

5594
T.67

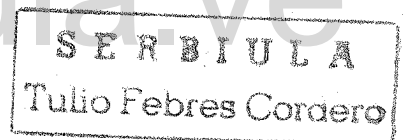
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES DE POSTGRADO

**MODELO MATEMATICO PARA ESTIMAR TASAS DE
INFILTRACION A PARTIR DE PROPIEDADES
FISICAS DE LOS SUELOS**

Por

GENULFO ANTONIO TORO



Tesis presentada como requisito parcial para optar al Título de Magister Scientiae.



MERIDA — VENEZUELA

1980

D E D I C A T O R I A

www.bdigital.ula.ve

A MI MADRE

A MI ESPOSA

A MIS HIJAS

A MIS HERMANOS

A G R A D E C I M I E N T O S

Esta tesis ha sido realizada gracias al apoyo de la Fundación Gran Mariscal de Ayacucho y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Los Andes.

Mi sincera gratitud para el Profesor JESUS MARIA LOPEZ A., quien como Profesor Guía no sólo efectuó valiosas observaciones conceptuales y formales, durante el desarrollo de esta tesis, sino que prestó todo su apoyo para la elaboración de la misma.

Un reconocimiento muy especial al Profesor MARCELINO QUIJADA por su importante asesoramiento estadístico y sus acertadas observaciones formales.

Mis sinceros agradecimientos también:

A los Profesores GUIDO OCHOA y JORGE PEREIRA por su valiosa cooperación al facilitar el equipo del Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía, para los análisis de las muestras.

A los Profesores WILFREDO FRANCO Y GUSTAVO BARROETA por su buena disposición para la revisión del trabajo.

Al Profesor LAWRENCE VINCENT por sus oportunas observaciones metodológicas.

Al Br. ISRAEL RAMIREZ por su cooperación en la elaboración de los programas de computación y en el uso de la computadora.

Al Señor VICTOR FIGUEREDO por su colaboración en el análisis de las muestras de suelos.

A la Señora BETILDE DAVILA DE LOPEZ por su permanente y oportuna cooperación en el trabajo de dactilografía.

Al Señor JOSE GERMAN DIAZ ROA por su valioso concurso en la elaboración de los planos y gráficos.

Para todos ellos mi profundo agradecimiento.

www.bdigital.ula.ve

C O N T E N I D O

	Pág.
ACTA	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE PLANOS	xiii
RESUMEN	xiv - xvii
 I.- INTRODUCCION	 1
II.- REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1. Definiciones	4
2.2. Importancia hidrológica del proce- so de infiltración.	6
2.3. Mecánica de la infiltración.	13
2.4. Factores que afectan la infiltra- ción.	14
2.5. Mediciones de la infiltración.	17
2.6. Ecuaciones de infiltración.	26
2.7. Otros estudios relacionados con el presente trabajo.	34
 III.- METODOLOGIA	 39
3.1. Selección del área.	39

3.2. Selección de la ecuación	51
3.3. Selección de las variables, diseño de muestreo y determinación del número de muestras.	53
3.4. Equipo utilizado.	59
3.5. Pruebas de infiltración y recolección de muestras.	67
3.6. Análisis de laboratorio.	71
3.7. Análisis y procesamiento de datos.	72
IV.- RESULTADOS Y ANALISIS	73
4.1. Elaboración de las curvas de infiltración acumuladas.	73
4.2. Determinación de las constantes de infiltración.	75
4.3. Las propiedades del suelo.	89
4.4. Selección de la mejor ecuación de regresión.	90
4.5. El modelo.	98
V.- CONCLUSIONES	111
VI.- BIBLIOGRAFIA	114
VII.- APENDICES	120

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Curva de tasa de infiltración.	7
2	Diagrama esquemático de la disposición de una lluvia.	8
3	Relación de intensidad de lluvia-es <u>cor</u> rentía superficial.	12
4	Diagrama de un simulador de lluvia, tipo aspersor.	21
5	Determinación de la capacidad de <u>in</u> filtración por análisis de hidrogr <u>ma</u> mas.	25
6	Curva de infiltración de campo com <u>para</u> da con las curvas de mejor <u>ajus</u> te determinadas por las ecuaciones de Horton y Philip.	33
7	Parte inferior del área de estudio.	44
8	Parte central del área de estudio.	44
9	Parte superior del área de estudio.	45
10	Vista de la pedregosidad de la zona.	45
11	Vegetación de la zona (cardones y <u>cuj</u> íes).	46
12	Vegetación de la zona (ceibo, guá <u>simo</u> , etc).	46

FIGURA		Pág.
13	Cultivo de la caña de azúcar del área.	48
14	Cultivo de la yuca en la zona.	48
15	Detalle de parcela circular de 1000 m ² .	57
16	Diagrama esquemático del conjunto de piezas que forman el infiltrómetro de cilindro.	63
17	Diagrama que muestra la colocación del equipo que forma el infiltrómetro de cilindro.	64
18	Colocación del infiltrómetro en el campo.	69
19	Ubicación de los tres infiltrómetros en la parcela.	69
20	Disposición de los infiltrómetros en la parcela circular.	70
21-22	Curvas de infiltración acumuladas producto de las pruebas de campo en San Juan de Lagunillas.	76-77
23-24	Curvas de infiltración acumuladas ajustadas.	78-79
25-26	Curvas de infiltración acumuladas, producto de los valores más bajos y más altos de infiltración, encontrados en el área.	80-81
27-28	Curvas de infiltración acumuladas, pro	

FIGURA

Pág.

ducto de los valores más bajos y más altos de infiltración, encontrados dentro de una de las parcelas.

82-83

- 29 Curva de infiltración acumulada, señalando la forma constante con que se mantiene un valor de infiltración.

84

- 30 Curvas de tasas de infiltración observada y estimada en un sector de San Juan de Lagunillas-Mérida.

109

LISTA DE CUADROS

CUADRO		Pág.
1	Resumen de las ecuaciones de infiltración.	37
2	Número de muestras resultantes del muestreo exploratorio.	59
3	Resultados obtenidos mediante la regresión simple, utilizando valores individuales.	86
4	Resultados obtenidos mediante la regresión simple, utilizando valores promedios.	87
5	Modelos de predicción múltiple entre las constantes A y B y las propiedades del suelo, usando el conjunto total de datos.	94
6	Coeficientes de correlación simple entre las constantes A y B y las propiedades del suelo, usando el conjunto total de datos.	95
7	Agrupamiento de parcelas por clases textural, correspondiente al primer grupo.	99
8	Agrupamiento de parcelas por clase	

CUADRO

Pág.

	textural, correspondiente al segundo grupo.	100
9	Agrupamiento de parcelas por clases textural, correspondiente al tercer grupo.	101
10	Modelos de predicción múltiple entre las constantes de infiltración A y B y propiedades del suelo, usando grupos de parcelas por clase textural.	102
11	Coefficientes de correlación simple para las constantes de infiltración A y B y propiedades del suelo, correspondientes al grupo tres.	103
12	Coefficientes de regresión de las variables independientes asociados con los modelos de regresión seleccionados para estimar las constantes de infiltración A y B.	107.

LISTA DE PLANOS

PLANO		Pág.
1	Ubicación del área de estudio dentro del mapa de suelos realizados por J.B. Castillo. Escala 1:25.000.	43
2	Ubicación del área de estudio. Escala 1:5.000.	50
3	Diseño de muestreo del área de estudio.	56

R E S U M E N

El presente trabajo intentó hacer inferencias acerca de ciertas características hidrológicas de los suelos en relación con el proceso de infiltración y desarrollar un modelo que permitiese relacionar las propiedades del suelo con tasas de infiltración.

Se usó como base la ecuación de Kostiaikov: $F = AT^B$. Las pruebas de infiltración se realizaron sobre cuarenta parcelas, en un sector de San Juan de Lagunillas en el Estado Mérida, clasificado como suelos aluviales, formados sobre terrazas. La infiltración acumulada durante dos horas fue medida en cada parcela con tres infiltrómetros de aro simple del tipo "botella". Adyacente a cada infiltrómetro se tomaron muestras de suelo superficial para determinar las propiedades físicas.

Las constantes de infiltración en la ecuación anterior se determinaron para cada parcela usando las curvas de infiltración acumuladas ajustadas. Puntos tomados a lo largo de las mismas se usaron en un análisis de regresión simple, usando una transformación logarítmica. Las constantes resultantes para cada parcela fueron examinadas por un análisis de regresión lineal múltiple, usando las mismas como variables dependientes y las propiedades: arena, arcilla, limo, carbón or

gánico, contenido de humedad, espacio poroso total, espacio poroso lleno de agua, espacio poroso lleno de aire y densidad aparente, como variables independientes. Se señalaron las correlaciones significativas y se determinaron los modelos de regresión que mejor estimaron a A y B.

Los altos porcentajes de variabilidad explicados por la regresión, en el caso de la determinación de las constantes de infiltración A y B, indican que la ecuación $F = AT^B$, es adecuada.

La predicción de las constantes de infiltración A y B en función de las propiedades del suelo usadas, no fué satisfactoria desde el punto de vista práctico, cuando se utilizó el conjunto total de datos de las cuarenta parcelas. Cuando se formaron tres grupos de parcelas con clases texturales, la predicción de las constantes tampoco fué satisfactoria en los dos primeros grupos. La explicación a este hecho parece ser que en estos casos no hubo un componente textural predominante en las muestras. La mejor predicción lograda de las constantes de infiltración A y B fué en el tercer grupo, de clase textural franco arenoso, donde el componente arena fué superior al 50% en casi todas las muestras. Los mejores modelos para este grupo, fueron los siguientes:

$$A = -2.684 + 0,018 (\% \text{arcilla}) - 0,149 (\% \text{carbón orgánico}) + 2,901 (\text{densidad aparente en } \text{g}/\text{cm}^3).$$

$$B = -0,583 + 0,013 (\% \text{arcilla}) + 0,176 (\% \text{carbón orgánico}) + 0,015 (\% \text{espacio poroso lleno de aire}).$$

En el caso de la constante de infiltración A, la relación con la densidad aparente fué directa y con el carbón orgánico y el espacio poroso total, inversa, lo cual no se corresponde a resultados obtenidos por otros autores. Un afinamiento de los métodos en la determinación de las propiedades consideradas y el uso de nuevas variables, podrían contribuir a mejorar las predicciones de las constantes de la fórmula.

www.bdigital.ula.ve

S U M M A R Y

A study was conducted in order to make inferences about the relationship between some hydrological characteristics of soils and the infiltration process, and to develop a model to relate Soil properties with infiltration rates.

The Kostiaikov equation ($F = AT^B$) was used. The infiltration tests were made over forty plots in a place near the town of San Juan de Lagunillas in the State of Merida, Venezuela. The soils in the area are classified as alluvials formed on terraces. The accumulated infiltration was measured in each plot during two hours, using three bottle type infiltrometer rings. Soils samples were taken adjacent to each infiltrometer.

The infiltration constants on the equation were calculated for each plot, using adjusted cumulative infiltration curves in a simple regression analysis. The resulting constantes were also used in a multiple regression analysis, considering them as the dependent variables and various soil properties as independent variables; these properties were percents of sand, clay, silt, organic carbon, and moisture, as well as total pore space, water-filled pore space, air-filled pore space and bulk density.

Statistically significant correlations (at 5% and 1%) are denoted, and the best regression equations for A and B are presented.

The high determination coefficients obtained, indicate that the equation $F = AT^B$ is a good approximation. However, the prediction of A and B on the basis of soil properties was not satisfactory when using all the forty plots data. When the plots were grouped on the basis of textural classes the best prediction was obtained for the sandy loam group, where sand was clearly superior to the other components (over 50%) in every sample. In this group the predicting equations were:

$$A = -2.684 + 0.018 (\text{clay percent}) - 0.140 (\text{organic carbon percent}) + 2.90 (\text{bulk density}).$$

$$B = -0.583 + 0.013 (\text{clay percent}) + 0.176 (\text{organic carbon percent}) + 0.015 (\text{air-filled pore space percent}).$$

It is recommended to refine soil properties determination methods and the use of some other variables, in order to obtain better prediction equations.

I.- INTRODUCCION

La precipitación que cae sobre la tierra puede distribuirse en una de estas formas: intercepción, evaporación, transpiración, infiltración, precipitación en el cauce y escurrimiento superficial. Las cuatro primeras constituyen las "pérdidas" con respecto al escurrimiento total mientras que las dos últimas constituyen lo que se llama exceso de precipitación. Es decir, aquélla parte de la precipitación que no está disponible para el escurrimiento directo se denomina "pérdidas" o sustracciones y la que está disponible es llamada exceso de precipitación. Entre las sustracciones durante la precipitación, el componente más importante es la infiltración. Durante una tormenta, la infiltración comienza normalmente a una tasa alta y disminuye a un mínimo a medida que la lluvia continúa. La infiltración es el proceso que provee agua para casi todas las plantas terrestres y para la mayor parte de la vida animal. La infiltración afecta muchos procesos del ciclo hidrológico: reduce el escurrimiento superficial y por lo tanto la erosión del suelo, contribuye en gran parte con la humedad del suelo y en fin es de interés para el conservacionista y para cualquier otro investigador preocupado por los procesos hidrológicos que ocurren en el suelo.

A pesar de la evidente importancia de la infiltración dentro del contexto general de la hidrología, las medi-

ciones de este parámetro, salvo en áreas experimentales y en sistemas de riego, no son realizadas por los servicios de recolección de información hidrológica debido a la dificultad que presentan y por lo general su obtención se hace por medios indirectos. Estas dificultades están referidas básicamente al hecho de que para obtener resultados satisfactorios es necesario contar con equipos adecuados lo que hace que las mediciones sean costosas y requieran mayor tiempo en obtenerlas.

En ciertas áreas donde el uso de la tierra está cambiando continuamente y donde el flujo superficial y la erosión son serios problemas, un conocimiento de la capacidad de infiltración de los suelos es necesario para suministrar una base de diagnóstico en cuanto a la planificación de esas áreas se refiere.

Son muchos los factores que afectan la infiltración, destacándose por su importancia las propiedades físicas de los suelos, la cobertura vegetal, etc. y los cuales pueden ocurrir en múltiples combinaciones. Por lo general, los investigadores han determinado las tasas de infiltración y los volúmenes infiltrados correlacionando éstos con varias combinaciones de los factores que la afectan, llegando a producir fórmulas de aplicación general. En base a esto y en virtud de que ciertas propiedades del suelo pueden ser determinadas más rápidamente, se ha logrado hacer inferencias de tasas de infiltración conociendo

do esas propiedades, lo que ha permitido obtener información general, especialmente en áreas donde por circunstancias especiales se requiere tener una idea de la capacidad de infiltración en forma indirecta.

En este orden de ideas el planteamiento central se refiere a la posibilidad de definir relaciones entre las propiedades del suelo y las tasas de infiltración, con lo cual las evaluaciones hidrológicas en ciertas áreas serán mucho más expeditas. Por otra parte, en Venezuela, el conocimiento de estas relaciones ha sido poco estudiado y un trabajo como el presente podría ser de mucha utilidad.

En este sentido, este estudio persigue dos objetivos fundamentales: primero, hacer inferencias acerca de las características hidrológicas de los suelos en relación con el proceso de infiltración, y segundo, desarrollar un modelo que permita relacionar las propiedades del suelo con las tasas de infiltración; se deja abierta la posibilidad de que otros estudios puedan tratar de extrapolar estas relaciones a otras áreas, y explorar las posibilidades de incorporar los modelos y relaciones obtenidas a metodologías de diagnóstico conservacionista de cuencas, claro está, con las modificaciones que se crea convenientes.

II.- REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Definiciones.

a) Infiltración. Anteriormente, el término infiltración era vago y confuso, sin hacer diferencia entre este proceso y el de percolación, solamente se expresaba como la entrada descendente del agua en el suelo, tal como fué definida por Richards (1952). Sin embargo, la mayoría de los autores, hoy en día, están de acuerdo en que aunque la infiltración esté estrechamente relacionada con la percolación, existe distinción entre estos dos procesos; el primero se refiere al paso del agua a través de la superficie del suelo, mientras que el segundo es el movimiento del agua dentro del suelo (Musgrave y Holtan, 1964; Hewlett y Nutter, 1969; Hills, 1970; - Linsley et al., 1975).

"Absorción" y "penetración del agua", son también usados como sinónimos de infiltración. Sin embargo, la "absorción" incluye tanto la entrada de aire como de agua, es decir, líquido y vapor dentro del suelo. El uso de "penetración del agua" estaría restringido a la profundidad bajo la superficie del suelo alcanzada por la infiltración. (Horton, 1933).

b) Tasa de Infiltración. Esta ha sido definida por Richards (1952) como la tasa máxima a la cual un suelo, en condiciones dadas y a un tiempo dado, puede absorber

agua de lluvia. También la define como la tasa máxima a la cual un suelo absorberá agua represada en la superficie a una baja profundidad cuando se toman precauciones adecuadas respecto a los efectos de borde. Expresa además, que cuantitativamente, la tasa de infiltración es - definida como el volumen de agua a través de la superficie del suelo por unidad de área por unidad de tiempo y que ésta tiene las dimensiones de velocidad. Agrega así mismo, que de acuerdo al Subcomité sobre Permeabilidad e Infiltración de la Sociedad Americana de Suelos, el término capacidad de infiltración de un suelo es el mismo que el de la tasa de infiltración.

Hewlett y Nutter (1969), la definen como la tasa a la - cual el agua está realmente entrando al suelo en cualquier momento.

Hills (1970), la define como una medida de la cantidad - de agua infiltrada por unidad de tiempo y generalmente - es determinada por comparación con la tasa a la cual el agua de lluvia puede ser absorbida.

c) Capacidad de Infiltración. La mayoría de los autores la definen como la mayor tasa de infiltración posible (Horton, 1933, 1940; Hewlett y Nutter, 1969; Hills, 1970; Linsley et al., 1975).

Algunos consideran que capacidad de infiltración y tasa de infiltración es lo mismo, sin embargo, Horton (1940)

expresa que la infiltración puede tener lugar a cualquier tasa desde cero hasta la tasa de capacidad. Si la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración, entonces la tasa de infiltración es menor que la capacidad de infiltración e igual a la intensidad de la lluvia. Por otro lado, si la intensidad de la lluvia es igual o mayor que la capacidad de infiltración, entonces, la tasa de infiltración y capacidad de infiltración son iguales. En otras palabras, puede haber una variedad infinita de tasas pero solamente hay una capacidad para un suelo y tiempo particular.

d) Capacidad inicial y mínima de infiltración. El valor de la capacidad de infiltración (f_p) alcanza su máximo (f_o) al principio de una tormenta, (capacidad inicial de infiltración) y se acerca a un valor bajo y constante (f_c) a medida que el perfil del suelo se satura, (capacidad mínima de infiltración). (Figura Nº 1).

2.2. Importancia hidrológica del proceso de infiltración. La significación del proceso de infiltración en hidrología es manifiesta cuando éste se analiza detenidamente.

La Figura Nº 2 muestra esquemáticamente la disposición de una lluvia continua de intensidad moderada (Linsley et al., 1975).

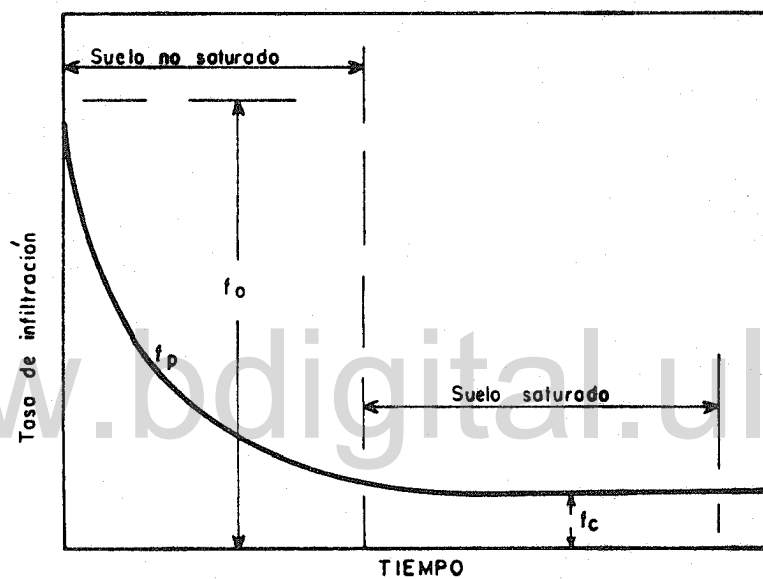


Figura N° 1.- Curva de capacidad de infiltración (GUPTA, 1976)

Figura N° 2

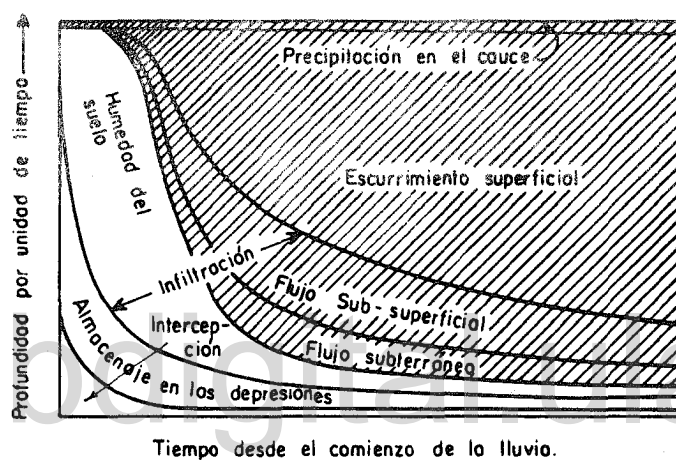


Diagrama esquemático de la disposición de la lluvia de una tormenta. (LINSLEY et al. 1975)

La mayor parte de la lluvia caída en la primera etapa de una tormenta queda retenida sobre la cubierta vegetal como intercepción, y en las depresiones superficiales como almacenamiento de depresión. La intensidad de intercepción es elevada al principio de la lluvia, especialmente en verano y con cubierta vegetal densa, pero disminuye a medida que la capacidad de almacenamiento disponible se agota. La mayor parte de la intercepción es de--vuelta eventualmente a la atmósfera por evaporación.

La velocidad de llenado del almacenamiento de depresión por la precipitación incidente disminuye rápidamente, desde un valor inicial elevado a medida que se llenan - las depresiones más pequeñas, aproximándose a cero con - un valor relativamente elevado de la lluvia total y dependiendo de la pendiente del terreno y otros factores. Una parte del agua del almacenamiento de depresión se infiltra y alcanza el nivel freático pudiendo contribuir al flujo subterráneo; el resto es devuelto a la atmósfera por evapotranspiración.

Excepto en lluvias muy intensas, la mayor parte de la deficiencia de humedad del suelo se satisface antes de que tenga lugar una escorrentía superficial apreciable.

No obstante, parte de la lluvia caída posteriormente durante el evento se convierte en humedad del suelo, puesto que al llegar a la superficie del suelo, el agua puede moverse por los macroporos por influencia de la grave

dad, al tiempo que los poros superficiales menores retienen agua por capilaridad. El agua que desciende por efecto de la gravedad también puede ser retenida por capilaridad. A medida que los poros capilares superficiales se llenan y la capacidad de retención se reduce, la velocidad de infiltración disminuye.

El agua que se infiltra, y no es retenida como humedad del suelo, discurre hacia el cauce como corriente subsuperficial o penetra hasta el nivel freático y eventualmente fluye como corriente subterránea a medida que se avanza en los estratos.

La intensidad de escorrentía superficial empieza en cero, aumenta lentamente, aproximándose eventualmente a un porcentaje relativamente constante de la lluvia.

Todos los factores de la Figura Nº 2 varían de un punto a otro dentro de una cuenca durante una borrasca; sin embargo, ayuda a la comprensión de las variaciones relativas de tiempo en los fenómenos hidrológicos.

Los eventos que se suceden durante una lluvia que produce escorrentía superficial, es explicada por Horton (1940), auxiliándose de la Figura Nº 3; al comienzo de la lluvia hay un intervalo (t_1) inicial, durante el cual la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración; durante este intervalo toda la lluvia es absorbida por el suelo, y no ocurre escorrentía superfi-

cial ni retención superficial acumulada. Sin embargo, la capacidad de infiltración es disminuída al final de este intervalo, llegando a ser menor que la intensidad de la lluvia. Durante un segundo intervalo (t_d) el exceso de lluvia por encima de la cantidad absorbida por el suelo, llena las depresiones superficiales sin ocurrir escurrimiento superficial. Cuando la mayoría de las depresiones superficiales se han llenado y la lluvia continúa con una intensidad superior a la capacidad de infiltración, se genera primero, una lámina de retención superficial y luego el flujo superficial. La parte de la lluvia que cae a intensidades que exceden la capacidad de infiltración se designa como lluvia excedente y está indicada en la Figura Nº 3 por el área rayada. En el intervalo final de lluvia, (t_n) aún quedará retención superficial que previamente ha sido acumulada siendo gradualmente distribuída entre infiltración o escorrentía superficial. Durante el intervalo en el cual la retención superficial se mueve, podría ocurrir lluvia a una intensidad menor que la capacidad de infiltración del suelo, y esta lluvia residual podría convertirse en parte, en escorrentía superficial, pero esto no afecta a la escorrentía superficial total ya que en la mayoría de los casos es sensiblemente igual a la lluvia excedente total.

