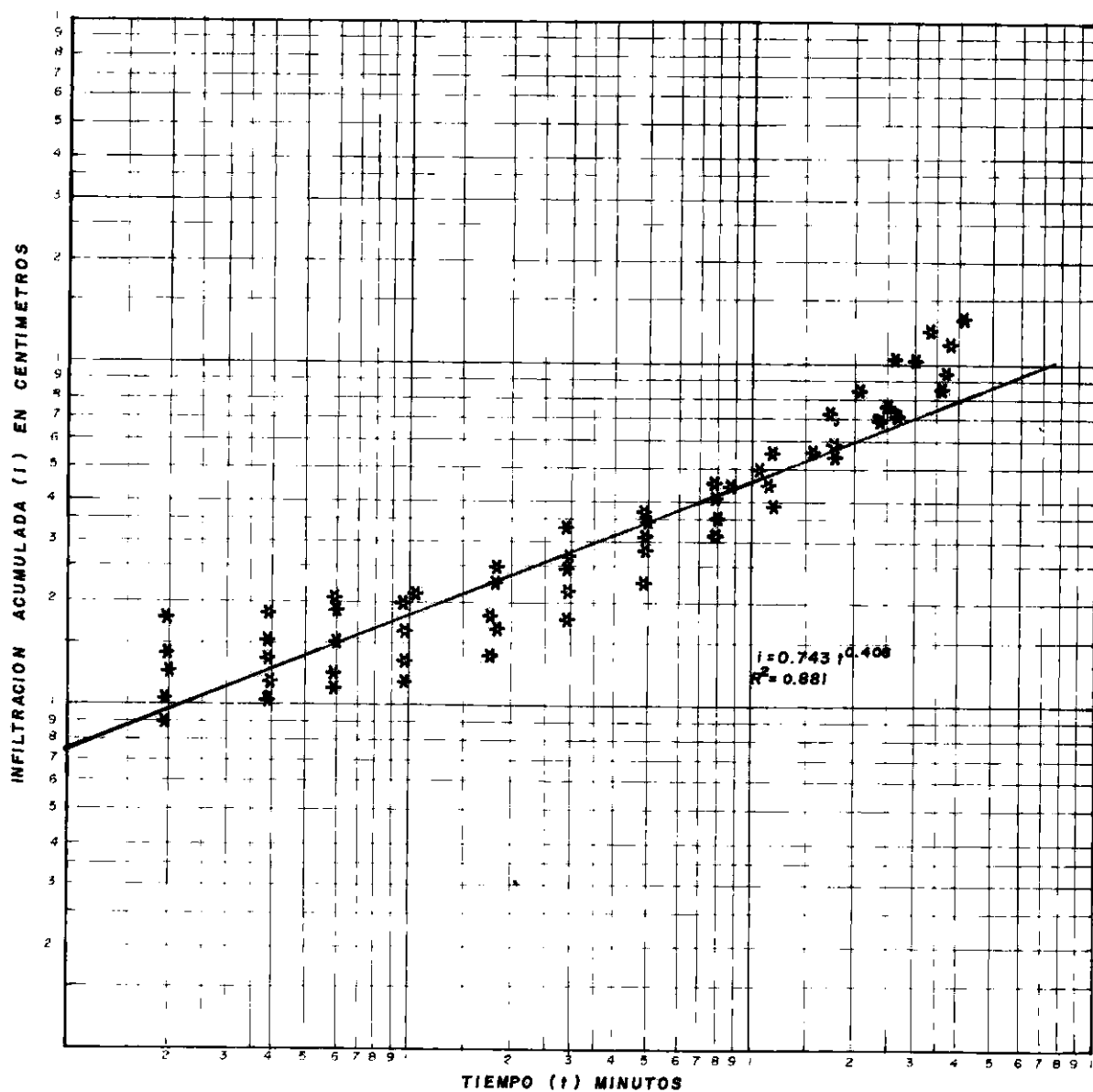


Figura 19 Representación de la función de Infiltración para un contenido volumétrico de humedad de (00-20 cm) = 36.13 % y (20-40 cm) = 36.85 %