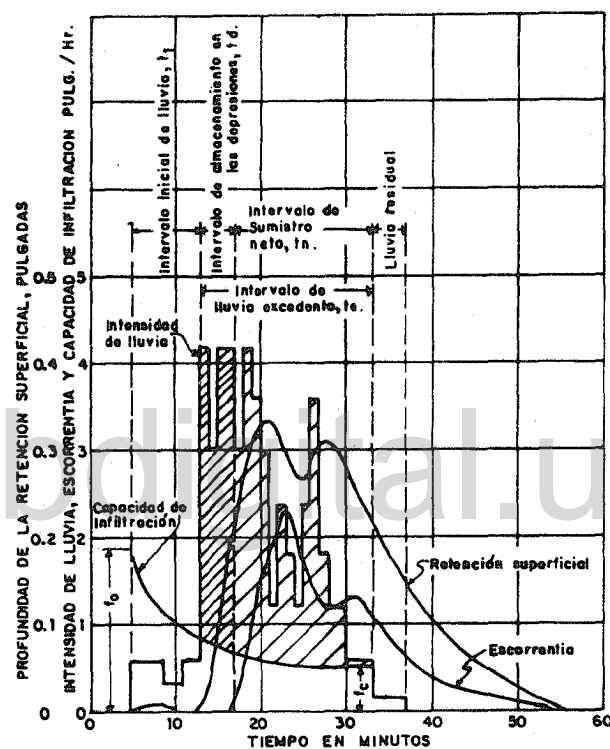


Figura N° 3 .- Relación de intensidad de lluvia escorrentía superficial (HORTON, 1940).

Como quiera que el régimen de lluvia de una región no puede ser cambiado, los esfuerzos hacia la reducción de las inundaciones y el control de la erosión, necesariamente deben estar dirigidos en gran medida hacia el incremento de la infiltración.

2.3. Mecánica de la infiltración: Aunque se haga una distinción entre infiltración y percolación o movimiento del agua dentro del suelo, los dos fenómenos están estrechamente relacionados entre sí, ya que la infiltración no puede continuar libremente de no ser porque la percolación evacua el agua infiltrada de la superficie del suelo. Al llegar a la superficie del suelo, el agua gravitacional comienza a moverse hacia abajo por los macroporos del suelo, al tiempo que los poros superficiales - menores retienen agua por capilaridad. El agua gravitacional discurre hasta el nivel freático y eventualmente fluye como corriente subterránea, siguiendo el recorrido de mínima resistencia. Las fuerzas capilares desvían continuamente agua gravitacional por los poros capilares, de manera que la cantidad de aquella que sucesivamente pasa a niveles inferiores disminuye constantemente. Esto produce un aumento de resistencia al agua gravitacional en la capa superficial y una intensidad de infiltración decreciente a medida que progresa una lluvia. A medida que los poros capilares superficiales se

llenan y la capacidad de retención se reduce, la velocidad de infiltración disminuye. La intensidad de infiltración en las primeras fases de un evento es menor si los poros capilares están llenos a causa de una lluvia previa.

En suelos homogéneos, al irse llenando los poros de los niveles inferiores, la infiltración decrece gradualmente hasta que se satura la zona de aireación. En suelos estratificados, las capas del subsuelo son frecuentemente menos permables que el suelo superficial; en tal caso, - la velocidad de infiltración queda eventualmente limitada a la de percolación a través del estrato del subsuelo menos permeable (Linsley et al., 1975).

En la mayoría de las circunstancias, la capacidad de infiltración de un suelo seco es alta al comienzo de una lluvia, disminuyendo con el tiempo a una tasa más o menos constante. El decrecimiento típico de la capacidad de infiltración resulta del hinchamiento de los coloides del suelo, del aire atrapado, del decrecimiento de las fuerzas capilares, así como el incremento del contenido de humedad y un decrecimiento del tamaño y cantidad del espacio poroso del suelo con la profundidad (Satterlund, 1972).

2.4. Factores que afectan la infiltración. Los diver-

Los factores que influyen en la infiltración han sido objeto de gran atención por parte de los investigadores.

Horton (1933), observó que la lluvia excedente y la tasa de infiltración son variables que necesitan ser consideradas a fin de conocer mejor la relación entre la escorrentía y los factores que la controlan. Horton observó, además, que había interrelaciones bien definidas entre la tasa de infiltración, niveles de capacidad de campo, crecimiento vegetativo y niveles de agua subterránea. Sugirió además, que había una buena correlación entre la infiltración total y el agua utilizada directa o indirectamente por la vegetación.

Lewis y Powers (1938), enunciaron un gran número de factores que afectan la infiltración, dividiéndolos en dos grupos principales: (1) aquéllos que influyen en la tasa de infiltración en un punto y un momento dado, tales como textura, estructura y materia orgánica y (2) aquéllos que influyen en la tasa promedio de infiltración sobre una área y período de tiempo considerable, tales como pendiente, vegetación y rugosidad de la superficie. Estos últimos se refieren a la influencia que ejercen en la oportunidad de infiltración.

Horton (1940) sugirió los siguientes factores que afectan la tasa de infiltración: (1) tipo y perfil del suelo; (2) aspectos biológicos y macroestructurales cerca

del suelo, y (3) cobertura vegetal.

Musgrave y Holtan (1964) consideran a la infiltración como una secuencia de tres fases: entrada a la superficie, transmisión a través del suelo, y agotamiento de la capacidad de almacenaje del suelo. En base a esto, analizan los factores que influyen la infiltración, además de las características del medio permeable y el fluido percolante. En la fase de entrada del agua a la superficie, el factor más importante es la distribución de las partículas del suelo. Los sucesivos horizontes del perfil del suelo determinan las tasas de transmisión en la segunda fase. En la siguiente fase, la capacidad de almacenamiento en cualquier horizonte depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad presente; así mismo, la textura, estructura, contenido de materia orgánica, actividad biológica, penetración de las raíces y el hinchamiento coloidal, determinan la naturaleza y magnitud de la porosidad. Como características más importantes del medio permeable incluyen el tamaño y distribución de los poros y como características del fluido que afectan la infiltración consideran básicamente su turbidez, particularmente su contenido de arcilla y coloide, el tipo y cantidad de sales que contenga, ya sea de suelos álcalis, residuos de fertilizantes u otras fuentes y su temperatura y viscosidad.

Linsley et al., (1975) consideran que la capacidad de infiltración depende de muchos factores, siendo los más importantes el tipo de suelo, contenido de humedad, materia orgánica, cubierta vegetal y estación del año.

Hewlett y Nutter (1969) observan que los factores que más afectan la infiltración son: el contenido de humedad antecedente del suelo, la textura y estructura del suelo (porosidad), la actividad biológica y materia orgánica, la profundidad y tipo de mantillo y cubierta vegetal, el "humedecimiento" de la superficie del suelo; la calidad del agua infiltrada (sedimentos, productos químicos, desechos) y el aire atrapado en el suelo subyacente.

Gavande (1976) considera, entre los muchos factores de los que depende la velocidad de infiltración, los siguientes: el espesor del agua empleado para el riego o por la lluvia, la temperatura del agua y del suelo, la estructura y compactación, textura, contenido de humedad del suelo, estratificación, agregación y actividades microbianas.

2.5. Mediciones de la infiltración. Muchos autores han investigado métodos o técnicas para determinar tasas de infiltración de los suelos. La mayoría de estas técnicas ha sido desarrollada para satisfacer necesidades específicas no siendo adaptables a otras situaciones.

Wilm (1941) menciona dos métodos que han sido aplicados para estimar la capacidad de infiltración en cuencas. El primero por medio de análisis de hidrogramas y el segundo por el uso de aspersores con equipo portátil.

Parr y Bertrand (1960), clasifican en tres grupos los instrumentos para determinar tasas de infiltración: (1) instrumentos en los cuales la infiltración es determinada como la diferencia entre el agua aplicada y la escorrentía; (2) instrumentos que represan agua en un área confinada, manteniendo una carga constante y (3) instrumentos que permiten la determinación de la infiltración a partir de datos de lluvia. Estos últimos no son realmente instrumentos sino métodos para determinar la infiltración a través de las técnicas del análisis de hidrogramas.

Musgrave y Holtan (1964) consideran dos enfoques generales en la determinación de la capacidad de infiltración. Uno es el análisis de hidrogramas de escorrentía sobre parcelas y cuencas. El otro es el uso de infiltrómetros con aplicación artificial de agua en áreas encerradas. Este último lo subdivide en dos grupos generales: el primero, los simuladores de lluvia, donde el agua, se aplica en forma y tasa comparable con la lluvia natural y el segundo, los infiltrómetros por inundación, en los cuales se aplica una delgada lámina de a-

gua en un área encerrada de manera tal que se obtenga una carga constante. Dentro de este grupo incluye los tubos y los anillos concéntricos.

Los mismos autores establecen, con respecto al análisis de hidrogramas, que las estimaciones de la infiltración contienen los errores derivados de las determinaciones de lluvia y escorrentía, ambos sujetos a variables grados de imprecisión en su medición. Sin embargo, recientemente se han logrado considerables progresos en los métodos de medición e incremento en los detalles de registros de lluvia, particularmente mediante el uso del radar.

En general los métodos para medir la infiltración pueden clasificarse en tres grupos:

El primer grupo está representado principalmente por los simuladores de lluvia (Figura Nº 4). En un simulador, las gotas de agua son semejantes a las de la lluvia, teniendo una energía cinética similar a la de lluvia natural que se intenta simular. Como resulta difícil medir directamente la cantidad de agua que penetra en la superficie del suelo, la infiltración se calcula suponiéndola igual a la diferencia entre el agua aplicada y la escorrentía superficial medida. Si las mediciones son suficientemente precisas y con un registro continuo, se puede usar el método de análisis de hidrogramas para inter-

pretar los resultados.

Hay dos formas comúnmente usadas para producir gotas con el equipo aspersor y con el equipo rociador o de goteo. En el primer método, el agua pasa a través de una serie de boquillas aspersoras que pueden abrirse o cerrarse para variar la intensidad, y que pueden ser adaptables de acuerdo al tamaño de las gotas. El otro método, produce gotas en o por filamentos o tubos de tamaño capilar proyectados bajo un depósito. Este sistema produce gotas casi naturales.

Muchos de los simuladores de lluvia fallaron en su intento de reproducir la lluvia natural, puesto que las características de ésta, especialmente la distribución y tamaño de las gotas y la velocidad de caída no eran muy bien conocidas por los primeros investigadores. Durante los últimos 10 a 15 años, estos factores han sido ampliamente estudiados (Parr y Bertrand, 1960).

El segundo grupo está compuesto fundamentalmente por los infiltrómetros de cilindro. Wisler y Brater (1959), describen un infiltrómetro de cilindro como aquél en el cual la tasa de entrada es determinada directamente según la tasa a la cual el agua está siendo agregada para mantener una profundidad constante. Generalmente el equipo consiste de cilindros de 3 a 24 pulgadas de diámetro y 18 pulgadas de longitud. Los bordes inferiores de los mismos se introducen bajo la superficie del suelo.

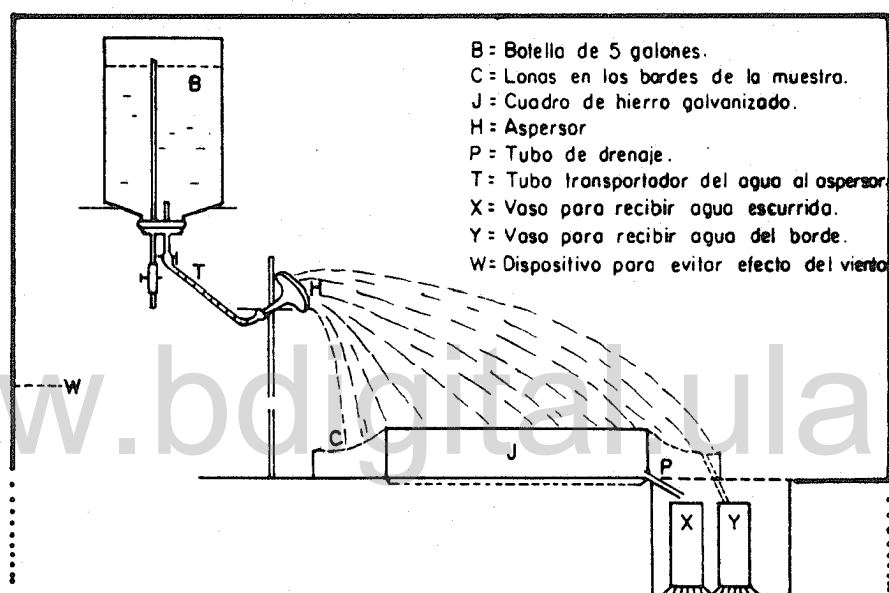


Figura N°4 .- DIAGRAMA DE UN SIMULADOR DE LLUVIA TIPO ASPERSOR. (YUNG LI et al. 1942)

El agua es, entonces, aplicada a la porción proyectada - encima de la superficie. Este cilindro puede estar rodeado por un cilindro más grande, algunas veces mencionado como amortiguador. Aquí lo esencial es que haya un buen control de la carga de agua en el área encerrada y una profundidad de agua que sea comparable con las aplicaciones de campo. El agua es aplicada a una carga o profundidad constante. Leyendo de reglas o probetas graduadas a intervalos de tiempo sucesivos, se determinan - las tasas y cantidades de infiltración. Una de las limitaciones en el uso de aros o cilindros es el método de colocación en el suelo. La mayoría de los métodos de colocación causan un cierto grado de perturbación de las condiciones estructurales naturales y el resultado se manifiesta en una rotura o compactación de esta estructura, lo que puede causar una gran variación en las tasas de infiltración. También, la interfase entre el suelo y el lado del aro de metal puede causar filtraciones artificiales que resultan en tasas de infiltración anormalmente altas.

Otra limitación en el uso de anillos cuando se trata de suelos finos y muy finos poco estructurados, es el problema del aire atrapado dentro de la columna de suelo, causado cuando se aplica una carga constante de agua sobre la superficie. La incapacidad del aire para escapar del suelo bajo condiciones de flujo saturado usualmente

crea un aire interno amortiguador que impide el movimiento del flujo hacia abajo. Este problema ha sido tratado en detalle por Lewis y Powers (1938).

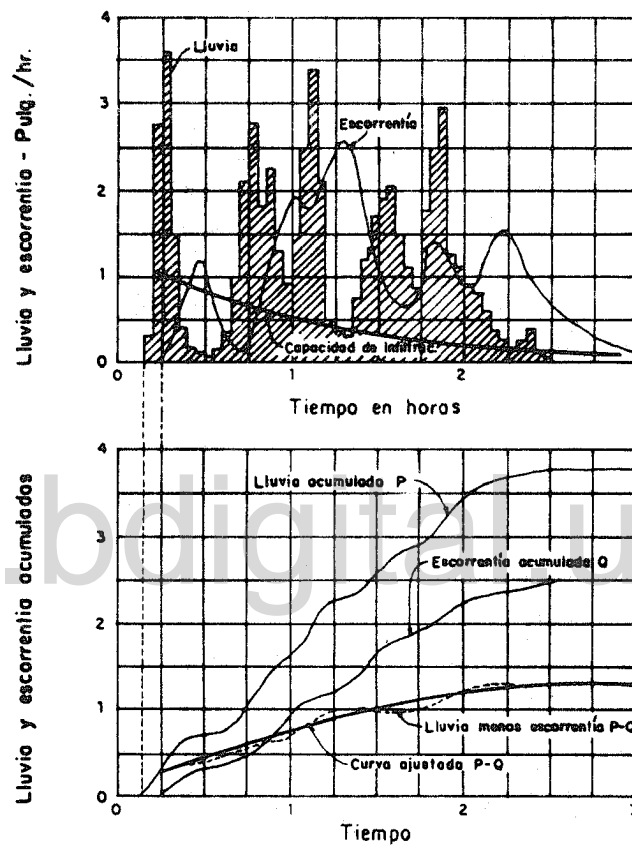
El tercer método para determinar la infiltración, particularmente en parcelas o cuencas, es a través del análisis del hidrograma en el cual las características de la infiltración son determinadas analizando la diferencia entre la lluvia y la escorrentía. Schulz (1973), resume el procedimiento como sigue:

- a) Se construye el hidrograma de escorrentía, (Figura Nº 5). De éste se deduce el flujo base dejando solamente la escorrentía directa que es atribuida al evento de lluvia.
- b) Se determina la precipitación media de la cuenca usando métodos, tales como el de las isoyetas. La lluvia deberá ser de gran duración de manera que pueda cubrir toda la cuenca.
- c) Los valores de escorrentía se transforman a unidades de profundidad en la cuenca para que sean directamente comparables a los de la lluvia.
- d) Se representan gráficamente las curvas de lluvia y escorrentía acumuladas.
- e) La curva de infiltración acumulada es la diferencia entre las dos curvas acumuladas antes citadas. Esta diferencia se muestra en la figura con trazos discon-

tinuos (Figura Nº 5). Estos datos se ajustan a través de una línea continua claramente definida. La tasa de infiltración es determinada calculando la pendiente de la curva de infiltración acumulada.

Procedimientos rigurosos han sido desarrollados por Sherman y Mayer y por Sharp y Holtan citados por Hills (1970).

Estas técnicas no emplean una medición de infiltración en el campo sino que solamente exigen registros continuos de lluvia y escorrentía. La interacción de los procesos dentro de la cuenca son ignorados y la curva de infiltración que se deriva es esencialmente teórica. Hills (1970) observa que la exactitud está determinada principalmente por la precisión con que sean medidas la lluvia y la escorrentía y la precisión con la cual otros factores, tales como la intercepción sean estimados con supuestos razonables. La tendencia a no estudiar el funcionamiento de los procesos dentro de la cuenca limita la utilidad de la técnica. Los análisis de hidrogramas proporcionan un valor promedio de la capacidad de infiltración para un área muy grande y no se disponen de datos sobre el rango o variabilidad de los mismos. No es recomendable usar tales valores derivados de capacidad de infiltración para estudios comparativos entre cuencas. Además, no se pueden inferir diferencias hidrológicas atribuidas a diferencias de infiltración cuando sólo se utiliza un valor medio para el área total.



**Figura N°5.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACION
POR ANALISIS DE HIDROGRAMAS (SCHULZ, 1973)**

2.6. Ecuaciones de infiltración.

Hay muchas ecuaciones de infiltración que se han originado en el análisis de los datos de campo. La solución más exacta de la ecuación da mayor comprensión de la física de infiltración, sin embargo, las ecuaciones empíricas tienen aún validez considerable, por cuanto contienen parámetros que pueden ser ajustados para tomar en cuenta complejidades que fueron eliminadas en el análisis matemático para hacer soluble el problema (Baver et al., 1973).

a) Ecuación de Green y Ampt. Baver et al. (1973)

señalan que Green y Ampt en 1911, formularon una ecuación de infiltración basada en un modelo físico muy simple del suelo. Desde un punto de vista físico, supusieron que el suelo estaba saturado detrás del frente húmedo y que se podía definir un potencial matricial "efectivo" en este frente. Estas suposiciones combinadas con la ley de Darcy, condujeron a la expresión:

$$L - \phi_L \log_n \frac{1 + L}{\phi_L} = \frac{Kt}{f} \quad (1)$$

donde: L= profundidad hasta el frente de mojadura

ϕ_L = es el potencial matricial en el frente

K= permeabilidad del suelo

f= porosidad del suelo

t= tiempo

La infiltración acumulada viene dada por:

$$I = fL \quad (2)$$

la cual, no puede ser resuelta explícitamente a partir de la ecuación anterior. Sin embargo, la rapidez instantánea de infiltración, $I = di/dt$, puede expresarse en función de la profundidad de mojadura, circunstancia muy conveniente en la derivación por computación de modelos matemáticos del proceso de infiltración (Baver et al., 1973).

b) Ecuación de Gardner y Widtsoe. Para una infiltración unidimensional, con una película de agua estancada, Gardner y Widtsoe (1921) dan una ecuación de la siguiente forma:

$$x = c_1 t + c_2 (1 - e^{-\beta t}) \quad (3)$$

donde:

x = profundidad del frente húmedo

t = tiempo

e = base de los logaritmos naturales

c_1 , c_2 y β = constantes

c) Ecuación de Kostiakov. Swartzendruber y Huberty (1958) mencionan que Kostiakov en 1932 sugirió la siguiente expresión:

$$I = at^n \quad (4)$$

donde: I = infiltración acumulada

t = tiempo

a y n = constantes

Baver, et al. (1973) expresan que el parámetro "a" sólo debe ser relacionado indirectamente con la conductividad hidráulica del suelo. Esta constante representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial; por lo tanto depende de la estructura del suelo en el momento de aplicar el agua. Si el suelo tiene grietas y poros grandes, el valor de "a" será relativamente mayor que si solamente tiene poros pequeños. El parámetro "n" indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo, por lo tanto depende de los cambios de estructura del suelo, resultante de la mojadura. Los suelos que se hinchan cuando se mojan y tienden a sellarse y volverse impermeables tienen un valor de "n" pequeño. Los suelos que tienen una estructura muy estable presentan exponentes de "n" mayores de 0.6 y pueden aproximarse a 1.0 bajo condiciones en que predomina el flujo gravitacional (Gavande, 1976).

d) Ecuación de Lewis. Swartzendruber y Huberty (1958), señalan que una ecuación similar a la anterior había sido propuesta por Lewis en 1926, aunque la publicó en 1937. Esta tiene la forma:

$$I = at^n + b \quad (5)$$

Gavande (1976), señala que en caso de que las observaciones de la infiltración se refieran a períodos largos, esta ecuación permitirá representar más adecuadamente los datos.

e) Ecuación de Horton. Horton (1933, 1939) dedicó mucho esfuerzo a investigar la infiltración y elaboró una ecuación basada en su concepto físico del proceso. La intensidad de infiltración está dada en el modelo de Horton por la ecuación:

$$i = i_f + (i_o - i_f)e^{-\beta t} \quad (6)$$

Baver et al. (1973) señalan que con el fin de comparar esta expresión con la ecuación (4), se integra para obtener la infiltración acumulada:

$$I = i_f t + \frac{i_o - i_f}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \quad (7)$$

donde: i_o = intensidad inicial de infiltración para $t=0$

i_f = intensidad final de infiltración

β = parámetro del suelo que describe la rapidez de la mengua de infiltración.

Gupta (1976) señala que la ecuación de Horton es solamente aplicable cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración. La constante dependerá de las características del área y de la precipitación; " i_o " dependerá de la condición de humedad inicial de la cuenca e " i_f " variará dependiendo de la temporada. En particular, esta ecuación ha sido aplicada como un método razonablemente rápido y conveniente de expresar los resultados de experimentos con ensayos de aspersores. Gupta señala además, que el punto en favor de esta ecuación es que, para grandes valores de t , la tasa de infiltración no llega a

cero. Pero es incapaz de representar adecuadamente el rápido descenso de la tasa de infiltración, desde valores altos en los períodos iniciales de infiltración. En consecuencia su representación es pobre durante los períodos iniciales de infiltración.

f) Ecuación de Philip. Gavande (1976), expresa que el volumen de agua que penetra en el terreno puede representarse más adecuadamente por el espesor acumulado de agua infiltrada, puesto que la velocidad inicial supera en mucho a la final. Esta cantidad se tiene integrando la ecuación (4) en relación con el tiempo:

$$D = \int (I) dt = \int (at^n) dt = \frac{a}{n+1} t^{n+1} = Ct^m \quad (8)$$

o integrando la ecuación (5), en caso de que ésta represente más precisamente la función de infiltración. En este último caso, la altura acumulada de agua aplicada se convierte en:

$$D = \int I dt = \int (at^n + b) dt = \frac{a}{n+1} t^{n+1} + bt = Ct^m + bt \quad (9)$$

Philip (1957) encontró que "m" era igual a $\frac{1}{2}$ para un suelo uniforme y homogéneo con temperatura constante, quedando la fórmula de Philip como:

$$D = Ct^{\frac{1}{2}} + bt \quad (10)$$

donde: D = infiltración acumulada

C = "sorbilidad"

b = "transmisibilidad"

t = tiempo

Esta ecuación tiene la desventaja de limitarse, a causa de la teoría en que se basa, a suelos uniformes y homogéneos con temperatura constante (Gavande, 1976).

Tanto C como b pueden aproximarse a la infiltración medida en dos tiempos diferentes, o pueden calcularse ajustando los datos de una prueba completa de infiltración por medio de los cuadrados mínimos.

El parámetro "C" indica la capacidad de un suelo homogéneo de absorber o liberar agua, y por eso se le ha llamado "sorbilidad". Se expresa en $(\text{cm}/\text{seg})^{\frac{1}{2}}$, si la infiltración se mide como profundidad del agua. Las unidades del parámetro "b" son dimensionalmente lo mismo que la velocidad de infiltración $1/t$ (cm/seg.). El parámetro "b" depende de la conductividad del suelo al agua y de su contenido inicial de agua. También depende, en cierto grado, de la cantidad de agua que el suelo ha absorbido, y, por lo tanto, se le ha denominado "transmisibilidad".

En lo que respecta al gobierno del flujo, la "sorbilidad" es más importante en intervalos cortos, y la "transmisibilidad", después de intervalos largos (Gavande, 1976).

Gupta (1976) señala que Watson en 1959 hizo una comparación de la ecuación de Horton y de la ecuación simplificada de Philip, encontrando que ésta última dió una correspondencia casi exacta, mientras que la de Horton dió

un error considerable en la infiltración acumulada sobre cierto tiempo. De la comparación de las curvas de campo con curvas de mejor ajuste determinadas por la ecuación de Horton y la simplificada de Philip, Watson visualizó que el grado de correspondencia de la ecuación de Philip en pequeños lapsos de tiempo es buena mientras que la de Horton no representa con seguridad la primera mitad de la curva (Figura Nº 6).

g) Otras ecuaciones. En los últimos años los investigadores han desarrollado ecuaciones hidrológicas para evaluar la capacidad de infiltración en cuencas.

Gupta (1976) da cuenta que Betson en 1964 desarrolló paso a paso una ecuación hidrológica, basándose en la ecuación de Horton.

Holtan (1965) describe un nuevo concepto que emplea las mediciones de volúmenes de la capacidad de almacenamiento más bien que la determinación de las tasas de infiltración como una base para predecir la capacidad de infiltración de los suelos para usarlo en el cálculo de la retención del agua. Propone la siguiente expresión:

$$f = as_r^n + fc \quad (11)$$

donde: $S_r = K(S - ASM) - F$

f = capacidad infiltración en pulgadas por hora

fc = tasa constante de infiltración

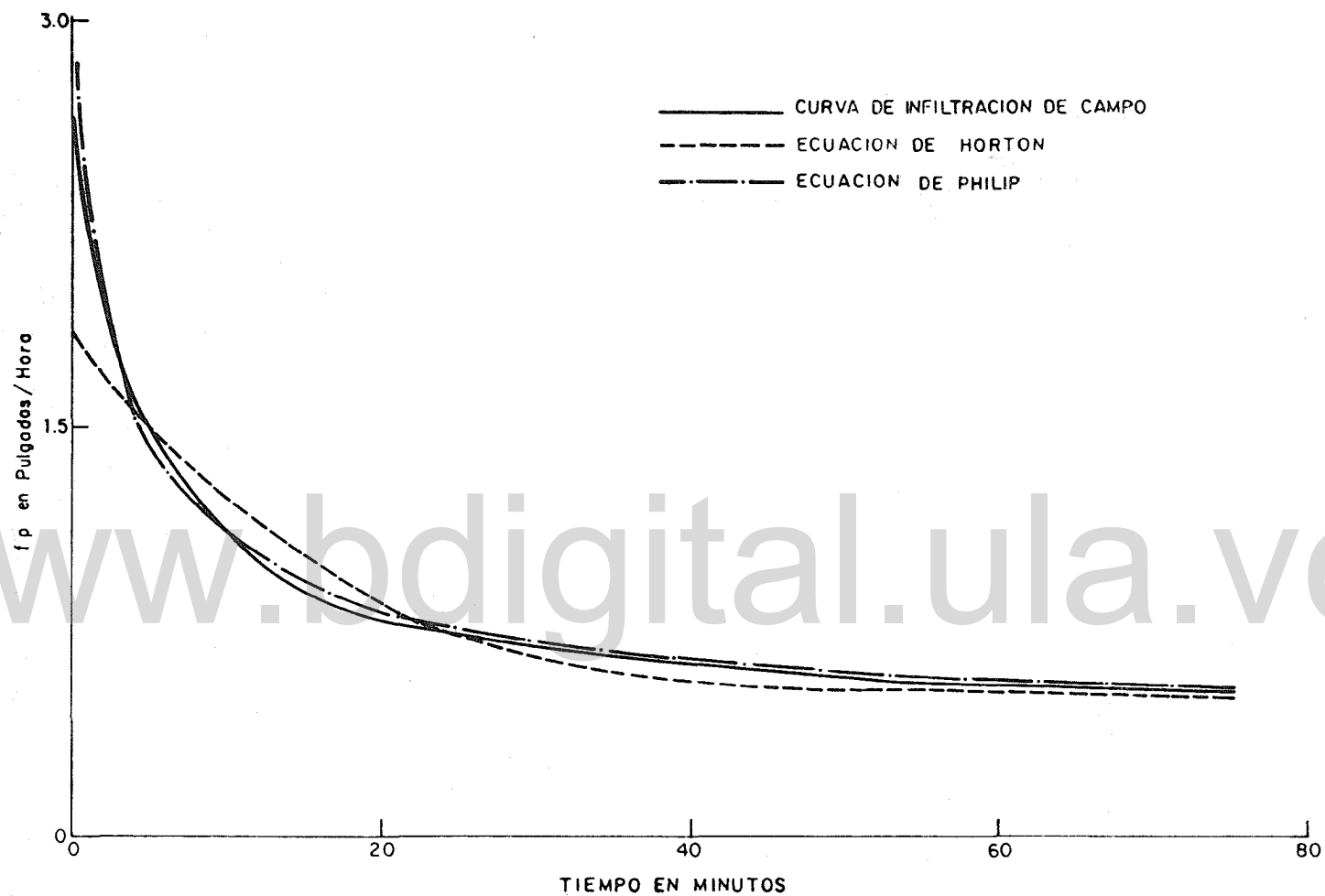


Figura N° 6.- Curva de infiltración de campo comparada con las curvas de mejor ajuste determinadas por las ecuaciones de Horton y Philip. (GUPTA, 1976)

K = área basal de la vegetación en porcentaje

S = máximo almacenamiento potencial en pulgadas

F = infiltración acumulada en pulgadas

ASM = contenido de humedad antecedente en pulgadas

a y n = constantes

En el Cuadro Nº 1, se presenta un resumen de las ecuaciones de infiltración, antes descritas.

2.7. Otros estudios relacionados con el presente trabajo.

Trabajos o investigaciones para desarrollar modelos mediante el tratamiento estadístico que puedan predecir tasas de infiltración a partir de propiedades físicas de los suelos, no son muy abundantes en la literatura.

Watson (1965) condujo el análisis estadístico de una serie de experimentos con simuladores de lluvia en pequeñas parcelas de campo para determinar la importancia relativa de algunos factores tales como el contenido de humedad antecedente, la intensidad de lluvia simulada y el agrietamiento subsuperficial sobre la capacidad de infiltración, pero sin llegar a establecer un modelo.

De los resultados del análisis de varianza, Watson observó la gran significación del papel del contenido de humedad antecedente en el proceso de infiltración. Valores negativos muy pequeños de la varianza estimada de la intensidad indicaron que esta varianza podía tomarse co-

mo cero, lo que estaba de acuerdo con el hecho de que valores de la capacidad de infiltración son afectados insignificantemente por cambios en la intensidad. También concluyó del análisis, que las grietas, particularmente aquéllas cerca de la superficie a la zona radicular de las hierbas, debían cerrarse rápidamente permitiendo que el proceso de infiltración siguiera el patrón general indicado por Bodman y Colman, (1943) donde la zona de presión hidrostática positiva está limitada a unos pocos centímetros de profundidad.

Knighton (1978), relacionó ciertas propiedades del suelo con tasas de infiltración medidas con infiltrómetros de aro simple con carga constante. Identificó las propiedades que mostraron fuerte correlación simple y desarrolló modelos de regresión para estimar tasas de infiltración a partir de varias propiedades del suelo. El modelo que me mejor predijo a la infiltración fué probado en otra localidad, dando resultados positivos.

Knighton usó como base la ecuación de Kostiakev: $F = AT^B$, al derivar esta ecuación se obtiene: $f = ABT^{B-1}$, es decir, la infiltración instantánea por unidad de tiempo. La infiltración acumulada fué medida con tres infiltrómetros de aro simple con carga constante sobre un campo abandonado en veinte sitios. En cada sitio tomó muestras de suelo para determinar la densidad aparente, contenido de car

bón orgánico, espacio poroso lleno de aire, contenido de humedad y textura. También midió la cobertura vegetal. Las constantes de infiltración en las ecuaciones precedentes se determinaron para cada sitio usando las curvas medias acumuladas. Puntos a lo largo de cada curva media fueron usados en un análisis de mínimos cuadrados mediante la transformación en logaritmos de la primera ecuación, es decir, $\log F = \log A + B \log T$. Las constantes resultantes para cada sitio fueron examinadas por un análisis de regresión lineal múltiple usando las constantes como variables dependientes y los factores de suelo y cobertura como variables independientes. Se señalaron las correlaciones significativas y se determinaron los mejores modelos que predijeron a las constantes A y B.

El modelo de regresión seleccionado fué probado con datos tomados en un sitio semejante a 6 Kms. de distancia. Knighton, encontró que la constante de infiltración A fué correlacionada negativamente al 0.01 con la densidad aparente y positivamente al 0.05 con el volumen de poros llenos de aire. La constante de infiltración B fué significativamente correlacionada al 0.05 con el contenido de carbón orgánico, el espacio poroso lleno de aire y algunos factores de la cobertura vegetal.

CUADRO N° 1.- RESUMEN DE ECUACIONES

ECUACION	AÑO	AUTOR	ESPECIFICACION DE LAS VARIABLES
$L - \phi_L \ln\left(\frac{1+L}{\phi_L}\right) = \frac{Kt}{f}$	1911	GREEN Y AMPT	L profundidad hasta el frente húmedo ; ϕ potencial matricial en el frente ; K permeabilidad del suelo ; f la porosidad del suelo y t es el tiempo.
$X = C_1 t + C_2 (1 - e^{-\beta t})$	1921	GARDNER Y WIDTSOE	X profundidad del frente húmedo ; t el tiempo ; C ₁ C ₂ y β constantes.
$I = a t^n$	1932	KOSTIAKOV	I infiltración acumulada ; t el tiempo ; a y n pará - metros que dependen del suelo y de su condi - ción física.
$I = a t^n + b$	1937	LEWIS	a, b, n constante.
$i = i_f + (i_o - i_f) e^{-\beta t}$	1939	HORTON	i _o intensidad inicial de infiltración para t = 0 ; i _f intensidad final ; β parámetro del suelo.
$D = C t^{1/2} + b t$	1957	PHILIP	D infiltración "acumulada" ; C la "sorbilidad" y b la "transmisibilidad".
$f = a S r^n + f_c$ $S r = K (S - ASM) - F$	1965	HOLTAN	f capacidad de infiltración ; f _c tasa constante de infiltración ; K área basal de la vegetación ; S máximo almacenamiento potencial ; F infiltra - ción acumulada ; ASM contenido de humedad anterior a y n constantes.

El mejor modelo para estimar a la constante A incluyó la densidad aparente, contenido de arcilla y el contenido de humedad. El mejor modelo para estimar a la constante B incluyó el contenido de carbón orgánico y el contenido de humedad.

Backer (1979) en su estudio realizado para construir un índice apropiado de la distribución del tamaño de los poros propuso un modelo hipótetico en el cual la infiltración estaba determinada por la acción de variables tales como el contenido de arcilla, el número de lombrices, el área de terreno desnuda, el contenido de suelo orgánico, su compactación, la distribución del tamaño de los poros y el contenido de humedad. Propuso también modelos para el contenido de humedad y la distribución del tamaño de los poros, en relación con los otros factores. Posteriormente y mediante análisis de regresión se excluyeron - aquéllas variables que no fueron significativas, volviéndose a efectuar el cálculo de la ecuación con aquéllas que habían sido significativas, quedando al final una ecuación en la cual la tasa de infiltración estaba influenciada por tres variables: el contenido de arcilla, el número de lombrices y el área de suelo desnuda.

III. METODOLOGIA

3.1. Selección del área. El área estudiada (Figuras Nº 7, 8 y 9) comprende aproximadamente unas 115 hectáreas, ubicada en el Municipio San Juan, Distrito Sucre del Estado Mérida. Anteriormente esta área formaba parte de la denominada Hacienda "El Estanquillo", la cual fué afectada por la Ley de Reforma Agraria y ahora los que cultivan la tierra son propietarios de la misma. La zona está limitada al Este por la quebrada La Sucia, al Sur por la carretera vieja que unía a Mérida con San Juan y Lagunillas y continuaba hacia El Vigía, al Oeste por la quebrada La Maruchí y al Norte con la divisoria de aguas entre el río Chama y el Lago de Maracaibo (Plano Nº 1). La pendiente varía entre el 5% y 20%, con pedregosidad también variable entre el 1% y 40% de la superficie; se nota una erosión difusa de regular a fuerte dependiendo de la cobertura vegetal y de las características del suelo; en la superficie tienden a formarse costras impermeables que limitan la penetración del agua sobre todo en barbechos y zonas sometidas al pastoreo (Castillo, 1963).

El área está comprendida entre los 1000 y 1200 m.s.n.m., considerada por Castillo (1963) como una zona semiárida en cuanto a su condición climática. De acuerdo con la clasificación de Köppen, el clima dominante en la zona es el BSw_h, con precipitación de 550 mm, concentrada en

aguaceros torrenciales causantes de la erosión generalizada en la zona. La temperatura ambiental promedio anual, es de 22,2°C con variaciones menores de 5°C entre el invierno y el verano, lo cual caracteriza en el medio edáfico un régimen isohipertérmico. El régimen de humedad es el arídico (Malagón, 1979).

Esta zona corresponde geomorfológicamente a las terrazas o cono-terrazas (T1) y (T-3b) definida por Martínez (1963), de las cuales Malagón (1979) describió perfiles modales de suelos, de la forma siguiente:

PERFIL Nº 4

Localización:

Terraza (T1) cerca al río Chama en la equidistancia de San Juan y Lagunillas.

Zona de Vida:

Bosque seco premontano, subtropical (Holdridge, 1978).

Vegetación:

Arbustal espinoso y selva estacional montana, interdigitados (Sarmiento et al, 1971), con Cereus, Prosopis, rabo de ratón, guásimo, castañeto, moral, mamón, ceibo, caña de azúcar, tomate.

Material basal:

Sedimentos cuaternarios: cantos y en menor proporción materiales coluviales, integrados por microbrechas ferruginosas de pésima selección; areniscas arcósicas conglomeradas.

licas con cemento silíceo-calcáreo y matriz micácea; leucogranito muscovítico.

Pendiente: Bien drenado.

Erosión: laminar ligera

Nivel freático: no presenta

Profundidad efectiva: 53 cms. (moderadamente profunda).

Taxonomía: Cambortid típico, franco fino, micáceo, isohipertérmico.

Observaciones: El perfil presenta un horizonte ócrico sobre uno cámbico y reacción violenta al HCl en todas las profundidades estudiadas.

A los 53 cms. se manifiesta una discontinuidad litológica (2C). Los colores dominantes son grises y texturas gruesas. En el estudio de campo no se observaron argilanes, no obstante al estudiar su micromorfología, posteriormente, se encontraron 2n 2C y en menor magnitud en Bs.

PERFIL Nº 2

Localización:

Cono terraza (T-3b) que comunica San Juan con la autopista a Mérida, aproximadamente a 1.5 Kms. al sur de San Juan.

Zona de Vida: Monte Espinoso- Bosque Seco, premontano, subtropical (Holdridge, 1978).

Vegetación: Arbustal Espinoso (Sarmiento et al 1971), con cactáceas, Opuntia, Prosopis, Cereus, algodoncillo.

Material Basal:

Sedimentos cuaternarios, Coluvio y cantos, integrados por milonitas abundantes en cuarzo y mica, arenisca cuarzosa y ferruginosa, arcosas (abundantes feldespatos en grados variables de alteración, muscovita y bióticas parcialmente alteradas, granos de granate y matriz rica en hierro y arcillas, cuarzo fracturado y con extinción ondulatoria).

Pendiente: 5%

Erosión: laminar

Nivel freático: No presente.

Profundidad efectiva: 52 cms. (superf. a mod. prof.)

Taxonomía: Paleargid típico, arcilloso fino a muy fino, mezclado, isohipertérmico.

Observaciones: El perfil presenta un epipedón ócrico y un horizonte argílico con argilanes definidos y **reacción** ligera al HCl en todo el perfil.

A 52 cms. se presenta una discontinuidad litológica y en los horizontes más profundos se nota la presencia de arcilla mezclada con el esqueleto simulando argilanes. La zona tiene alta pedregosidad (clase IV de acuerdo al criterio de la FAO, 15-90% cubierto por rocas).

Las Figuras Nº 10, 11 y 12 muestran la pedregosidad y la vegetación de la zona.



LEYENDA

ALTERNATIVAS CARRETERAS

CAMINO

QUEVEDO

AREA DE ESTUDIO

PLANO Nº 1

MAPA DE SUELOS

ORDEN: ESTUDIO DE SUELOS ZONA DE LABORERAS POR J.A. CASTILLO, 1990

ESCALA: 1:25 000

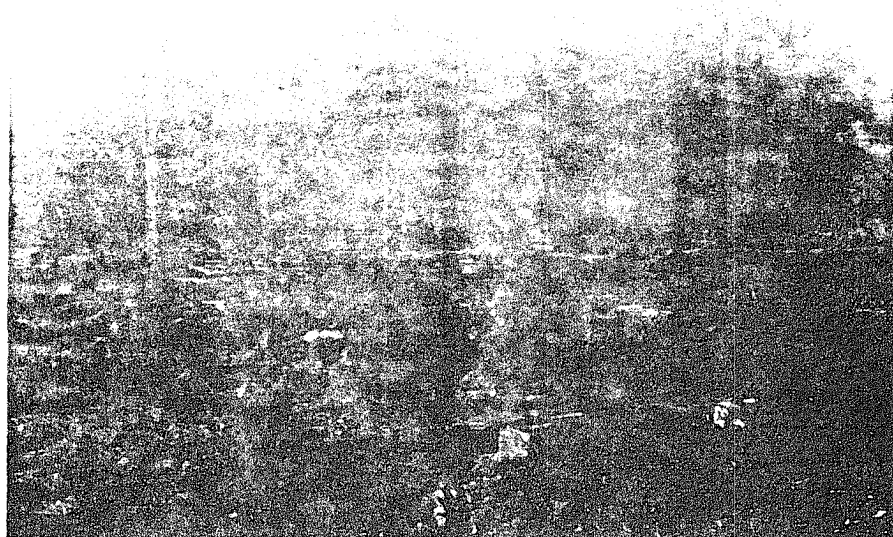


Figura N°.7. Area de estudio (parte inferior)

www.bdigital.ula.ve



Figura N°.8. Area de estudio (parte central)



Figura Nº.9. Área no estudio (parte superior)

www.bdigital.ula.ve

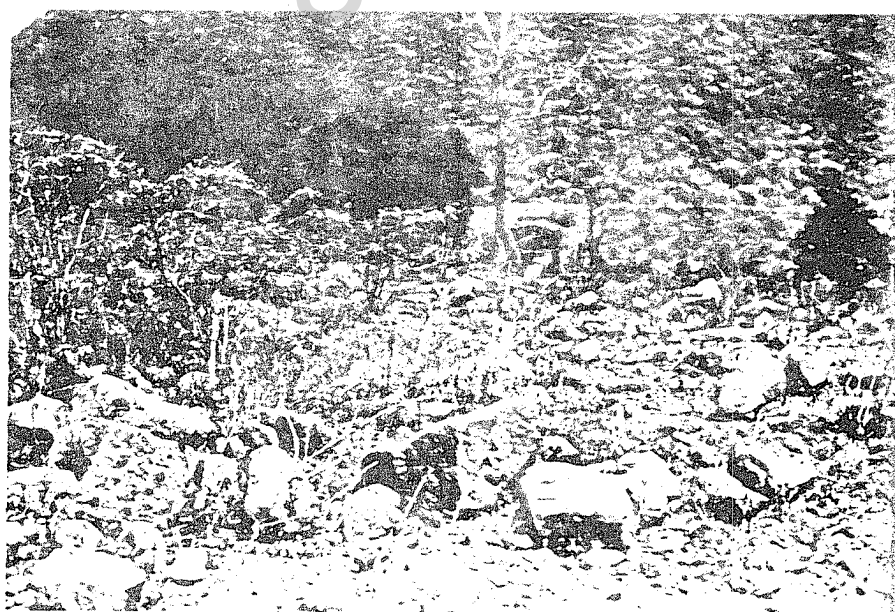


Figura Nº.10. La alta pedregosidad de la zona.

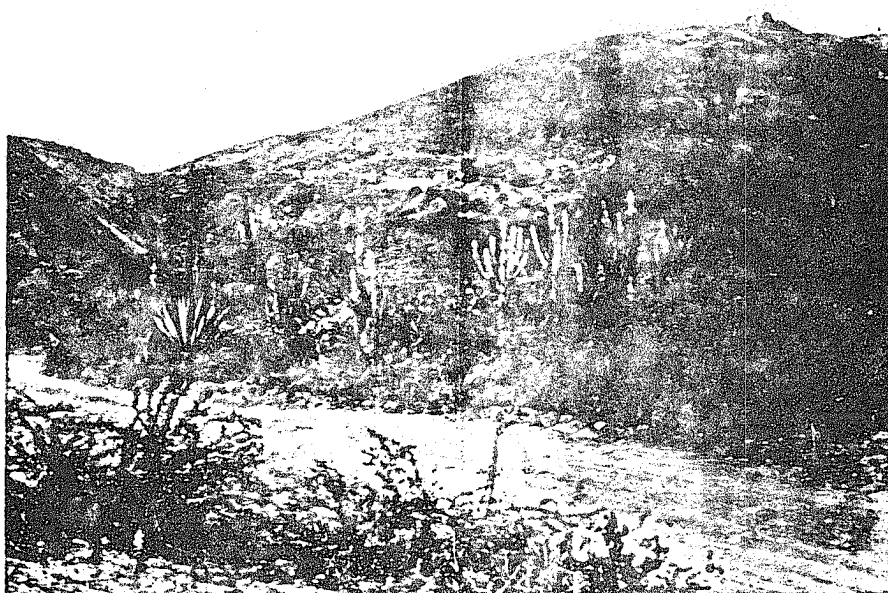


Figura Nº.11. Vegetación de la zona (cardones y cufies)

www.bdigital.ula.ve



Figura Nº.12. Vegetación de la zona (ceibo, guásimo, etc.)

El tipo de uso de la tierra predominante en esta zona es la agricultura de riego, con el cultivo de la caña de azúcar en primer término seguido de cultivos menores, - principalmente maíz, yuca y tomate (Figuras Nº 13 y 14). En áreas muy reducidas se aprecia una ganadería extensiva principalmente de ganado caprino. La principal fuente de riego proviene de la quebrada La Sucia. Las características geológicas en parte de la cuenca de recepción de La Sucia permite que el acarreo de material sólido sea permanente; los materiales filíticos y arcilíticos (de la Formación Colón, principalmente) de color gris oscuro, le dan a las aguas de esta quebrada la característica que le ha valido su nombre (Castillo, 1963). La derivación se hace por medio de una represa de tierra, piedras y madera que son fácilmente barridas durante las crecidas. La conducción se realiza por medio de canales de tierra, contruidos en terrenos de topografía muy accidentada. Castillo (1963) estima que por estas razones la eficiencia de riego es de 50%. En la zona el agua es una valiosísima propiedad y en la mayor parte de los casos se tiene derecho a ella por horas.

Castillo (1963), clasifica los suelos de esta zona como aluviales, formados sobre terrazas, no calcáreas, teniendo como tipos de suelo, franco y franco arcillo arenoso. Hay poca diferenciación de horizontes y el perfil en general se caracteriza por una gran pedregosidad. No tiene carbonatos.



Figura N°.13. Cultivo de caña de azúcar en el área.



Figura N°.14.

Cultivo de yuca en la zona.

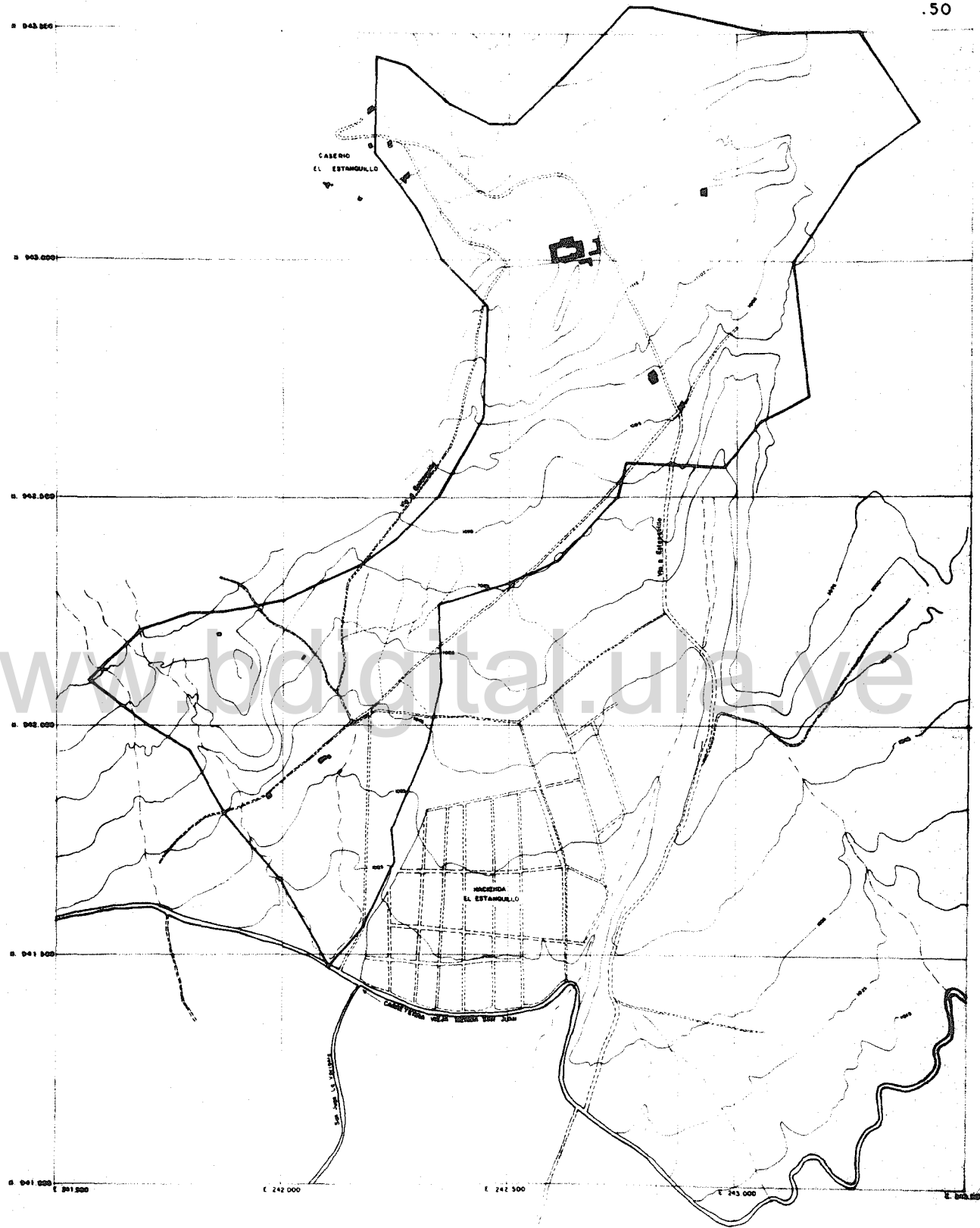
Tricart(citado por Malagón, 1979), expresa en cuanto a la formación de las terrazas, lo siguiente:

Las terrazas se formaron por la acción repetida de grandes lluvias las cuales provocaron deslizamientos enormes y coladas de barro; en consecuencia su mecanismo formativo se asocia con causas climáticas.

Las terrazas (T1, T2 y T3) posteriores en formación al Conglomerado de Lagunillas se han formado en condiciones muy similares y cuyas diferencias son de orden cuantitativo más que cualitativo, ya que su volumen disminuye con el tiempo (la T3 alcanza espesores de 100-150 ms).

La terraza T3 ha sido influenciada por el aporte de materiales asociados a la acción de conos, su notación es T3-a para el más antiguo y T3-b para el más reciente.

Dos razones fundamentales condujeron a seleccionar esta área; en primer lugar, el hecho de existir estudios de suelo que permitieron determinar una zona en particular con tipos de suelo definidos, y en segundo lugar, la accesibilidad. A la zona se puede llegar fácilmente por la carretera Mérida-Estanques, desviándose al área por el ramal que va a San Juan, estando el área atravesada por la carretera que va hacia el caserío El Estanquillo (Plano Nº 2), lo cual facilitó el desplazamiento del personal y el transporte del equipo necesario para efectuar las pruebas.



LEYENDA

PLANO Nº 2
AREA DE ESTUDIO
SAN JUAN DE LOS RIOS - MERIDA
ESCALA : 1:5.000

- LIMITE DEL AREA
- CARRETERAS
- CANALES
- DRENAJE



3.2. Selección de la ecuación. Si el proceso de infiltración puede representarse matemáticamente, entonces, se pueden usar los parámetros de las ecuaciones para expresar el estado de la infiltración. Por lo general, en estudios sobre infiltración en período cortos, es conveniente el uso de una ecuación donde las constantes puedan ser evaluadas experimentalmente sin mucha dificultad. Una de estas ecuaciones fué la propuesta por Kostiaikov en 1932, quien consideró una relación funcional que podría extenderse al campo, esta es, siguiendo la nomenclatura usada por Knighton (1978):

$$F = AT^B$$

donde: F = infiltración acumulada

T = tiempo

A y B = constantes

Swartzendruber y Huberty (1958) informan que Free, Browning y Musgrave en 1940 encontraron que esta ecuación fué adecuada para datos de 68 perfiles de suelo, pero no hicieron ensayos para usar sus parámetros como índices de infiltración. Aseguran por otra parte, que Tisdall en 1950 calculó valores de A y B para cada una de las diferentes condiciones de suelo y más tarde el mismo autor (Tisdall) en 1951 correlacionó A y B con el nivel de humedad antecedente del suelo. Además, Swartzendruber y Huberty (1958), encontraron que la ecuación antes señalada fué superior física y estadísticamente a otras por ellos consideradas. Por último, Knighton (1978) quien usó como base el estu-

dio de Swartzendruber y Huberty, encontró buenos resultados al correlacionar tasas de infiltración con propiedades de los suelos. Todos estos antecedentes condujeron al uso de esta ecuación como base en el presente estudio.

Refiriéndose a la interpretación de esta ecuación, Swartzendruber y Huberty, (1958) expresan que la tasa promedio de infiltración sobre el intervalo de tiempo T es F/T , entonces,

$$\text{Tasa promedio} = F/T = AT^{B-1}$$

al tiempo unitario, $T^{B-1} = 1^{B-1} = 1$; en consecuencia, A es numéricamente igual a la tasa promedio en el primer intervalo unitario de tiempo.

Por otra parte, si la ecuación $F = AT^B$ es diferenciada con respecto al tiempo T , el resultado es:

$$\frac{dF}{dT} = ABT^{B-1} = \text{tasa instantánea}$$

de esto se aprecia que AB , la cual es una combinación de parámetros, es numéricamente igual a la tasa instantánea al final del primer intervalo unitario de tiempo. Si ahora se expresa la razón entre la tasa instantánea a la tasa promedio, el resultado es:

$$\text{tasa instantánea/tasa promedio} = \frac{ABT^{B-1}}{AT^{B-1}} = B$$

y se aprecia que B tiende a ser igual a la razón entre la tasa instantánea y la tasa promedio, siendo medida la

tasa instantánea al $T > 0$, y la tasa promedio en el intervalo de tiempo total T . Entonces B es una expresión de curvatura y su magnitud indica la forma en que la tasa de infiltración se mantiene con el tiempo.

Horton (1940) criticó la ecuación $F = AT^B$ porque la forma diferenciada de la misma implicaba: (1) una tasa inicial infinita y (2) una tasa final de cero. La dificultad en (1) podría ser eliminada agregando constantes a F y T en la ecuación, pero para la mayoría de los casos de interés práctico, estas constantes serán insignificativamente pequeñas. En consecuencia, la ecuación $F = AT^B$ es suficiente, a menos que se esté interesado específicamente en el comportamiento de dF/dT para valores de tiempo muy cercanos a cero. Con respecto al punto (2), no se encuentra dificultad si solamente se consideran los primeros e intermedios períodos de infiltración. Tisdall en 1951 (citado por Swartzendruber) reportó que las pruebas usando la ecuación $F = AT^B$ se mantuvieron por 16 horas pero que A y B podían ser determinadas en solamente unas pocas horas.

3.3. Selección de las variables, diseño de muestreo y determinación del número de muestras. En la ecuación seleccionada ($F = AT^B$) el parámetro A representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial, por lo tanto depende de la capacidad momentánea del suelo de ab

sorber agua en el momento de su aplicación. El parámetro B indica la forma en que la infiltración se mantiene con el tiempo, por lo tanto depende de los cambios de las condiciones del suelo, resultante de la mojadura.

En el movimiento del agua en el suelo, el tamaño y distribución de los poros así como también su estabilidad relativa durante una tormenta, irrigación u otra aplicación del agua, son entre otros, factores importantes en la influencia de la infiltración. Como es difícil determinar éstos, se miden otros relacionados en ellos, tales como textura, porosidad, contenido de materia orgánica, densidad de las partículas, etc.

En suelos arenosos, los poros son relativamente estables, ya que las partículas de arena no son fácilmente desintegradas ni se hinchan cuando se mojan. Durante una tormenta o irrigación, ellas pueden reagruparse en una mezcla más densa que la original. Sin embargo, este cambio de condiciones de la arena es relativamente bajo en comparación con los cambios que ocurren en limos o arcillas.

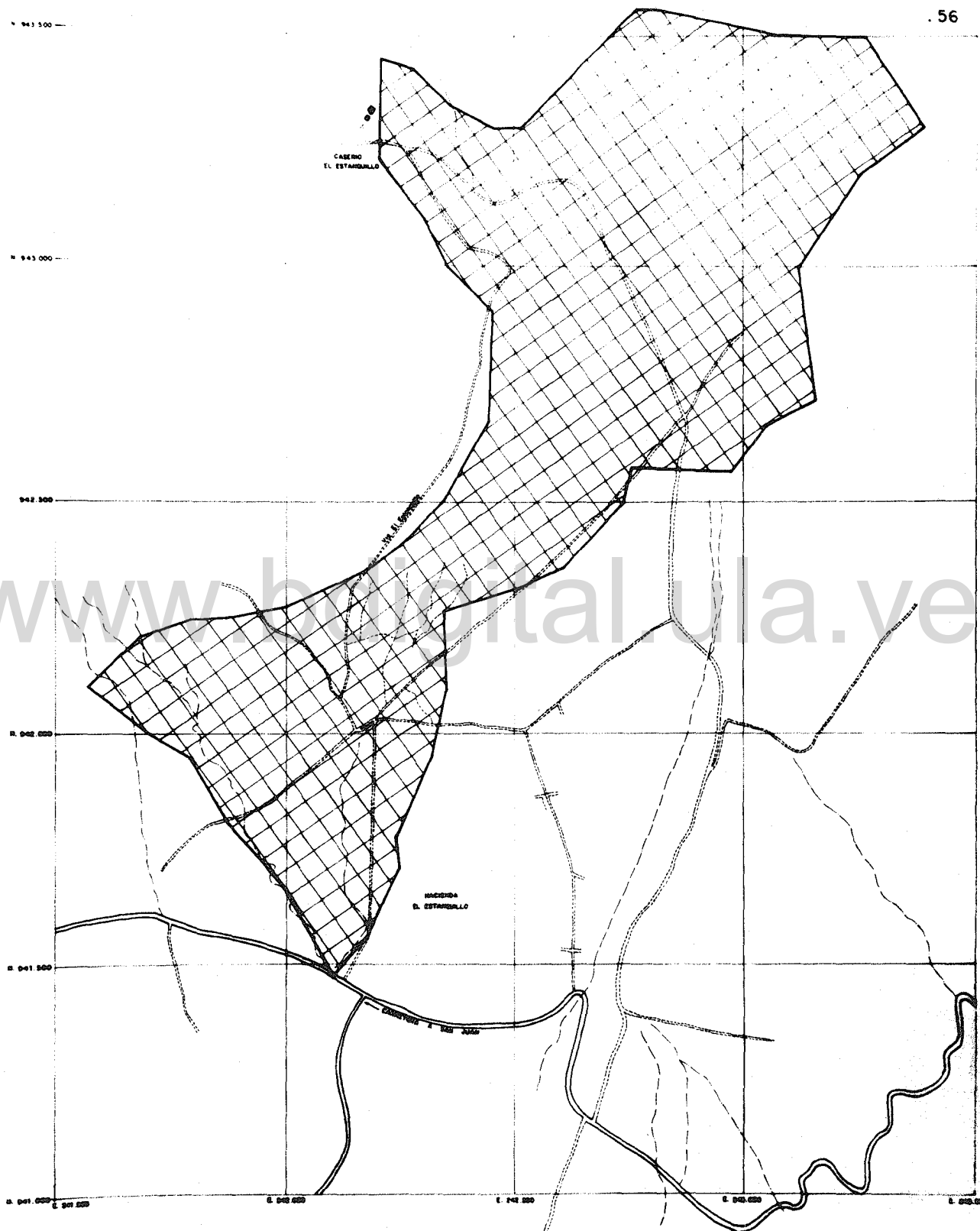
Los suelos con apreciable cantidad de limo o arcilla están sujetos durante una tormenta a la desintegración de los agregados los cuales en su estado seco pueden proporcionar poros relativamente grandes. También estos suelos normalmente contienen material coloidal, que en muchos casos se hinchan apreciablemente cuando húmedos. Enton-

ces, se lleva a cabo un deterioro de la masa mucho más fácil que en los suelos arenosos.

Muchos experimentos han demostrado que el tamaño y distribución de los poros están afectados por el contenido de materia orgánica, ya que el tamaño de los agregados del suelo como su estabilidad en el agua están relacionados con la cantidad de materia orgánica del suelo. Esto no solamente es cierto en limos y arcillas, sino también en la mayoría de los suelos que contienen material coloidal (Musgrave y Holtan, 1964).

Las variables consideradas en el presente trabajo fueron: contenido de humedad en porcentaje; textura en sus diversas proporciones de arena, arcilla y limo; el contenido de carbón orgánico en porcentaje; la densidad aparente en grs/cm^3 ; el espacio poroso total, lleno de aire y de agua en porcentaje.

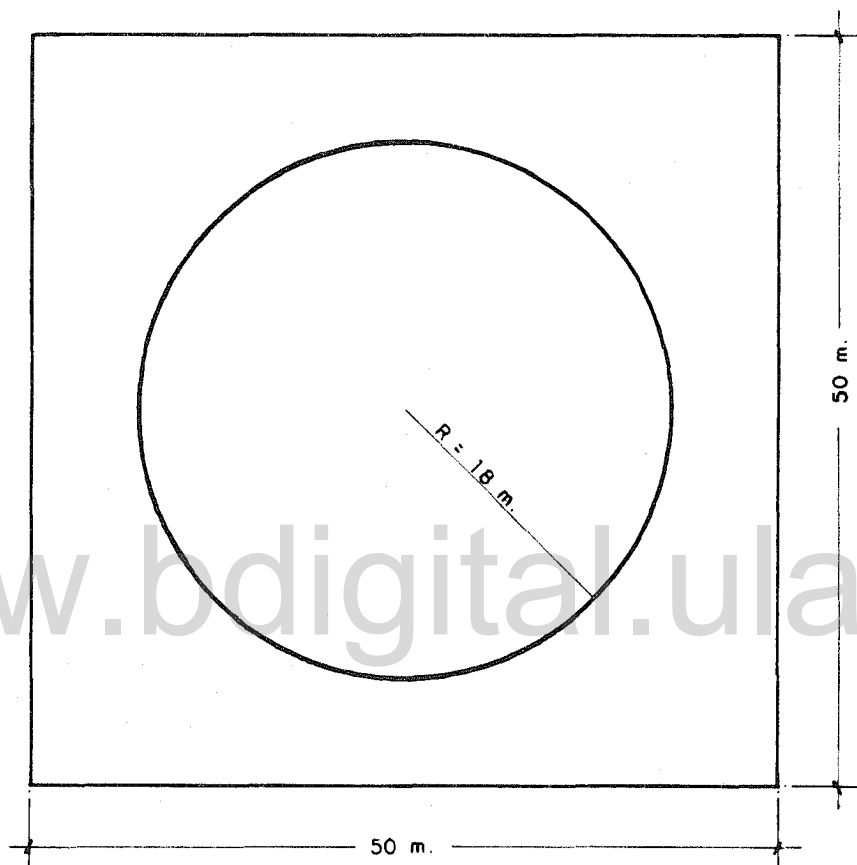
Para una mejor realización del trabajo de campo, el área se dividió en parcelas de 50 x 50 metros (plano Nº 3), dentro de las cuales se tomaron parcelas circulares de 1.000 m^2 (Figura Nº 15) para efectuar las pruebas de infiltración y la recolección de muestras de suelo. La selección de parcelas circulares se hizo en base al hecho de que con ellas se obtiene, para este tipo de estudios, una mejor representatividad de toda la parcela, lo cual es de importancia en virtud de la gran variabilidad de suelos existente de un sitio a otro por muy corto que sea.



PLANO Nº 3
 DISEÑO DE DISEÑO
 DEL AREA EN ESTUDIO
 SAN JUAN DE LAGUNILLAS - MERIDA
 COPIADO - 100 MTS. ALTA
 ESCALA - 1:5,000

LEYENDA

- LIMITE
- CARRETERA
- CARRILLO
- CORTADO



ESC. 1:500

Figura N° 15 .- DETALLE DE PARCELA CIRCULAR DE 1.000 m^2

La división así realizada, dió como resultado unas 400 parcelas, exceptuándose algunos sitios que presentaban dificultad para efectuar las pruebas o que no correspondían al tipo de suelo seleccionado.

Para la determinación del número de muestras, se realizó un muestreo exploratorio, sobre 10 parcelas tomadas al azar. En cada parcela se tomaron muestras de suelo, a fin de conocer la variabilidad de las propiedades consideradas en el presente estudio. Con esto se determinó el número total necesario, tomando como referencia la propiedad más variable, la que requeriría el mayor número de muestras. La fórmula usada fué la siguiente:

$$n = \frac{S\% ^2 t^2}{E\% ^2}$$

$$\text{donde: } S\% = \frac{S}{\bar{X}_i} \times 100$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{N}}{N-1}}$$

$$\bar{X}_i = \frac{\sum X_i}{N}$$

Asumiendo un error de muestreo (E%) del 10%, se determinó el número de muestras mínimo para cada variable.

En el Cuadro Nº 2 se dan los resultados obtenidos.

CUADRO Nº 2

RESULTADOS DE LA DETERMINACION
DEL NUMERO DE MUESTRAS

VARIABLE	NUMERO DE MUESTRAS
Contenido de humedad %	38
Densidad aparente grs/cm ³	1
Espacio poroso total %	1
Espacio poroso lleno de agua %	39
Espacio poroso lleno de aire %	18
Contenido de carbón orgánico %	6
Contenido de arena %	11
Contenido de arcilla %	11
Contenido de limo %	6

La variable con el más alto número de muestras resultó ser el espacio poroso lleno de agua, con 39, por lo tanto, se tomó como número total de muestras 40. Estas fueron seleccionadas al azar de las 400 parcelas en que se dividió el área, resultando por lo tanto una intensidad de muestreo del 10%.

3.4. Equipo utilizado. El tipo de infiltrómetro utilizado en este estudio, fué el desarrollado por Hills

(1970), en el cual un pequeño cilindro es introducido en el suelo; éste actúa tanto como un lindero o límite en la prueba de infiltración como un depósito o reservorio de agua. El agua se aplica al suelo por medio del cilindro y la tasa a la cual aquélla drena en el suelo dentro del cilindro es medida, con una regla graduada fijada a la botella del infiltrométero. La prueba se repite varias veces sobre el área estudiada de manera que se pueda obtener una visión general de la tasa a la cual el agua drena en el suelo. El infiltrométero está constituido por las siguientes partes (Figura Nº 16).

- 1) Cilindro construido de acero, de 10 a 12.5 cms. de diámetro interno, 15 cms. de longitud, biselado en el borde externo de la parte inferior y marcado a un intervalo de 5 cms. en la superficie externa.
- 2) Depósito de agua y accesorios. El depósito puede ser una botella de vidrio o de otro material (en muchos casos polietileno), herméticamente tapada ya sea con dispositivos atornillados o no, de volumen variable entre 2000 a 10000 cc. Los accesorios están constituidos por dos tubos de vidrio o aluminio de 10 a 15 cms. de longitud aproximadamente, perforados internamente entre 1 y 5 mm.
- 3) Soporte de madera. Constituido por 6 listones de madera de aproximadamente 20 cms. de longitud, clavados

entre sí y dispuestos de manera tal que la botella pueda ser introducida en el marco o recuadro formado por ellos. También se debe llevar al campo una tabla de madera dura y un mazo para introducir el cilindro en el suelo.

El procedimiento se puede resumir de la forma siguiente:

- 1) Conjunto de piezas de la botella. En la tapa de la botella se perforan dos aberturas, del mismo tamaño que el diámetro externo de los tubos de vidrio o aluminio. Los extremos de los tubos se insertan en esta tapa hasta que sobresalgan unos 5 cms. con una diferencia entre los extremos proyectados de 0.5 y 1.0 cm. Para probar el sistema alimentador, se llena la botella de agua hasta las $3/4$ partes, se invierte y los tubos proyectados se sumergen en un vaso, medio lleno de agua, de modo que los extremos de los tubos queden inmersos. No deberá haber fuga de aire de la botella. Entonces, se levanta la botella suavemente. Cuando el tubo más corto disipe el agua en el vaso, el aire fluirá hacia arriba por este tubo hasta la botella y entonces el agua fluirá hacia abajo por el tubo más largo hasta que el nivel del agua en el vaso ascienda a un nivel al cual nuevamente obstruya el tubo más corto. Si la botella se mantiene a un nivel constante y el agua va pasando continuamente hacia la base del cilindro, se mantiene entonces, una carga

constante en la base del mismo. La carga puede variar ya sea por cambio de longitud en los tubos o la altura de la botella sobre el suelo. (Figuras Nº 16 y 17). El diámetro interno de la botella se mide llenando ésta con cantidades conocidas de agua. En la parte externa de la botella se coloca una regla para leer directamente la caída del nivel del agua dentro del cilindro.

- 2) Conjunto de piezas de campo. Para introducir el cilindro de acero en el suelo, éste se golpea suavemente con un mazo hasta la profundidad requerida. Una plancha amortiguadora de madera sobre el cilindro ayuda a distribuir uniformemente la fuerza del mazo sobre el cilindro. Los 5 cms. marcados en la parte externa del cilindro indican la profundidad de inserción. No necesariamente la vegetación debe ser limpiada a menos que ésta obstaculize los tubos alimentadores.

El soporte de madera se coloca sobre el cilindro (Figuras Nº 16 y 17). Se invierte la botella llena de agua y se coloca verticalmente sobre el marco de madera. Inmediatamente comienzan las observaciones leyendo el menisco del nivel del agua dentro de la botella contra la escala externa.

Cuando una botella se vacíe, ésta puede llenarse de nuevo y continuar la prueba tan rápidamente como sea posible.

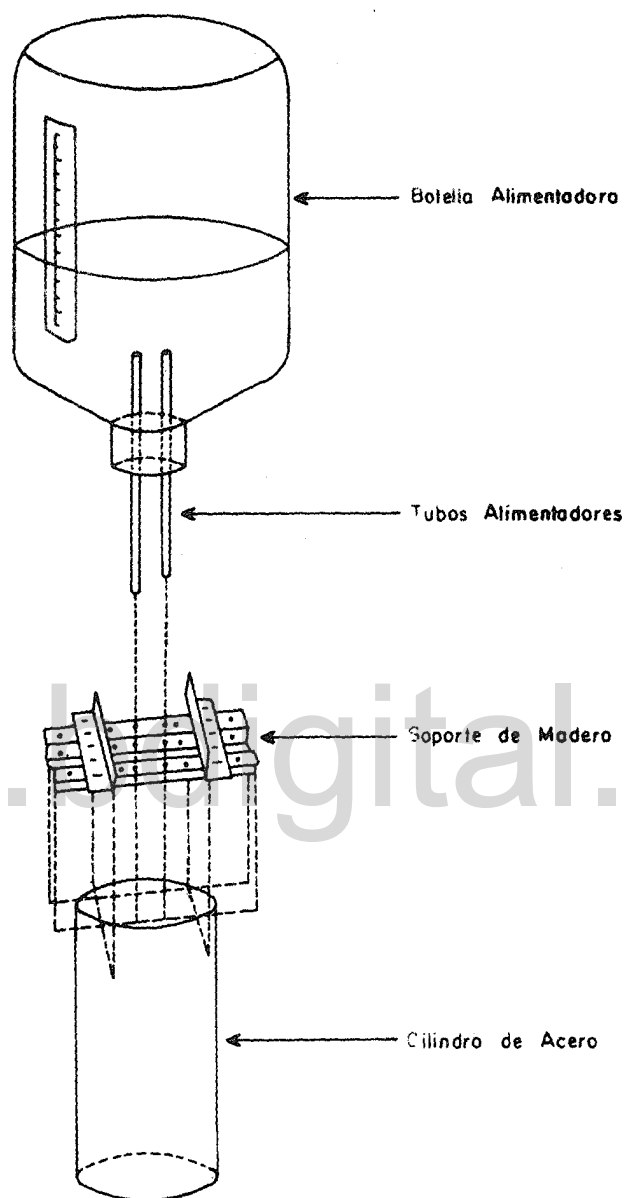


Figura Nº 16

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CONJUNTO DE PIEZAS
QUE FORMAN EL INFILTROMETRO DE CILINDRO.
(HILLS, 1970)

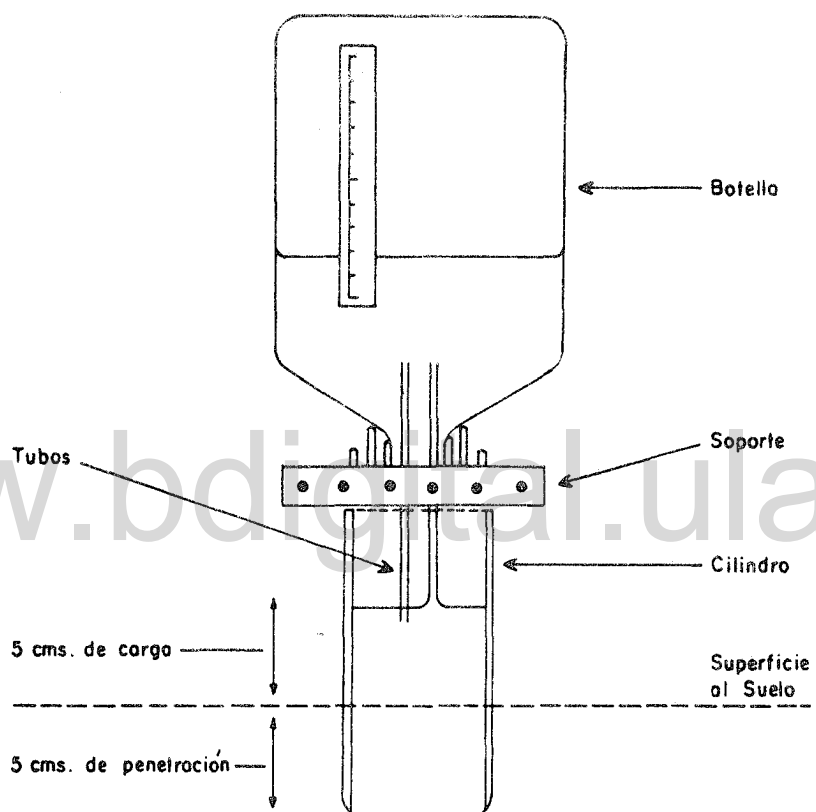


Figura Nº 17

DIAGRAMA QUE MUESTRA LA COLOCACION DEL EQUIPO
QUE FORMA EL INFILTROMETRO DE CILINDRO.

(HILLS, 1970)

El uso de pequeños cilindros para medir infiltración está justificado en términos de costo y replicabilidad. Sus ventajas prácticas son obvias considerando que son baratos de construir, portátiles y solamente necesitan pequeños suministros de agua.

La técnica ha estado sujeta a intensas críticas por dos razones. La primera concierne al error causado por la perturbación del suelo durante la inserción del cilindro, la que ha sido descrita por Horton (1940). La segunda razón es el error producido por la filtración lateral de bajo del cilindro, la que es considerada por Parr y Bertrand (1960) como la más importante.

Hills (1970), expresa lo siguiente con respecto a estos errores: (1) La perturbación del suelo durante el empla-zamiento es minimizada por simples precauciones. La parte inferior del cilindro debe ser delgada (1 mm.) y la inserción debe ser a poca profundidad (Ej. 5 cm.). Existe menos perturbación si se usan cilindros pequeños (Ej. 10 cms. de diámetro) porque éstos pueden ser fácilmente mantenidos a nivel cuando se introducen en el suelo. Una plancha de madera debería ser usada de modo que el cilindro pueda ser introducido en el suelo firmemente.

Suelos con una buena cobertura vegetal, un alto contenido de materia orgánica y una buena estructura no son fácilmente perturbados. Sin embargo, en ciertas condiciones,

tales como donde el perfil es muy pedregoso o donde hay una costra compacta por el golpeteo de la lluvia en la superficie del suelo o donde se presenta un estrato superficial de enraizamiento intensivo, la inserción del cilindro puede perturbar seriamente el suelo. De todas maneras, una excesiva perturbación puede ser fácilmente reconocida cuando se inserta el cilindro y entonces la muestra debe ser descartada. La presencia de pedotúbulos pueden conducir a valores de infiltración excesivamente altos y no representativos. (2) El flujo lateral del agua es difícil de corregir, porque la cantidad de filtración lateral varía de un suelo a otro y de una manera irregular dependiendo de la difusión de drenaje en el perfil. Se pueden considerar cinco vías posibles a este problema:

- (a) la filtración lateral puede ser ignorada completamente. Esto se justifica si solamente son necesarias mediciones relativas entre sitios y siempre que los resultados no sean usados para predecir infiltración por lluvia.
- (b) Pueden excavar secciones transversales al área donde tiene lugar la prueba, pudiéndose visualizar la cantidad de filtración y tomarse muestras de humedad de suelo. El método aumenta considerablemente el tiempo de muestreo, hay un tiempo de retraso entre la prueba y la excavación final, lo que permite un movimiento más amplio del frente húmedo y finalmente hay dificultad para identificar el frente húmedo en un suelo mojado.
- (c) Puede usarse

una "zona amortiguadora" colocándose un segundo cilindro más grande alrededor del más pequeño e inundándose el espacio entre los dos. El agua entre el aro interno y el externo penetra al suelo y se supone que actúa como una barrera para desalojar el agua lateralmente del cilindro central en el cual se mide la infiltración. La técnica ha sido estudiada experimentalmente (Swartzendruber y Olson, 1961) y encontraron que era bastante efectiva. Desafortunadamente, en suelos cultivados, la validez de la técnica es cuestionable a causa de la irregularidad de los cuerpos húmedos producidos bajo el cilindro central y el externo. (d) El diámetro del cilindro a usar puede incrementarse de modo que la cantidad de agua que pase lateralmente sea insignificante en relación al área disponible para la infiltración. Tanto esto como el uso de un cilindro más grande incrementan la cantidad de equipo en el campo, el volumen de agua requerida y la probabilidad de perturbación. (e) Se pueden construir curvas de calibración para pequeños cilindros de modo que se pueda predecir la capacidad de infiltración de éstos a partir de resultados esperados para cilindros grandes o de tamaño infinito, en el mismo medio. La construcción de tales curvas es bastante simple pero exige trabajo de laboratorio antes del trabajo de campo.

3.5. Pruebas de infiltración y recolección de muestras.

Cada una de las 40 parcelas seleccionadas al azar se di-

vidió en tres partes, para lo cual se tomó el centro de cada parcela y a partir de éste se midieron radios de 18 metros aproximadamente. En cada uno de estos tres puntos para cada parcela, se colocaron los infiltrómetros, introduciendo el cilindro a 5 cms. de profundidad en el suelo, sobre éste se colocó el marco de madera y encima de él, la botella suministradora de agua (Figura Nº 18). Por lo tanto, en cada parcela circular habían tres infiltrómetros (Figuras Nº 19 y 20). Las lecturas se efectuaron simultáneamente en los tres infiltrómetros, leyendo de la regla colocada en la parte externa de la botella la cantidad de agua infiltrada a diferentes intervalos de tiempo y por un lapso total de dos horas, ya que se comprobó que no era necesario un tiempo mayor puesto que la tasa de infiltración se mantuvo constante aún antes de las dos horas.

Como equipo adicional, fué necesario llevar a cada parcela un depósito de agua de 15 litros para ir suministrando el líquido de aquéllas botellas que se iban vaciando durante la prueba.

La introducción del cilindro se hizo colocándolo sobre él una plancha de madera golpeando suavemente con un mazo hasta la profundidad de 5 cms. evitando en todo momento la perturbación del suelo y cuando esto ocurría se variaba de lugar dentro de la misma parcela.

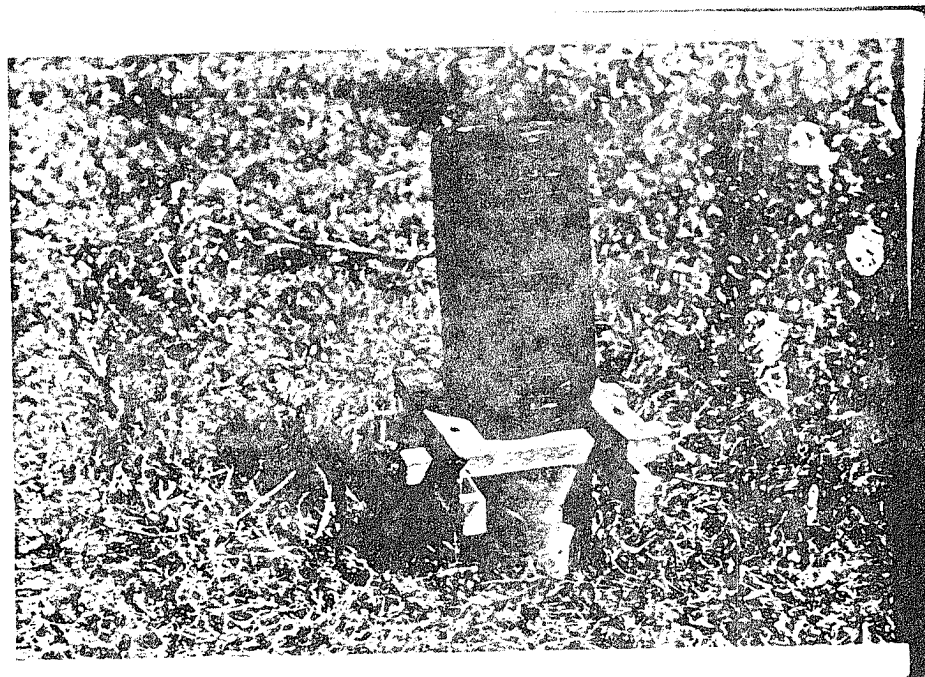


Figura Nº. 18. Colocación del infiltrómetro en el campo.

www.bdigital.ula.ve

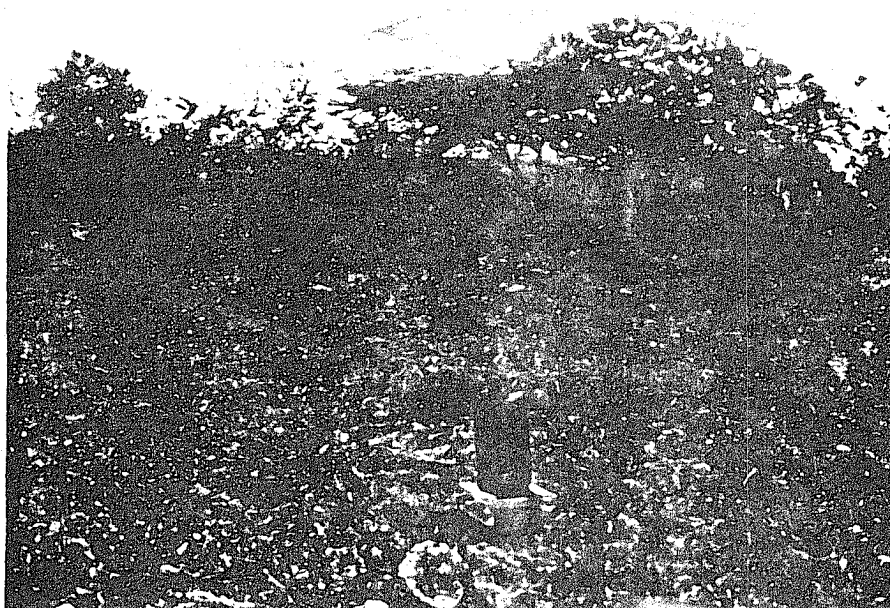


Figura Nº. 19. Ubicación de los tres infiltrómetros en la parcela.

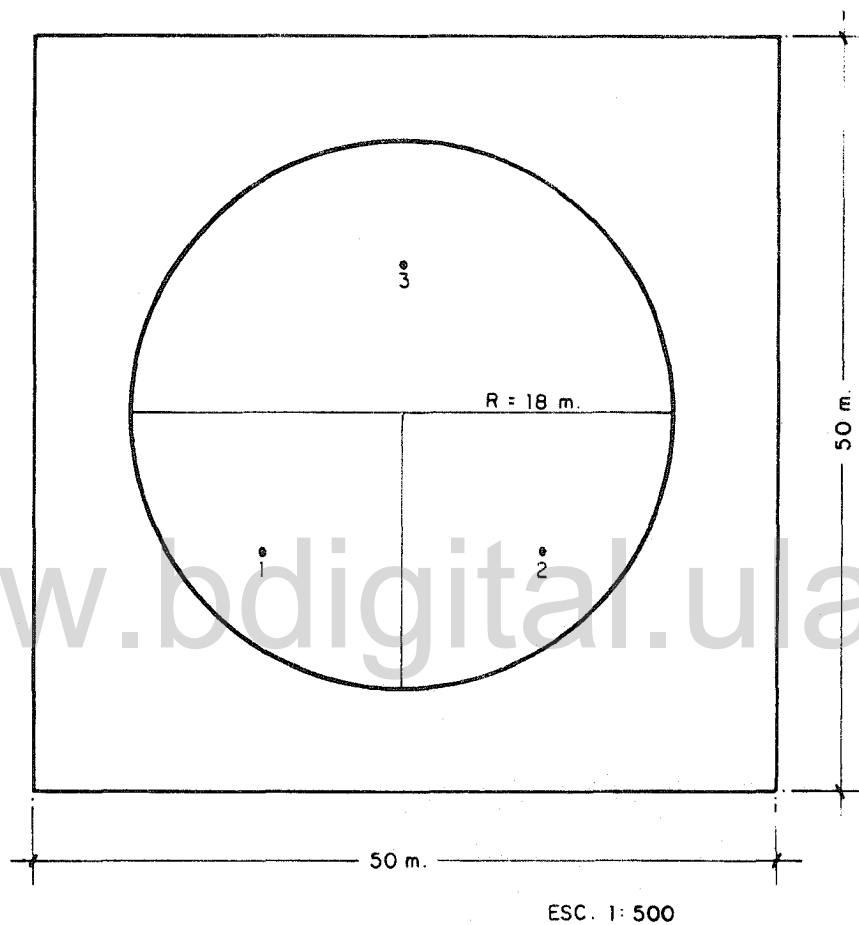


Figura N° 20.- DISPOSICION DE LOS INFILTROMETROS EN LA PARCELA CIRCULAR (Los números 1,2,3 CORRESPONDEN A LA UBICACION DE LOS INFILTROMETROS)

Debido al gran porcentaje de piedras en el área y a la compactación de algunos sitios, fué necesario, en ciertos casos, variar de posición dentro de la misma parcela, ya que se hacía difícil introducir los cilindros en el suelo.

El cálculo de la infiltración acumulada se hizo restando la última lectura de la anterior, acumulándola para los diferentes intervalos de tiempo.

En el Apéndice 1.1. se muestra la planilla usada durante la prueba.

En cada parcela y adyacente a cada uno de los tres infiltrómetros, se tomaron muestras superficiales de suelos para su análisis en el laboratorio. La circunstancia de la pedregosidad en el área imposibilitaron el uso del barrenó.

3.6. Análisis de laboratorio. Las muestras de suelo tomadas durante las pruebas, fueron trasladadas el mismo día al Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía, donde fueron preparadas para su análisis por los métodos normales.

En la determinación del contenido de humedad se usó el método gravimétrico (Forsythe, 1975).

La determinación de la textura se realizó por el método de Bouyoucos (Forsythe, 1975).

En la determinación de la densidad aparente se usó el mé

todo del terrón parafinado, en el cual los terrones son seleccionados cuidadosamente de manera que no sufran compactación (Forysthe, 1975).

La densidad real o densidad de las partículas se determinó usando el picnómetro.

El contenido de materia orgánica y por consiguiente el contenido de carbón orgánico, se determinó utilizando el método de Walkley-Black, en el cual se ataca solamente el carbono de la materia orgánica.

El espacio poroso total, espacio poroso lleno de agua y espacio poroso lleno de aire se calcularon mediante las fórmulas conocidas, en base a la densidad aparente, la densidad real y el contenido de humedad.

3.7. Análisis y Procesamiento de datos. Para los efectos de análisis de los datos se utilizaron las técnicas de regresión y correlación, tanto lineal como múltiple, detalles de lo cual se da en el siguiente capítulo.

IV.- RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se indica la forma como se procesaron los datos y se analizan los resultados. En el Apéndice 1.2 se dan los valores de infiltración acumulada obtenidos en las pruebas de campo; en el Apéndice 2.1 se señalan los datos de las propiedades del suelo determinadas en el laboratorio y los otros calculados a partir de las mismas.

El procesamiento de los datos se hizo mediante programas de computación, utilizando el lenguaje BASIC y el paquete SAS.

4.1. Elaboración de las curvas de infiltración acumuladas. Mediante el uso del lenguaje Basic, se programaron los datos de las pruebas de infiltración con los valores de tiempo, en minutos, representados en el eje de las "X"s y los de infiltración acumulada, en centímetros, en el eje de las "Y"s. Al procesarlos en el Sistema 9830 de la HEWLETT PACKARD del Instituto de Estadística Aplicada y Computación de la Facultad de Economía, se produjeron curvas de infiltración acumuladas, tal como se aprecia, por ejemplo, en las figuras 21 al 24 y en el Apéndice 1.3. Se elaboraron un total de 120 curvas, producto de tres pruebas por cada una de las cuarenta parcelas seleccionadas.

Este sistema produjo gráficos, ubicando punto por punto

IV.- RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se indica la forma como se procesaron los datos y se analizan los resultados. En el Apéndice 1.2 se dan los valores de infiltración acumulada obtenidos en las pruebas de campo; en el Apéndice 2.1 se señalan los datos de las propiedades del suelo determinadas en el laboratorio y los otros calculados a partir de las mismas.

El procesamiento de los datos se hizo mediante programas de computación, utilizando el lenguaje BASIC y el paquete SAS.

4.1. Elaboración de las curvas de infiltración acumuladas. Mediante el uso del lenguaje Basic, se programaron los datos de las pruebas de infiltración con los valores de tiempo, en minutos, representados en el eje de las "X"s y los de infiltración acumulada, en centímetros, en el eje de las "Y"s. Al procesarlos en el Sistema 9830 de la HEWLETT PACKARD del Instituto de Estadística Aplicada y Computación de la Facultad de Economía, se produjeron curvas de infiltración acumuladas, tal como se aprecia, por ejemplo, en las figuras 21 al 24 y en el Apéndice 1.3. Se elaboraron un total de 120 curvas, producto de tres pruebas por cada una de las cuarenta parcelas seleccionadas.

Este sistema produjo gráficos, ubicando punto por punto

los datos asignados, sin efectuar ningún ajuste. Posteriormente, en algunos casos, mediante el uso de plantillas, las curvas fueron ajustadas de acuerdo a su tendencia (Figura Nº 23 y 24). En otros casos, esto no fue necesario (Figuras Nº 21 y 22), ya que se obtuvieron curvas bien definidas.

De las curvas obtenidas, se aprecia que éstas siguen el comportamiento general del proceso de infiltración: la pendiente es bastante pronunciada en los primeros 5 a 10 minutos, (particularmente donde el suelo está inicialmente seco), reflejando una alta tasa de infiltración inicial; después de este período, tiende a cero, significando una reducción en la tasa de infiltración a medida que el suelo se satura. La infiltración acumulada, que es la integral de la tasa de infiltración con respecto al tiempo, tiene una tendencia curvilínea cuando las escalas de ambos ejes son aritméticas.

Para un período total de dos horas se encontraron valores de infiltración total acumulados que oscilaron entre 4.0 y 107,3 cm. en las parcelas 19 y 11, respectivamente (Figuras 25 y 26). Sin embargo, estos valores extremos fueron poco frecuentes, estando más característicamente entre 7,0 y 24,0 cms. Dentro de las parcelas también se observó variabilidad, aunque, en baja frecuencia; por ejemplo, en la parcela 7, la prueba A alcanzó 6,3 cms.

(Figura Nº 27), mientras que en la prueba C alcanzó 22,3 cms. (Figura Nº 28). En ciertos casos, (Figura Nº 29), la infiltración alcanzó rápidamente un valor constante que se mantenía durante el resto del tiempo que duró la prueba y por eso se aprecia una línea casi paralela al eje X; esto puede ser debido a un contenido de humedad inicial alto o a la compactación del suelo. Todos estos valores encontrados son producto de la gran variabilidad de los suelos, aún dentro de una misma parcela, lo cual indica que el área seleccionada no mostraba la homogeneidad que se presumía. La reducida área de la base del cilindro aumenta considerablemente el efecto de esa heterogeneidad.

4.2. Determinación de las constantes de infiltración.

Una vez elaboradas las curvas y hecho los ajustes en aquellas que así lo ameritaban, se procedió a tomar puntos a lo largo de las mismas (Apéndice 1.4), para usarlos en un análisis de regresión simple para el ajuste de la ecuación $F = AT^B$. Para esto se usó una transformación logarítmica, quedando la expresión de la siguiente forma: $\log F = \log A + B \log T$. Para el cálculo de las constantes A y B, se utilizó el paquete estadístico SAS (Barr, et al, 1976), realizándose el procesamiento en el Centro de Computación de la ULA.

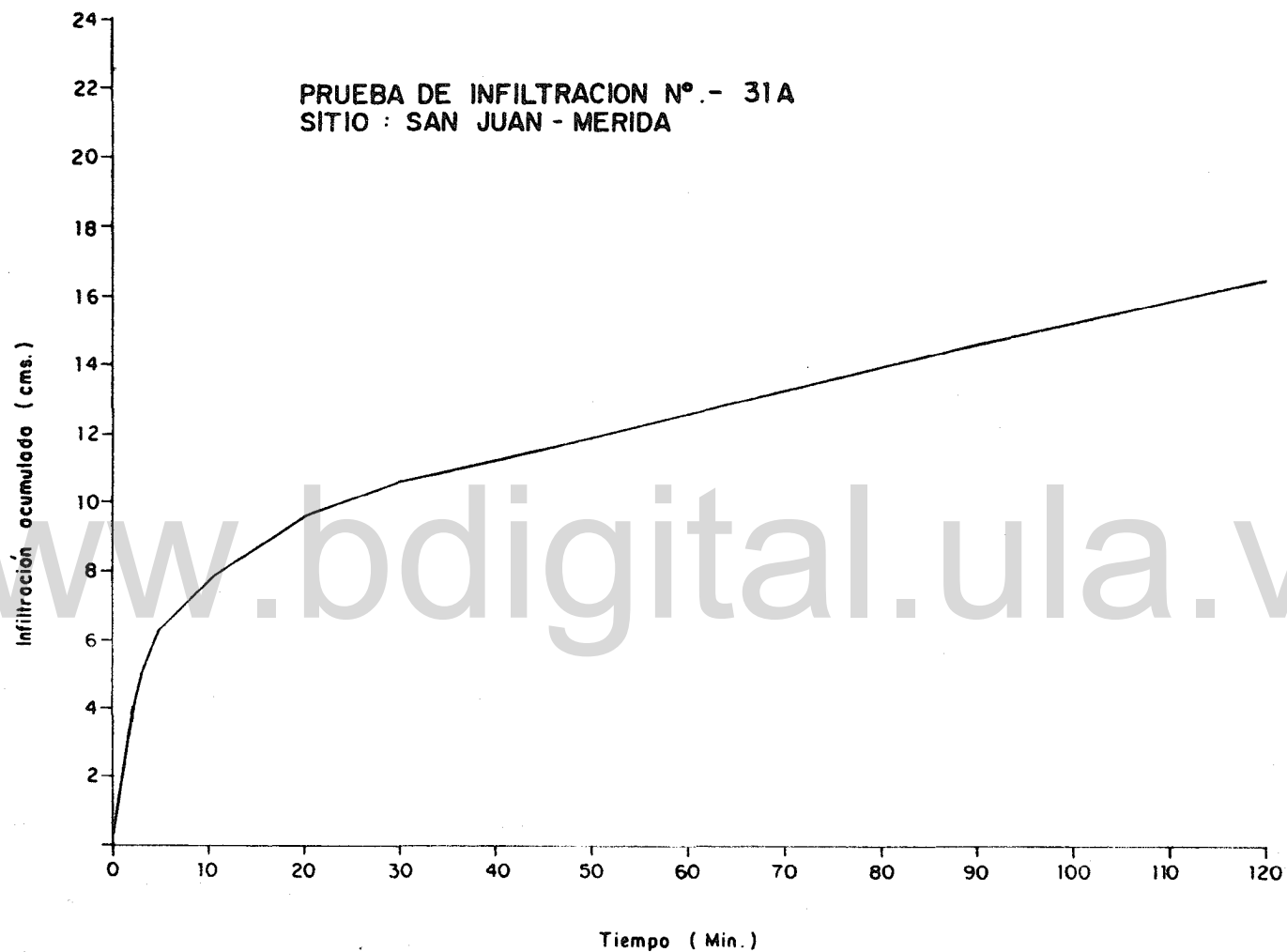


Figura N° 21

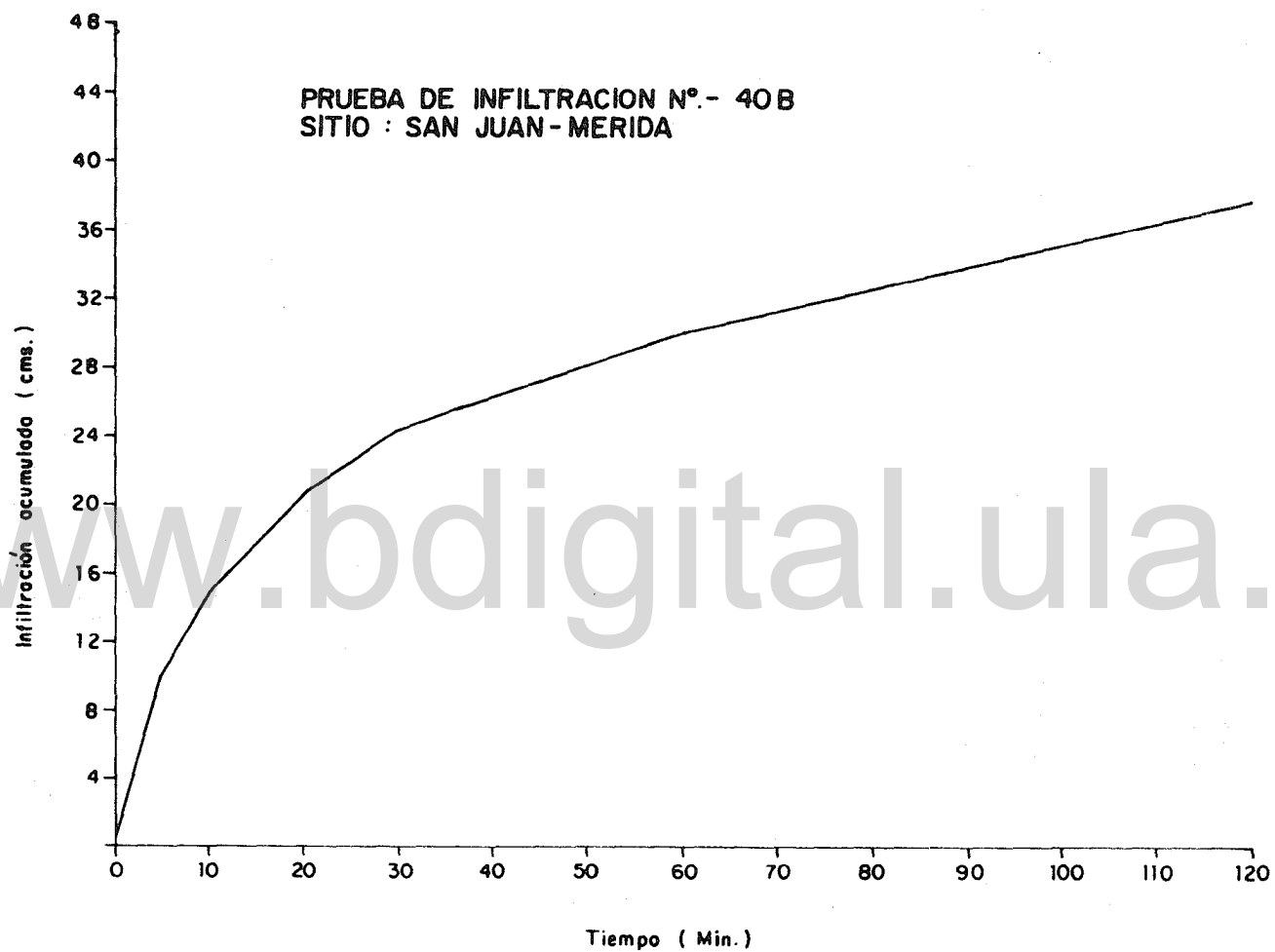


Figura N° 22

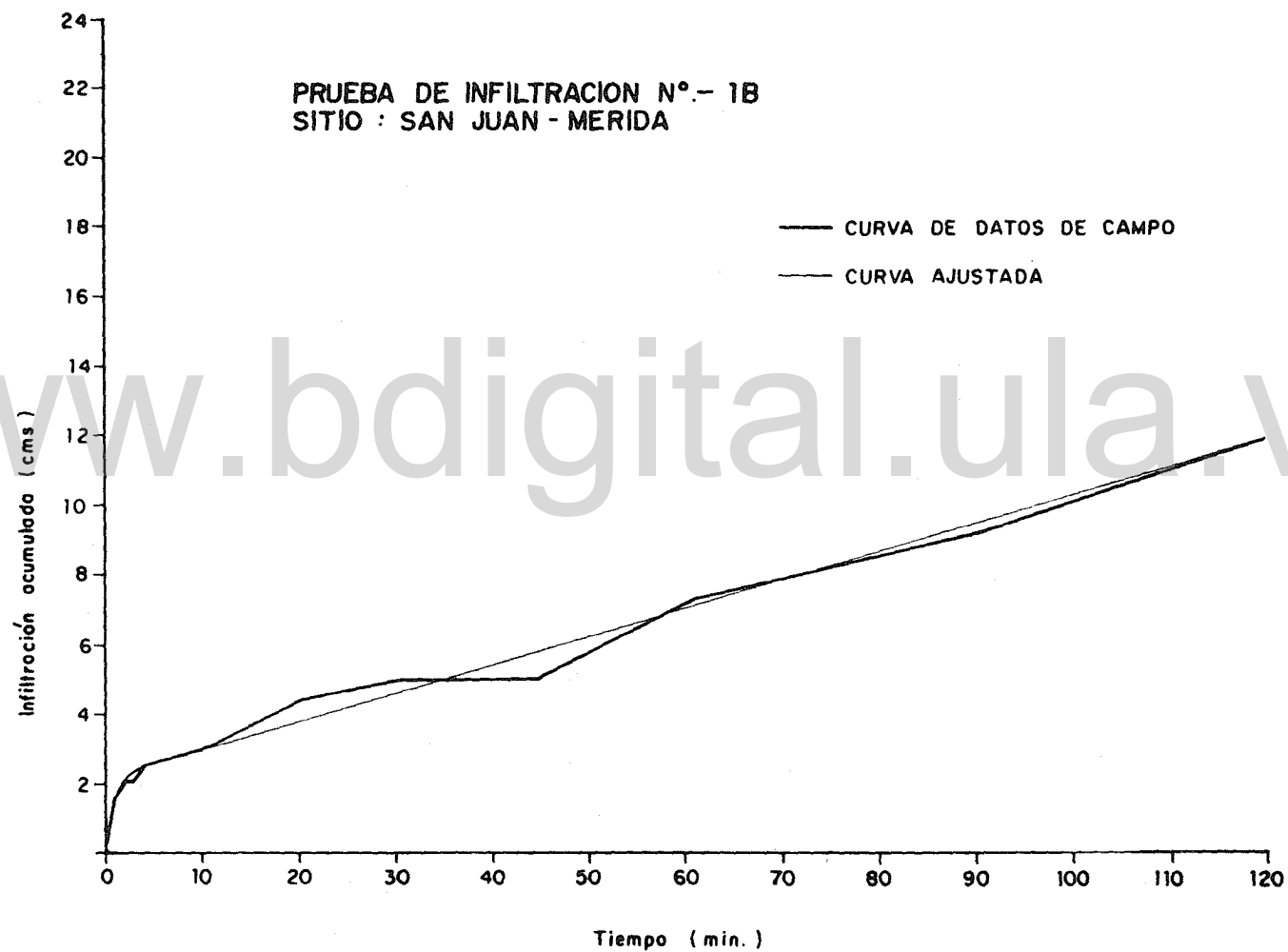


Figura N° 23

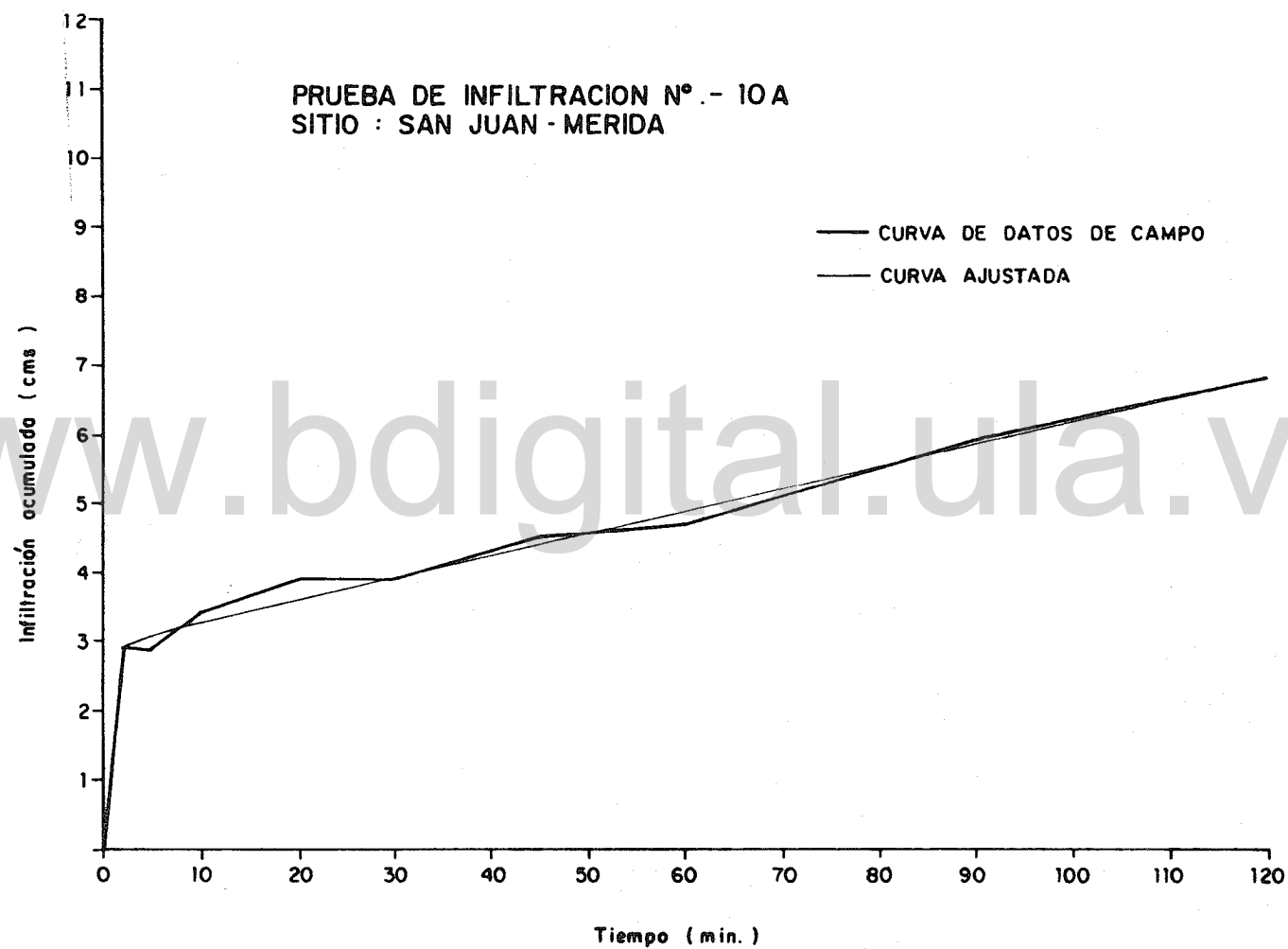


Figura N° 24

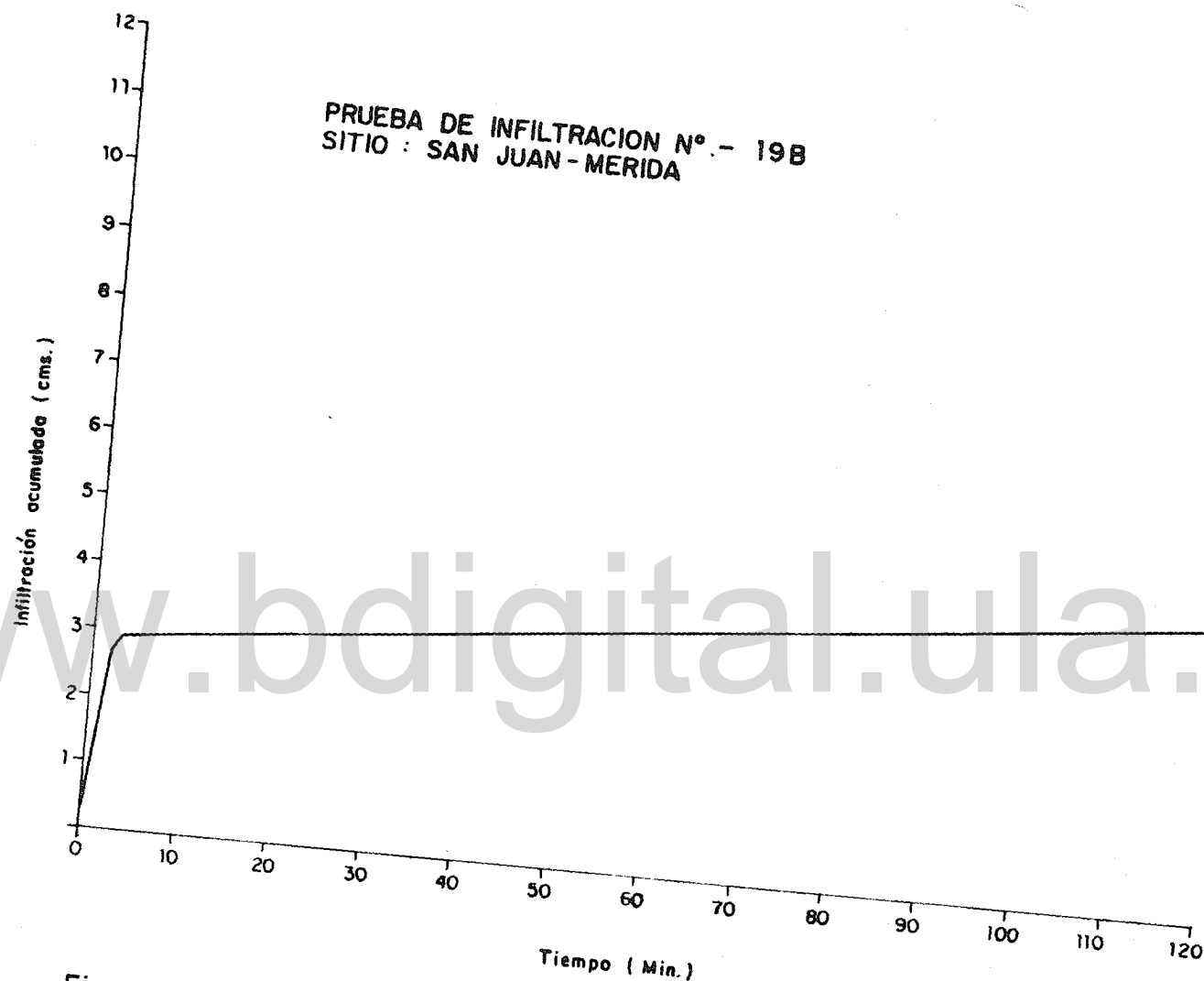


Figura N° 25

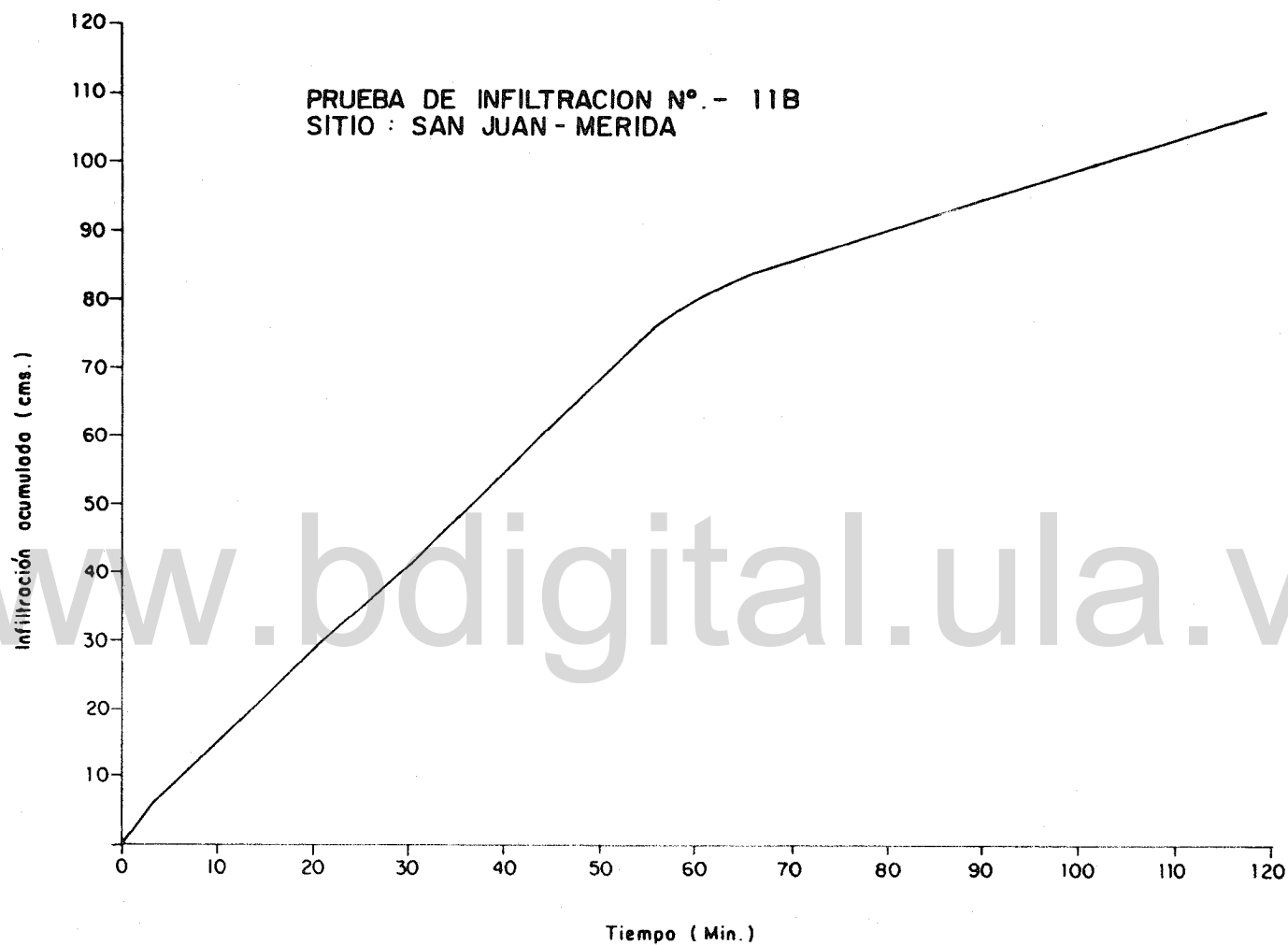


Figura N° 26

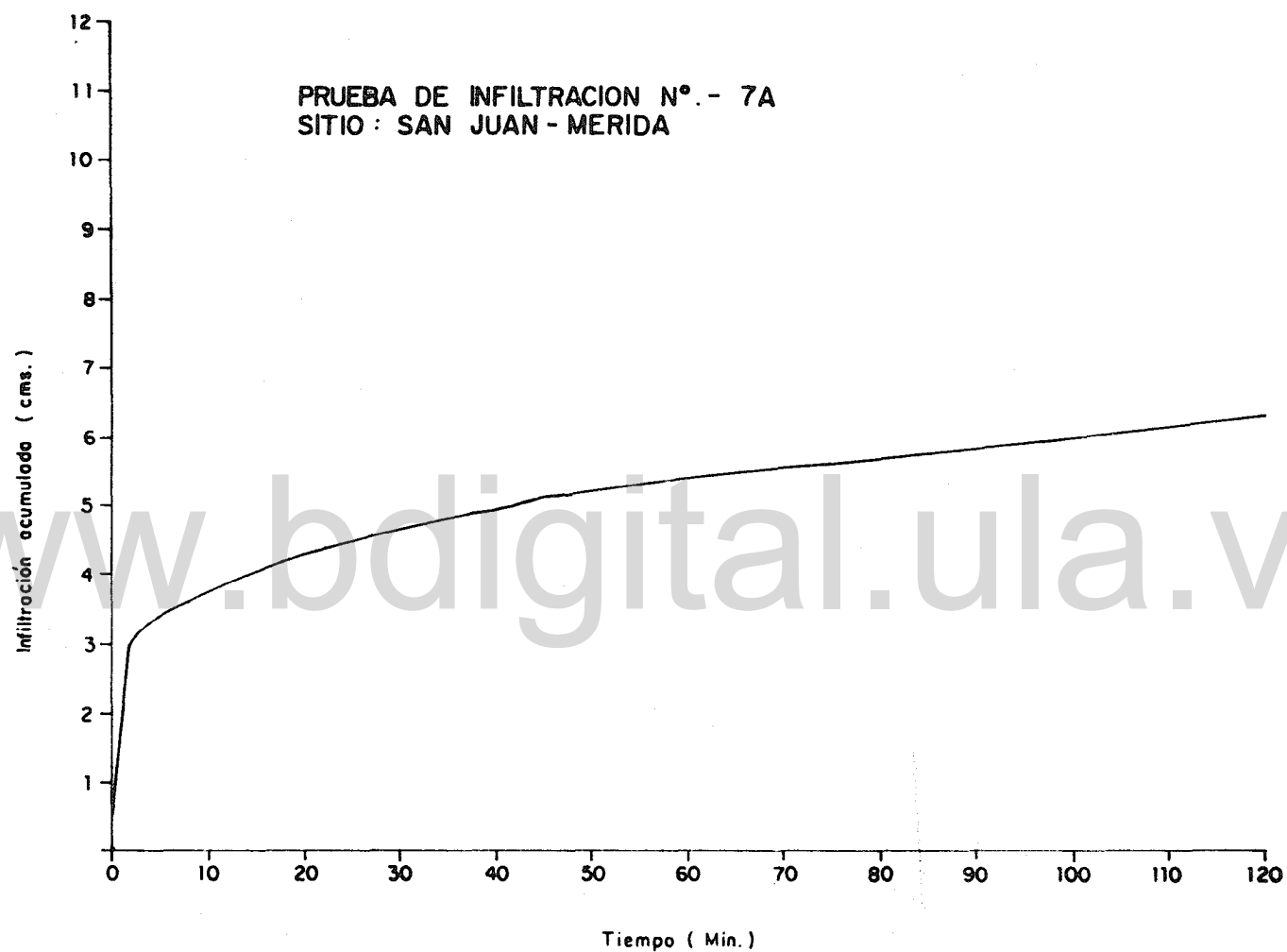


Figura N° 27

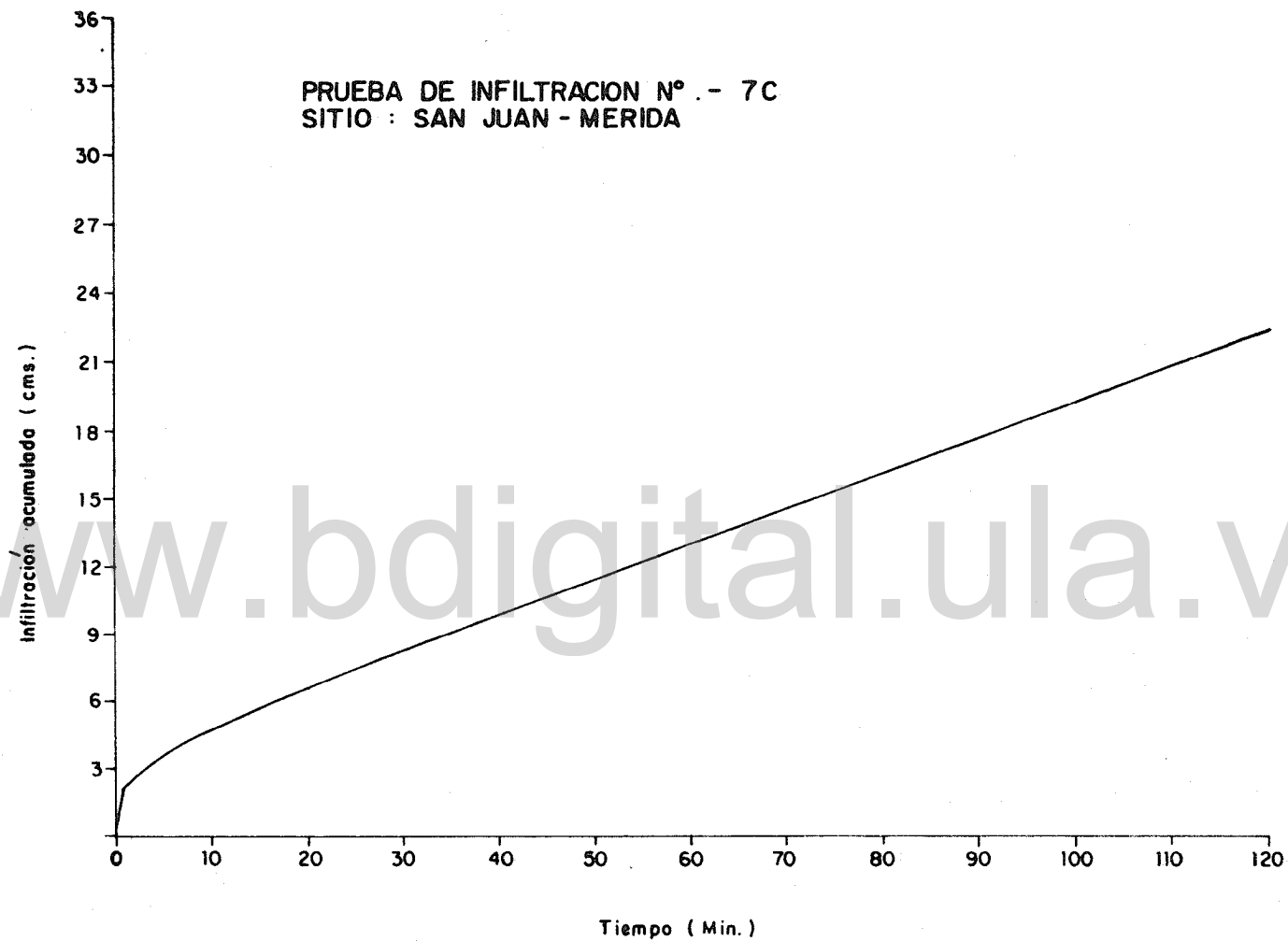


Figura N° 28

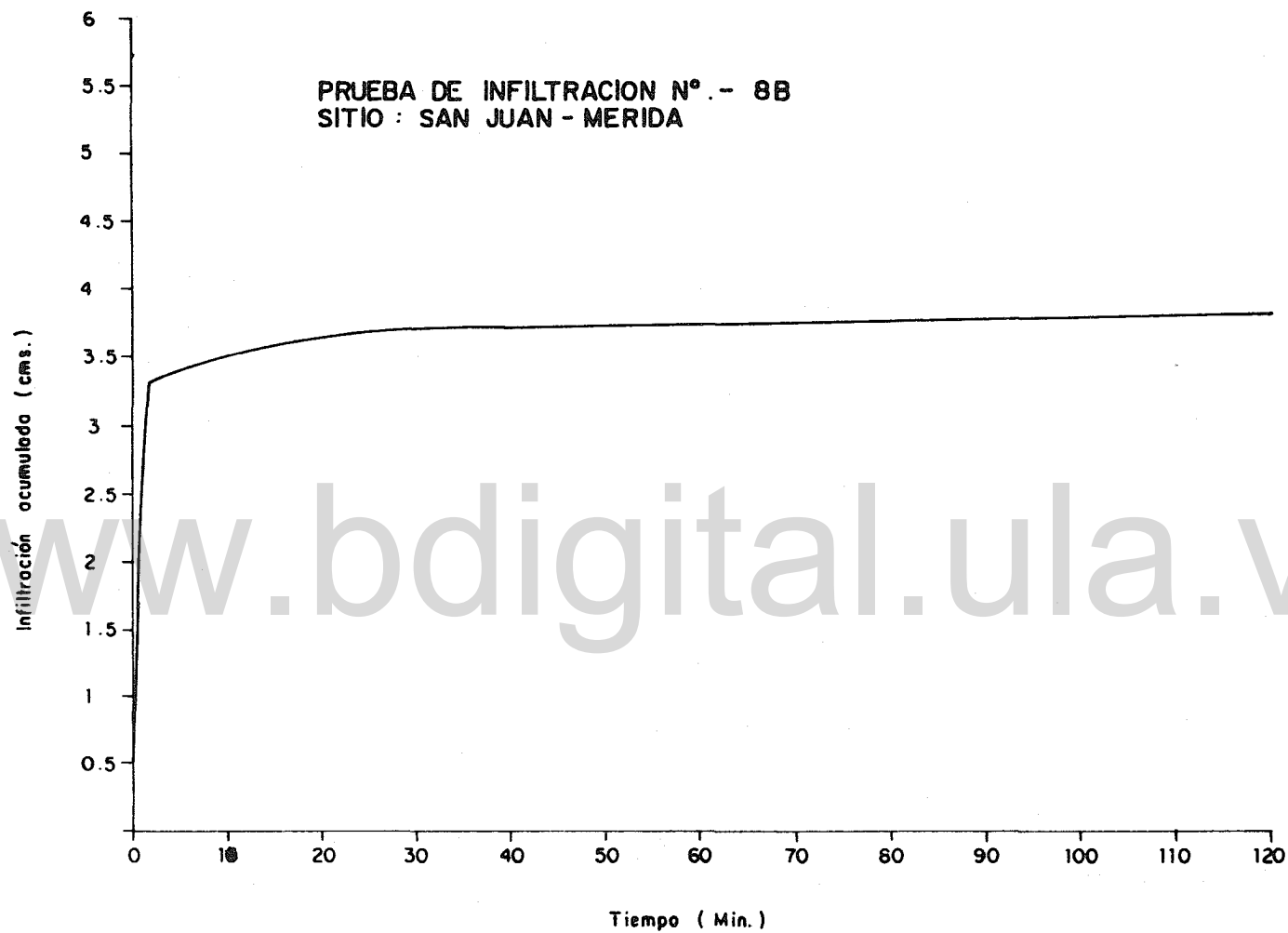


Figura N° 29

El Cuadro Nº 3, muestra los valores de las constantes A y B, los valores del coeficiente de determinación, R^2 , el coeficiente de variación, CV%, y los valores de la F de Snedecor para cada parcela, obtenidos de la regresión, usando los valores individuales para cada una de las 3 muestras por parcela.

De este cuadro se aprecia que la constante A, que es un estimado de la tasa promedio de infiltración para el intervalo inicial de tiempo, varió desde un valor - de 1,70 en la parcela 26 hasta un valor de 3,18 en la parcela 40. La constante B, que es un estimado de la razón entre la tasa instantánea y la tasa promedio de infiltración, tuvo valores de 0,15 en la parcela 8 hasta 0,81 en la parcela 11, indicativo de gran variabilidad, dado que sus extremos de fluctuación son 0 y 1.

Forsythe (1975), informa que Free, Carlton y Gustafson, usando un método con un solo cilindro, encontraron en 68 tipos de suelo, que B tenía un valor entre 0,04 y 0,82 y A entre 1,0 y 0,0087. (F la determinaron en pulgadas y T en minutos).

Los valores del coeficiente de determinación, R^2 , oscilaron entre 0,59 y 0,99. Hay que destacar que en sólo 11 parcelas el valor de R^2 estuvo por debajo del 75%. En todos los casos, sin embargo, el porcentaje de variabilidad explicado por la regresión, pasa del 50%.

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA REGRESION SIMPLE

(VALORES INDIVIDUALES)

PAR- CELA	CONSTANTE A	CONSTANTE B	R ²	C.V. %	F **
1	1,85358	0,35442	0,862	14,67	211,64
2	1,94361	0,55111	0,909	13,23	339,54
3	1,97794	0,36555	0,867	13,95	221,29
4	2,37867	0,29612	0,744	16,52	98,87
5	2,31179	0,43620	0,915	10,70	366,77
6	2,28413	0,34823	0,793	16,30	130,40
7	2,20635	0,30417	0,722	18,93	88,28
8	2,07943	0,15083	0,657	15,34	65,14
9	1,84504	0,31190	0,731	21,10	92,49
10	2,26536	0,34779	0,693	21,36	76,60
11	2,08168	0,80797	0,987	5,22	2572,88
12	1,90729	0,43432	0,760	21,88	107,56
13	2,33300	0,56399	0,942	9,59	555,39
14	2,24216	0,68195	0,986	5,03	2378,82
15	2,64258	0,27476	0,863	10,30	213,61
16	1,86164	0,51050	0,893	14,42	284,38
17	1,82166	0,69544	0,991	4,43	3663,42
18	2,13391	0,47963	0,781	20,12	121,49
19	2,21592	0,21217	0,592	20,72	49,29
20	2,23680	0,36307	0,816	15,65	150,73
21	2,19610	0,46440	0,809	18,27	144,24
22	2,30200	0,6159	0,959	8,32	794,93
23	2,07723	0,58634	0,971	7,19	1124,32
24	1,97493	0,66675	0,977	6,81	1418,04
25	1,73727	0,50388	0,903	14,12	316,22
26	1,70060	0,40767	0,815	19,44	149,60
27	1,75315	0,56560	0,741	26,24	97,06
28	1,97750	0,28333	0,850	13,34	192,13
29	1,88817	0,73420	0,947	10,85	610,60
30	1,90298	0,39724	0,613	29,93	53,87
31	2,56130	0,29756	0,679	18,92	71,94
32	2,29647	0,20532	0,729	14,52	91,55
33	2,08355	0,52187	0,828	18,09	163,75
34	2,07750	0,22599	0,792	13,92	129,43
35	1,92929	0,64059	0,957	9,31	756,71
36	1,89456	0,32628	0,717	21,89	86,13
37	2,40582	0,21137	0,787	12,20	125,50
38	2,16408	0,21969	0,738	15,44	95,76
39	1,81495	0,36465	0,780	19,93	120,58
40	3,17920	0,56247	0,951	7,71	666,26

** Todos fueron altamente significativos a un nivel de probabilidad del 1%.

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA REGRESION SIMPLE
(VALORES PROMEDIOS)

PAR- CELA	CONSTANTE A	CONSTANTE B	R ²	C.V. %	F **
1	1,94847	0,34215	0,970	6,55	322,54
2	1,93959	0,56307	0,987	5,11	771,09
3	1,99124	0,36786	0,939	9,63	154,19
4	2,34616	0,30303	0,955	6,76	212,99
5	2,30671	0,44388	0,991	3,57	1119,23
6	2,24141	0,36752	0,960	7,17	241,81
7	2,13977	0,33266	0,977	5,35	417,17
8	2,12509	0,14716	0,933	5,85	138,92
9	1,89960	0,31633	0,977	5,65	418,41
10	2,25929	0,36905	0,967	6,49	292,97
11	2,08557	0,81074	0,998	2,06	5505,97
12	1,86061	0,47032	0,979	6,35	462,27
13	2,34707	0,56839	0,987	4,71	768,04
14	2,25019	0,68211	0,993	3,77	1408,51
15	2,65057	0,27494	0,895	9,39	85,53
16	1,84031	0,52691	0,979	6,59	467,93
17	1,83496	0,69392	0,997	2,80	3046,40
18	2,10854	0,51342	0,985	5,19	647,80
19	2,17553	0,23140	0,901	9,38	91,08
20	2,21501	0,37795	0,971	6,35	330,71
21	2,18746	0,50757	0,982	5,57	537,71
22	2,29207	0,62129	0,981	6,03	509,80
23	2,07040	0,59046	0,988	4,77	858,89
24	1,97104	0,67102	0,994	3,78	1539,90
25	1,71754	0,51815	0,985	5,66	675,54
26	1,69358	0,42547	0,980	6,32	487,46
27	1,71657	0,61601	0,987	5,58	765,17
28	1,96879	0,29076	0,976	5,43	399,16
29	1,89817	0,74490	0,997	2,66	3405,69
30	1,82281	0,45003	0,980	6,16	488,11
31	2,56011	0,31249	0,911	9,40	102,53
32	2,33671	0,20207	0,836	10,90	50,98
33	2,02706	0,55252	0,980	6,26	487,34
34	2,09686	0,22521	0,887	10,24	78,15
35	1,94403	0,64362	0,987	5,27	785,45
36	1,87152	0,34781	0,947	9,10	178,22
37	2,40513	0,21201	0,805	12,33	41,16
38	2,18567	0,22041	0,870	10,59	67,10
39	1,80377	0,38152	0,962	8,07	255,83
40	3,17952	0,56281	0,954	7,98	207,00

** Todos fueron altamente significativos a un nivel de probabilidad del 1%.

El valor de la F de Snedecor fué, en todos los casos, estadísticamente significativa a un nivel de probabilidad del 1%.

El coeficiente de variación, CV%, osciló entre 4,4% y 29,93%, considerándose por lo tanto, que la variación es de baja a moderada.

El procedimiento, antes descrito, se usó también con los valores promedios de cada parcela, cuyos resultados se muestran en el Cuadro Nº 4. De éste se aprecia que los valores de las constantes A y B no varían mucho con respecto a los calculados usando valores individuales (Cuadro Nº 3). El coeficiente de determinación, R^2 , sin embargo, en todos los casos fué superior al 80%, mientras que usando los valores individuales llegó hasta límites inferiores de 59%, lo que supondría una mejor definición de la curva y por lo tanto mejor predicción de la infiltración en función del tiempo, utilizando valores promedios. El coeficiente de variación, CV%, osciló entre el 2% y el 12,3%, menores que los anteriores, y el valor de la F de Snedecor también fué estadísticamente significativa a un nivel de probabilidad del 1%. A pesar de que usando los valores promedios, en lugar de los individuales, se obtuvieron mejores resultados de predicción de la infiltración en función del tiempo, cuando se trató de correlacionar las propieda-

des del suelo con las constantes A y B, las relaciones fueron mucho más débiles con los valores promedios que usando los individuales.

4.3. Las propiedades del suelo. El resultado de los análisis de las muestras de suelo en el laboratorio se presentan en el Apéndice 2.1, del cual se puede apreciar los rangos de variación existentes en las propiedades del suelo escogidas para este estudio, de la manera siguiente:

Propiedades del suelo

RANGO

Textura:

Arena	18 - 59,6%
Arcilla	15 - 49,6%
Limo	20,8 - 51,6%

Contenido de Carbón Orgánico	0,94- 3,67%
Contenido de humedad	2,90-24,3%
Densidad aparente	1,45 - 1,78 (grs/cm ³)
Densidad real	2,53 - 2,77 (grs/cm ³)
Contenido de materia orgánica	1,63 - 6,34%

A partir de los datos de la densidad aparente, de la real y del contenido de humedad, se obtuvieron los valores del espacio poroso total, espacio poroso lleno de agua y espacio poroso lleno de aire, cuyos rangos son los siguientes:

Espacio poroso total	32,05 - 46,1%
Espacio poroso lleno de agua	5,05 - 38,88%
Espacio poroso lleno de aire	0,97 - 37,69%

Los rangos inferiores de los espacios porosos llenos de agua y de aire, fueron poco frecuentes.

Es de destacar, los altos valores para los porcentajes del contenido de carbón orgánico, si tomamos en cuenta que Malagón (1979) encontró para estos suelos valores que oscilaron entre 0,58 y 0,66%.

Los valores de densidad aparente también son relativamente altos, en relación a los obtenidos por Malagón (1979) quien estimó para estos suelos, una densidad promedio de 1,4 grs/cm³, que corresponde al rango inferior encontrado en el presente estudio.

4.4. Selección de la mejor ecuación de regresión. Los parámetros A y B de la ecuación ($F = AT^B$) se suponen que dependen de las propiedades del suelo; por lo tanto, una vez obtenidas estas constantes mediante la regresión simple, se procedió a efectuar un análisis de regresión lineal múltiple, tomando a A y B (Cuadro Nº 3) como variables dependientes y las propiedades del suelo: arena, arcilla, limo, carbón orgánico, contenido de humedad, espacio poroso total, espacio poroso lleno de agua, espacio poroso lleno de aire y densidad aparente, (Apéndice

2.1), como variables independientes. Para este procedimiento también se utilizó el paquete estadístico SAS, aplicando el método STEPWISE, para la mejor ecuación de regresión. En este método se comienza ingresando en la regresión la variable independiente más altamente correlacionada con la variable dependiente. Usando los coeficientes de correlación parcial, se selecciona la siguiente variable a entrar en la regresión; ésta será aquella cuya correlación parcial con la variable dependiente sea más alta. El método examina ahora la contribución que hubiese tenido la primera variable si la segunda hubiese entrado primero y aquélla en segundo lugar y si es significativa, la misma es retenida, continuando el proceso de selección. En cada etapa de la regresión hay una evaluación de las variables incorporadas al modelo en previas etapas. Una variable que pudo haber sido la mejor para entrar en la primera etapa, puede ser que en la última etapa sea superflua a causa de las relaciones entre ésta y otras nuevas variables en la regresión. Para verificar esto, la F de Snedecor parcial, para cada variable en la regresión a cualquier etapa del cálculo es evaluada y comparada con un nivel de probabilidad apropiado. Esto proporciona un criterio sobre la contribución hecha por cada variable como si hubiese entrado en el modelo. Cualquier variable que proporcione una contribución no significativa es removida del modelo. Este proceso continúa hasta

que ninguna otra variable sea admitida o rechazada en la ecuación (Draper y Smith, 1966).

Para la entrada al modelo de una variable se tomó un nivel de significancia de 0,50; para la permanencia de dicha variable en el modelo, el nivel fué de 0,10.

Según Draper y Smith (1966) este procedimiento de selección de variables es mejor que los métodos "Backward", "Forward" y el de "Todas las posibles regresiones", por lo cual recomiendan su uso. No obstante, afirman que el método puede ser objeto de abuso por parte de estadísticos "aficionados".

En una primera etapa, en la cual se utilizó el conjunto total de datos de las cuarenta parcelas, se aprecia lo siguiente: ninguna correlación para la constante de infiltración A y Propiedades del suelo fué significativa (Cuadro Nº 5), mientras que para la constante de infiltración B, se logró la mejor ecuación con las propiedades arcilla, limo, carbón orgánico, espacio poroso lleno de agua y densidad aparente (X_2 , X_3 , X_4 , X_7 , X_9), aún cuando el valor de R^2 fué de 29,7% o sea que casi las tres cuartas partes de la variación es explicada por otros factores.

La única correlación simple significativa fué obtenida entre la constante de infiltración B y la propiedad carbón orgánico (X_4), con un valor de $r = 0,33$ (Cuadro Nº 6), pero que sólo explica el 11% de la variabilidad. Al añadir

las otras variables: arcilla, limo, espacio poroso lleno de agua y densidad aparente (X2, X3, X7, X9), que individualmente no fueron estadísticamente significativas en su correlación con la constante de infiltración B, se incrementó el valor de R a 0,54 (Cuadro Nº 5). Esto puede explicarse en razón de las relaciones entre las variables independientes (Cuadro Nº 6), lo cual indirectamente resultó en mejorar la predicción de la constante de infiltración B. Los resultados anteriores se consideran poco satisfactorios desde un punto de vista práctico, por cuanto la variación no explicada en ambos casos es muy alta, lo cual determina un grado de incertidumbre muy grande para los efectos de predicción de la infiltración en base a propiedades del suelo.

Un examen detallado de los análisis de las muestras de suelo, indicó la existencia de una gran variabilidad en ciertas propiedades, particularmente la textura, encontrándose clases texturales de franco arcilloso, franco arenoso, franco y franco limoso, lo cual pudiera explicar los resultados antes descritos.

C U A D R O N^o 5

MODELOS DE PREDICCION MULTIPLE ENTRE LAS CONSTANTES A Y B
Y PROPIEDADES DEL SUELO, USANDO EL CONJUNTO TOTAL DE DATOS.

CONSTANTES DE INFIL - TRACION	VARIABLES SIGNI- FICATIVAS (1)	R^2	R	SIGNIFICANCIA (2)
A	-----	0,01359	0,117	ns
B	X2,X3,X4,X7,X9	0,297	0,545	**

- (1) X2 = % de arcilla
 X3 = % de limo
 X4 = % de carbón orgánico
 X7 = % espacio poroso lleno de agua
 X9 = densidad aparente en grs/cm³

- (2) ns = no significativa a un nivel de probabilidad del 5%
 ** = significativa a un nivel de probabilidad del 1%

C U A D R O N º 6

COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LAS CONSTANTES DE INFILTRACION Y PROPIEDADES DEL SUELO, CORRESPONDIENTES AL CONJUNTO TOTAL DE DATOS.

CONSTANTES DE INFILTRACION Y PROPIEDADES.	PROPIEDADES DEL SUELO (*)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE								
A	0,02	-0,11	0,12	0,11	0,07	-0,03	0,07	-0,08	0,01
B	-0,10	0,17	-0,08	0,33 (1)	-0,04	-0,03	-0,05	0,04	-0,12
X1		-0,83 (1)	-0,62 (1)	-0,11	-0,41 (1)	0,18	-0,42 (1)	0,42 (1)	-0,05
X2			0,08	-0,09	0,45 (1)	-0,40 (1)	0,47 (1)	-0,53 (1)	0,28 (1)
X3				0,32 (1)	0,10	0,24 (1)	0,08		-0,30 (1)
X4					0,24 (1)	0,09	0,21 (2)	-0,17	-0,27 (1)
X5						-0,16	0,99 (1)	-0,94 (1)	0,01
X6							-0,24 (1)	0,49 (1)	-0,89 (1)
X7								-0,96 (1)	0,09
X8									-0,34 (1)

(*) X1 = % arena X2 = % arcilla X3 = % limo
 X4 = % carbón orgánico X5 = % humedad X6 = % espacio poroso total
 X7 = % espacio poroso lleno de agua X8 = % espacio poroso lleno de aire
 X9 = densidad aparente en grs/cm³.

(1) Significativo a un nivel de probabilidad del 1%.

(2) Significativo a un nivel de probabilidad del 5%.

En virtud de lo anterior, se procedió a una segunda etapa, en la cual se formaron grupos de parcelas de acuerdo a la clase textural, dando como resultado tres grupos: el primero constituido por 17 parcelas de clase textural franco arcilloso a arcilloso, con porcentajes de arena entre 18% y 45,8% y de arcilla entre 29,8% y 51% (Cuadro Nº 7); el segundo, representado por 13 parcelas de clase textural franco, con porcentajes de arena entre el 20,4% y 49,9% y de arcilla entre el 15% y el 32,6% (Cuadro Nº 8); el tercer grupo, formado por 10 parcelas de clase textural franco arenoso, con porcentajes de arena entre el 47,7% y 63,2% y de arcilla entre el 16% y 27% (Cuadro Nº 9).

Con el agrupamiento así realizado, se procedió a aplicar el método antes descrito para la determinación de la mejor ecuación de regresión. Los resultados (Cuadro Nº 10) indican lo siguiente: en el grupo uno, ninguna correlación para las constantes de infiltración A y B con las propiedades del suelo fué significativa. En el segundo grupo, no hubo correlación significativa para la constante de infiltración A y las propiedades del suelo. Para la constante de infiltración B, se logró la mejor relación significativa con las propiedades: limo, carbón orgánico y densidad aparente (X3, X4, X9), con un valor de correlación de 0,586 lo que significa que sólo el 34% de la variación de la constante de infiltración B es ex-

plicada por las variables aceptadas en el modelo. En el tercer grupo, para la constante de infiltración A se logró la mejor ecuación con las propiedades arcilla, carbón orgánico y densidad aparente (X2, X4, X9) con una correlación de 0,801 lo que significa una predicción del 64% de la variación en la constante de infiltración A con las variables nombradas. Para la constante de infiltración B, la mejor ecuación se logró con las propiedades arcilla, carbón orgánico y espacio poroso lleno de aire (X2, X4, X8) con una correlación de 0,783 para una predicción de variación de la constante de infiltración B del 61%.

Es de notar en este grupo la presencia de dos variables comunes: arcilla y carbón orgánico (X2, X4) en la predicción de las constantes A y B de la ecuación de infiltración. Así mismo, la variable carbón orgánico (X4) estuvo presente en el segundo grupo en la predicción de la constante B.

Para los dos primeros grupos, los resultados tampoco se consideran satisfactorios desde el punto de vista práctico puesto que la variación no explicada es muy alta, aún en el caso de la constante de infiltración B, en el segundo grupo, que resultó ser significativa. La explicación a este hecho parece ser que a pesar de haberse efectuado un agrupamiento por clases texturales, la variabilidad en estos dos grupos aún era marcada, puesto que no había

una fracción (arcilla o limo) predominante en las muestras; además el número de parcelas no permitió efectuar un agrupamiento más refinado. Esta aseveración parece es tar respaldada por el hecho de que en el tercer grupo, en la clase textural franco arenoso, uno de los componentes (arena) era manifiestamente superior (por encima del 50%) en casi todas las muestras, por lo cual este grupo resultó ser más homogéneo que los dos anteriores. La al ta proporción en arena (alta proporción de macroporos) reduce, en este caso, la influencia sobre la infiltración de la pedregosidad. Influencia desproporcionadamente importante en suelos de textura fina.

4.5. El modelo. El modelo es el resultado de las mejores ecuaciones de regresión entre las constantes de infiltración y las propiedades del suelo y en este caso el análisis se restringe al tercer grupo de parcelas con cla se textural franco arenoso, que como se expresó, resultó ser el más homogéneo.

En este sentido, la constante de infiltración A fué correlacionada negativamente, a un nivel de probabilidad del 5%, con las propiedades: contenido de carbón orgánico (X4) y el espacio poroso total (X6) y positivamente, a un nivel de probabilidad del 1%, con la densidad aparen te (X9), según se observa en el Cuadro Nº 11).

GRUPO UNO

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL *
2	A	25,4	35,0	39,6	FA
	B	25,0	40,2	34,8	A-FA
	C	30,0	36,0	34,0	FA
3	A	30,4	30,0	39,6	FA
	B	31,2	29,8	39,0	FA
	C	33,6	30,4	36,0	FA
9	A	32,0	32,0	29,0	FA
	B	25,4	40,2	34,4	A-FA
	C	45,8	30,4	23,8	FA
10	A	26,0	35,0	39,0	FA
	B	39,0	30,0	31,0	FA
	C	37,4	32,2	30,4	FA
13	A	45,6	31,0	23,4	FA
	B	43,4	32,0	24,6	FA
	C	41,6	30,6	27,8	FA
14	A	34,0	32,0	34,0	FA
	B	37,6	30,0	32,4	FA
	C	33,0	30,4	36,6	FA
20	A	26,0	35,0	39,0	FA
	B	34,0	32,0	34,0	FA
	C	31,8	38,0	30,2	FA
21	A	18,0	39,0	43,0	FAL
	B	26,0	32,0	42,0	FA
	C	27,4	32,2	40,4	FA
22	A	21,0	40,6	38,4	A-FA
	B	31,0	32,0	37,0	FA
	C	37,6	30,0	32,4	FA

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL *
23	A	23,0	46,0	31,0	A
	B	24,0	44,2	31,8	A
	C	32,8	40,4	26,8	A
24	A	23,4	43,0	33,6	A
	B	22,0	46,6	31,4	A
	C	21,0	46,4	32,6	A
25	A	40,0	35,8	24,2	FA
	B	29,6	41,0	29,4	A
	C	23,6	40,4	36,0	A-FA
26	A	26,0	47,2	26,8	A
	B	22,0	47,6	30,4	A
	C	22,0	47,6	30,4	A
28	A	25,6	36,0	38,4	FA
	B	29,0	39,0	32,0	FA
	C	26,0	49,6	24,4	A
29	A	26,4	34,0	39,6	FA
	B	34,0	29,8	36,2	FA
	C	24,0	38,8	37,2	FA
30	A	20,0	36,6	43,4	FA-FAL
	B	27,6	39,6	32,8	FA
	C	20,0	39,8	40,2	FA-FAL
31	A	24,8	42,0	33,2	A
	B	22,0	47,2	30,8	A
	C	18,0	51,0	31,0	A

* CLASE TEXTURAL

A = ARCILLOSO

FA = FRANCO ARCILLOSO

FAL= FRANCO ARCILLO-LIMOSO

GRUPO DOS

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL*
1	A	32,8	18,4	48,8	F
	B	47,0	15,0	38,0	F
	C	31,6	20,2	48,2	F
5	A	47,2	22,8	30,0	F
	B	47,0	23,0	30,0	F
	C	47,8	20,2	32,0	F
6	A	33,0	25,0	42,0	F
	B	36,0	24,4	39,6	F
	C	49,9	22,0	28,1	F
11	A	37,6	26,2	36,2	F
	B	34,8	26,0	39,2	F
	C	32,2	27,8	40,0	F
12	A	34,2	24,0	41,8	F
	B	48,4	22,0	29,6	F
	C	35,0	29,8	35,2	FA
15	A	33,0	22,6	44,4	F
	B	35,6	22,0	42,4	F
	C	31,6	24,0	44,4	F
18	A	42,2	22,2	35,6	F
	B	29,0	26,0	45,0	F
	C	20,4	32,6	47,0	FA

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL*
19	A	26,0	25,6	48,4	F
	B	28,0	20,4	51,6	FL
	C	31,0	25,8	43,2	F
32	A	39,6	22,0	38,4	F
	B	32,0	25,6	42,4	FA
	C	48,6	21,0	30,4	Fa
34	A	41,0	24,2	34,8	F
	B	48,4	19,2	32,4	F
	C	32,0	27,8	40,2	FA
38	A	38,2	23,2	38,6	F
	B	36,0	28,4	33,6	F
	C	39,6	28,4	32,0	F
39	A	38,4	28,0	33,6	F
	B	36,4	27,2	36,4	F
	C	39,0	26,0	35,0	F
40	A	44,8	22,4	32,8	F
	B	35,0	26,0	39,0	F
	C	46,6	20,6	32,8	F

* CLASE TEXTURAL

F = FRANCO

FA= FRANCO ARCILLOSO

FL= FRANCO LIMOSO

Fa= FRANCO ARENOSO

CUADRO N° 9 AGRUPAMIENTO DE PARCELAS POR CLASE TEXTURAL

GRUPO TRES

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL *
4	A	57,6	16,2	26,2	Fa
	B	57,8	16,0	26,2	Fa
	C	57,6	16,0	26,4	Fa
7	A	52,2	19,0	28,8	Fa
	B	49,8	20,0	30,2	Fa
	C	59,4	18,0	22,6	Fa
8	A	63,2	16,0	20,8	Fa
	B	51,4	18,0	30,6	F-Fa
	C	50,0	20,0	30,0	Fa
16	A	51,0	18,4	30,6	Fa
	B	51,0	19,0	30,0	Fa
	C	50,0	19,6	30,4	Fa
17	A	58,0	16,0	26,0	Fa
	B	59,6	16,0	24,4	Fa
	C	59,8	16,0	24,2	Fa

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL *
27	A	47,4	27,0	25,6	FAa
	B	51,6	22,2	26,2	FAa
	C	51,0	24,0	25,0	FAa
33	A	51,0	19,0	30,0	Fa
	B	55,4	19,6	25,0	Fa
	C	50,4	19,0	30,6	Fa
35	A	51,0	20,0	29,0	Fa
	B	50,0	21,6	28,4	Fa
	C	52,8	21,8	25,4	Fa
36	A	54,0	16,0	30,0	Fa
	B	52,0	17,6	30,4	Fa
	C	52,0	16,0	32,0	Fa
37	A	50,0	25,4	24,6	FAa
	B	47,8	26,8	25,4	FAa
	C	52,0	24,0	24,0	FAa

* CLASE TEXTURAL

Fa = FRANCO ARENOSO

FAa= FRANCO ARCILLOSO-ARENOSO

F-Fa= FRANCO A FRANCO ARENOSO

C U A D R O N° 10

MODELOS DE PREDICCION MULTIPLE ENTRE LAS CONSTANTES DE INFILTRACION A Y B Y PROPIEDADES DEL SUELO, USANDO GRUPOS DE PARCELAS POR CLASE TEXTURAL.

GRUPO	CONSTANTES DE INFIL - TRACION	VARIABLES SIGNIFICATIVAS (1)	R^2	R	SIGNIFICANCIA (2)
UNO	A	-----	0,06	0,245	ns
	B	-----	0,05	0,224	ns
DOS	A	-----	0,139	0,373	ns
	B	X3,X4,X9	0,343	0,586	**
TRES	A	X2,X4,X9	0,641	0,801	**
	B	X2,X4,X8	0,613	0,783	**

(1) X2 = % de arcilla

X3 = % de limo

X4 = % de carbón orgánico

X8 = % espacio poroso lleno de aire

X9 = densidad aparente en grs/cm³

(2) ns = no significativa a un nivel de probabilidad del 5%

** = significativa a un nivel de probabilidad del 1%

C U A D R O N º 11

COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LAS CONSTANTES DE INFILTRACION Y PROPIEDADES DEL SUELO, CORRESPONDIENTES AL GRUPO TRES.

CONSTANTES DE INFIL- TRACION Y PROPIEDA- DES.	PROPIEDADES DEL SUELO (*)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE								
A	0,07	0,09	-0,23	-0,38 (2)	0,17	-0,44 (2)	0,21	-0,30	0,67 (1)
B	-0,01	0,03	-0,02	0,52 (1)	-0,33	0,05	-0,36	0,35	-0,39 (2)
X1		-0,78 (1)	-0,55 (1)	-0,25	-0,48 (1)	-0,18	-0,47 (1)	0,41 (2)	0,21
X2			-0,10	0,35	0,69 (1)	0,02	0,68 (1)	-0,64 (1)	-0,12
X3				-0,06	-0,15	0,26	-0,15	0,21	-0,17
X4					0,31	-0,19	0,29	-0,32	-0,09
X5						-0,05	0,99 (1)	-0,96 (1)	0,02
X6							-0,10	0,32	-0,86 (1)
X7								-0,97 (1)	0,07
X8									-0,26

(*) X1 = % arena X2 = % arcilla X3 = % limo X4 = % carbón orgánico X5 = % humedad X6 = % espacio poroso total X7 = % espacio poroso lleno de agua X8 = % espacio poroso lleno de aire X9 = densidad aparente en grs/cm³

(1) Significativa a un nivel de probabilidad del 1%.

(2) Significativa a un nivel de probabilidad del 5%.

Estas propiedades están relacionadas físicamente con las tasas de infiltración iniciales. Según los resultados del presente trabajo, la relación es inversa con el contenido de carbón orgánico y el espacio poroso total y directo con la densidad aparente, lo cual, según varias publicaciones, son totalmente contrario a lo esperado. Stolzy et al, (1960), Meeuwig (1970), Wood (1971-1977) y Knighton (1978), indican una relación inversa entre la infiltración y la densidad aparente; así mismo, Wood (1971, 1977) señala una relación directa entre infiltración y porosidad.

Por otra parte, Reitemeier y Christiansen (1946), Pillsbury y Richards (1954), (citados por Parr y Bertrand 1960), así como también Parker y Jenny (1945), encontraron que las tasas de infiltración se incrementan progresivamente a medida que se incrementa la cantidad de materia orgánica en la superficie.

La explicación de estas relaciones incongruentes, posiblemente se debe a los errores causados en la determinación de la densidad aparente mediante el método del "terrón", que, como expresa Forsythe (1975), generalmente da valores más altos. Una razón es que el terrón no incluye el espacio natural entre terrones en el suelo; otra razón es que el volumen medido corresponde a un terrón secado al aire y este volumen puede ser mucho menor que el de un terrón a la humedad de campo, debido a su contracción al secarse (Blake, 1965, citado por Forsythe, 1975).

Por otra parte, Malagón (consulta personal), expresa que debido a la débil estructura de estos suelos, el criterio de la densidad es válido mientras el agregado se mantenga como tal, pero no tiene significado cuando se ha perturbado el terrón.

La incongruencia de las relaciones para el caso del espacio poroso total, es una consecuencia del hecho de que aquél es función de la densidad aparente y de la densidad real.

Con respecto al contenido de carbón orgánico, probablemente esté relacionado a los altos valores obtenidos en el análisis de las muestras; valores éstos que no se comparan con otras determinaciones hechas para el mismo sitio.

La constante de infiltración B, fué correlacionada positivamente a un nivel de probabilidad del 1% con el contenido de carbón orgánico (X4) y negativamente a un nivel de probabilidad del 5% con la densidad aparente (X9), según se ve en el Cuadro Nº 11.

Estas propiedades reflejan la capacidad del suelo para mantener altas tasas de infiltración. El contenido de carbón orgánico, por ejemplo, está relacionado con la estabilidad estructural del suelo y aumenta con el incremento de la constante de infiltración B. La relación de esta constante con la densidad aparente es inversa, lo

cual parece consistente desde el punto de vista físico.

Otro hecho resaltante, es que las relaciones entre el contenido de humedad (X5) y las constantes de infiltración A y B no fueron significativas (Cuadro Nº 11), lo cual constituye un resultado no esperado, puesto que la mayoría de los trabajos publicados han demostrado la influencia de este parámetro sobre la infiltración (Bodman y Colman, 1943, 1944; Tisdall, 1951, citado por Parr y Bertrand, 1960; Philip, 1957; Watson, 1965; Meeuwig, 1970 y Knighton, 1978). Ninguna explicación satisfactoria para este fenómeno puede ser adelantada.

Algunas variables que no fueron significativas en la correlación simple con las constantes de infiltración A y B, contribuyeron significativamente a aumentar la precisión del modelo de regresión múltiple. El mejor modelo para estimar a la constante de infiltración A, incluyó el contenido de arcilla (X2), el contenido de carbón orgánico (X4) y la densidad aparente (X9), como se observa en el Cuadro Nº 12. Para la constante de infiltración B, el mejor modelo de estimación incluyó el contenido de arcilla (X2), el contenido de carbón orgánico (X4) y el espacio poroso lleno de aire (X8) (Cuadro Nº 12).

C U A D R O N^o 12

COEFICIENTES DE REGRESION DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES ASOCIADOS CON LOS MODELOS DE REGRESION SELECCIONADOS PARA ESTIMAR LAS CONSTANTES DE INFILTRACION A Y B.

CONSTAN- TES DE INFILTRA CION	CONS- TANTE	PROPIEDADES DEL SUELO (*)				R ²	R	ERROR STAN- DARD
		X2	X4	X8	X9			
		COEFICIENTES DE REGRESION						
A	-2,684	0,018	-0,140		2,901	0,64	0,80	0,140
B	-0,583	0,013	0,176	0,015		0,61	0,78	0,120

- (*) X2 = % de arcilla
 X4 = % de carbón orgánico
 X8 = % espacio poroso lleno de aire
 X9 = densidad aparente en grs/cm³

Los valores del Cuadro Nº 12, conforman los modelos para las constantes de infiltración de la ecuación $F = AT^B$; por consiguiente:

$$A = -2,684 + 0,018 (\% \text{arcilla}) - 0,140 (\% \text{carbón orgánico}) + 2,901 (\text{densidad aparente en grs/cm}^3).$$

$$B = -0,583 + 0,013 (\% \text{arcilla}) + 0,176 (\% \text{carbón orgánico}) + 0,015 (\% \text{espacio poroso lleno de aire}).$$

Por lo tanto, basta determinar las propiedades relacionadas con estas constantes (A y B), sustituirlas en la ecuación $f = ABT^{B-1}$ y obtener las tasas de infiltración estimadas en cms/minuto.

Una curva de tasa de infiltración, producto de datos de campo obtenidos mediante una prueba en la zona donde las parcelas resultaron ser homogéneas en cuanto a la clase textural y donde resultaron los mejores modelos de predicción de las constantes de infiltración A y B, se muestra en la figura Nº 30. En la misma se aprecia la curva estimada, obtenida de la ecuación $f = ABT^{B-1}$, donde se calcularon los valores de A y B a partir de los modelos propuestos. En este caso, los valores de las propiedades del suelo determinadas en el laboratorio, resultaron ser los siguientes: arcilla, 20%; carbón orgánico, 2,9%; espacio poroso lleno de aire, 25% y densidad aparente, 1.61 grs/cm³.

CURVAS DE TASAS DE INFILTRACION OBSERVADA Y ESTIMADA EN UN
SECTOR DE SAN JUAN DE LAGUNILLAS .- MERIDA

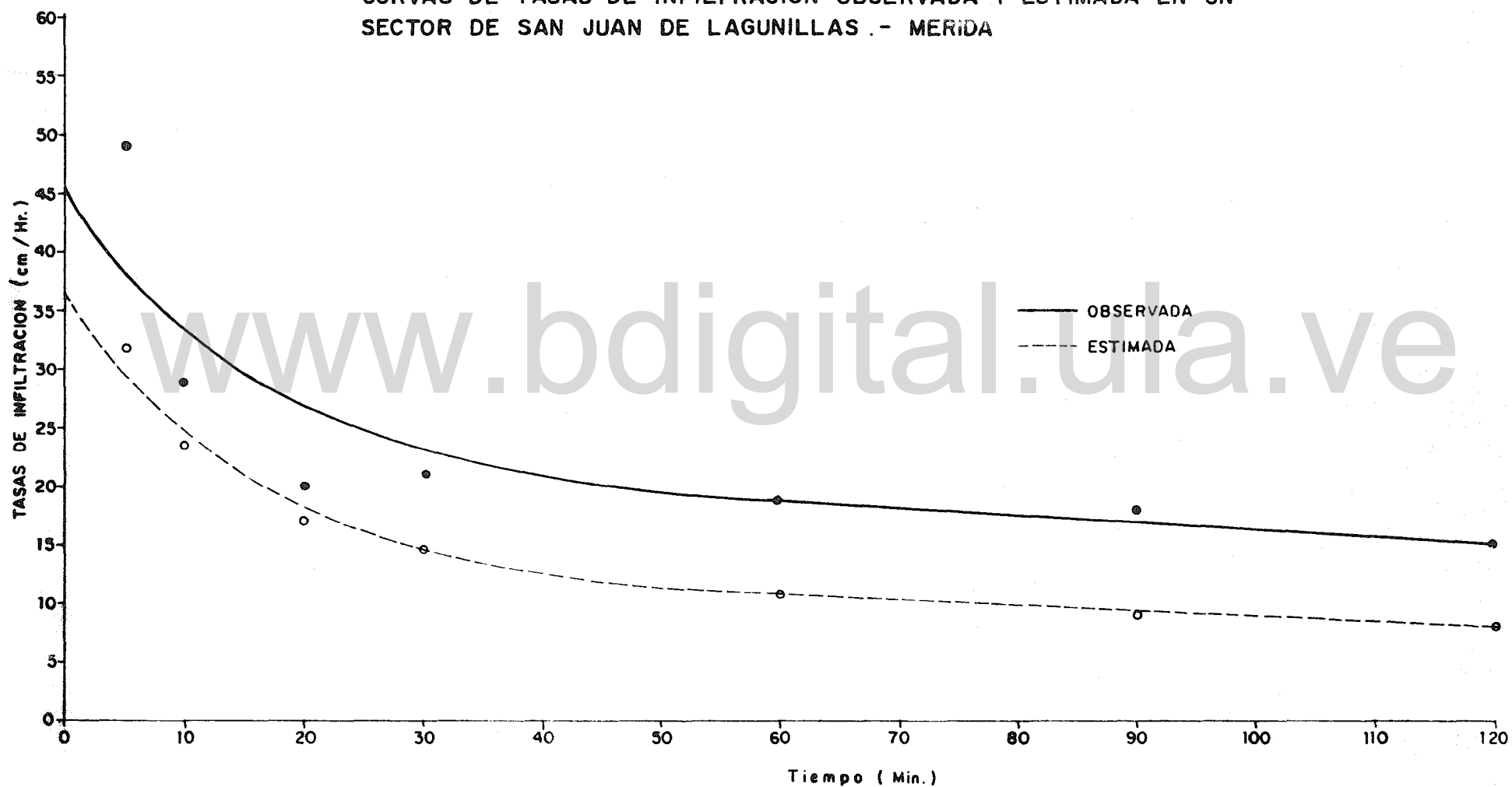


Figura N° 30

Los rangos de las propiedades del suelo, correspondientes al tercer grupo de parcelas, usados para construir el modelo, fueron los siguientes:

<u>Propiedades del suelo</u>	<u>RANGO</u>
Textura:	
Arena	47,4 - 63,2%
Arcilla	16,0 - 27,0%
Limo	20,8 - 32,0%
Contenido de carbón orgánico	1,35- 3,67%
Contenido de humedad	2,90-18,40%
Densidad aparente	1,52-1,74 (grs/cm ³)
Espacio poroso total	34,22-43,70%
Espacio poroso lleno de agua	5,05-29,80%
Espacio poroso lleno de aire	10,20-37,36%

Hay que destacar, que los modelos propuestos serán usados solamente si las propiedades del suelo están dentro de los rangos utilizados para construir los mismos. Por otra parte, las tasas de infiltración variarán grandemente dentro de cualquier área y por consiguiente el valor estimado solamente se aproximará al valor medio.

V.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante la regresión simple, para la determinación de las constantes de infiltración A y B de la ecuación $F = AT^B$, a partir de los datos de infiltración recabados en el campo, indican que la fórmula de predicción en función del tiempo es adecuada; en todos los casos el porcentaje de variabilidad explicado por la regresión pasó del 50%, cuando se utilizaron los valores individuales, y aún más satisfactoria, cuando se usaron los valores promedios, donde el porcentaje de variabilidad explicado por la regresión, pasó del 80%; por consiguiente, desde este punto de vista, la ecuación es aplicable.

Cuando se utilizó el conjunto total de datos, la predicción de las constantes de infiltración A y B en función de las propiedades del suelo, fué bastante pobre. Una predicción satisfactoria de las constantes A y B en función de las variables utilizadas, sólo fué posible mediante el agrupamiento por clases texturales del tipo de suelo, donde uno de los componentes era manifiestamente superior. Esto ocurrió en el tercer grupo, franco arenoso, donde los porcentajes de arena -- eran superiores al 50% en casi todas las muestras y el cual mostró una predicción del 64% de la variación en

la constante de infiltración A con las propiedades arcilla, carbón orgánico y densidad aparente y una predicción del 61% de la variación de la constante de infiltración B con las propiedades arcilla, carbón orgánico y espacio poroso lleno de aire. En los dos grupos restantes, donde no hubo una fracción que predominara, los resultados fueron poco satisfactorios desde un punto de vista práctico, ya que la variación no explicada por la regresión fué muy alta, lo que determinó un grado de incertidumbre muy grande para los efectos de predicción de la infiltración.

En el caso de la constante de infiltración A, en el tercer grupo, que resultó ser el más homogéneo, la relación con la densidad aparente fué directa y con el carbón orgánico y el espacio poroso total inversa, lo cual no se corresponde a otros trabajos publicados.

La discrepancia de los resultados del presente trabajo con los obtenidos en otros estudios, posiblemente se deba a los métodos utilizados en la determinación de las propiedades, especialmente la densidad aparente, para la cual se usó el método del "terrón parafinado" que parece producir valores más altos en comparación con otros métodos. Sería recomendable en futuros estudios la utilización de métodos que permitan determinar con mayor exactitud la densidad aparente en un suelo de tan alta pedregosidad como el presente.

Otra circunstancia que ha podido ser determinante para estos resultados, es que posiblemente sean otras variables a las aquí utilizadas, las que den una mejor predicción de las constantes de infiltración, lo que implica mayor esfuerzo, tiempo y costo, aspectos que se trataban de minimizar con el presente trabajo.

No obstante, no haberse logrado completamente los objetivos que se habían propuesto con el presente estudio, el mismo tiene la importancia de que ha contribuido con la investigación en este campo en el país y sienta las bases para que trabajos futuros mejoren las posibilidades de predicción de la infiltración como valor relativo de comparación a partir de propiedades del suelo. Al respecto será necesario afinar la metodología, en el sentido de normalizar los métodos de determinación de las propiedades, así como también la selección de otras variables, tales como: la conductividad hidráulica, la distribución por clases de tamaño de los poros, el tamaño y estabilidad de los agregados, etc, así mismo efectuar una estratificación textural del suelo.

B I B L I O G R A F I A

- BACKER, S.W. 1979. Pore Size distribution - A factor to be considered in infiltration studies?. Journal of Hydrology. 41: 279 - 290.
- BARR, Anthony J.; GOODNIGHT, James H.; SALL, John P. y HELWIG, Jane T. 1976. A User's Guide to SAS 76. SAS INSTITUTE INC. Raleigh, North Carolina, USA. 329 p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, Walter H. y GARDNER, Wilford R. 1973. Física de Suelos. UTEHA, México. Traducción al Español de la Cuarta edición en inglés por Jorge Manuel Rodríguez y Rodríguez. 525 p.
- BODMAN, G.B. y COLMAN, E.A. 1943. Moisture and Energy conditions during downward entry of water into Soils. Soil Science Society Proceedings. 8: 116-122.
- _____. 1944. Moisture and Energy conditions during downward entry of water into Moist and Layered Soils. Soil Science Society Proceedings. 9: 3 - 11.
- CASTILLO, Juan B. 1963. Edafología en Estudio Integral de la cuenca del Chama. II parte. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela. 549 p.

DRAPER, N.R. y SMITH, H. 1966. Applied regression analysis. New York. John Wiley and Sons, Inc. 407 p.

FORSYTHE, Warren. 1975. Manual de Laboratorio. Física de Suelos. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 211 p.

GAVANDE, Sampat A. 1972. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Limusa-Wiley, S.A. México. 345 p.

GARDNER, W. WIDTSOE, J.A. 1921. Movement of soil moisture. Soil Science. 11: 215 - 232.

GUPTA, Vulli L. 1976. El componente de infiltración del proceso de precipitación- escorrentía. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 112 p.

HEWLETT, John D. y NUTTER, Wade L. 1969. An Outline of Forest Hydrology. School of Forest Resources. University of Georgia. 137 p.

HILLS, Rodney C. 1970. The determination of the Infiltration Capacity of Field Soils using the Cylinder Infiltrometer. Technical Bulletins of British Geomorphological Research Group. 24 p.

HOLTAN, H.N. 1965. A model for computing watershed retention from soil parameters. Journal of Soil and

Water Conservation. 20(3): 91 - 94.

HORTON, R.E. 1933. The role of infiltration in the Hydrologic Cycle. American Geophysical Union, Transactions. 14: 446 - 460.

_____. 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. Soil Science Society Proceedings. 5: 399 - 417.

KNIGHTON, M. Dean. 1978. Estimating infiltration rates for loessal silt loam using soil properties, USDA For. Serv. Res. NC - 233. North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, Minnesota. 4 p.

LEWIS, M.R. y POWERS, W.L. 1938. A study of factors affecting infiltration. Soil Science Society Proceedings. 3: 334 - 339.

LINSLEY, Ray K.; KOHLER, Max A. y PAULHUS, Joseph L.H. 1975. Hydrology for Engineers. 2da. Edición. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 482 p.

MALAGON, C. Dimas. 1979. Mineralogía, Micromorfología y Génesis de los principales suelos en la toposecuencia. (T1-T4): Río Chama-San Juan de Lagunillas. Edo. Mérida - Venezuela. CIDIAT. 173 p.

MEEUWIG, Richard O. 1970. Infiltration and Soil Erosion as Influenced by Vegetation and Soil in Northern Utah. Journal of Range Management. 23(3): 185-188.

MUSGRAVE, G.W. y HOLTAN, H.N. 1964. Infiltration. In Handbook of applied hydrology. New York. McGraw-Hill. pp. 12. 1-12. 30.

PARKER, E.R. y JENNY, H. 1945. Water Infiltration and Related Soil Properties as Affected by cultivation and organic Fertilization. Soil Science. 60: 353-376.

PARR, J.F. y BERTRAND, A.R. 1960. Water infiltration into soils. Advances in Agronomy. 12: 311-363.

PHILIP, J.R. 1957. The Theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. Soil Science. 83: 345 - 357.

PHILIP, J.R. 1957. The Theory of infiltration: 5. The influence of the initial moisture content. Soil Science. 84: 329 - 339.

RICHARDS, L.A. 1952. Report of the Subcommittee on Permeability and Infiltration, Committee on Terminology, Soil Science Society of America. Soil Science Society Proceedings. 16: 85 - 88.

- SATTERLUND, Donald R. 1972. Wildland Watershed Management. The Ronald Press Company. USA. 355 p.
- SCHULZ, E.F. 1973. Problems in Applied Hidrology. Water Resources publications. Fort Collins, Colorado, U.S.A. 501 p.
- STOLZY, L.H.; SZUSZKIEWICZ, T.E.; GARBER, M.J. y HARDING, R.B. 1960. Effects of soil management practices on infiltration rates. Soil Science. 89: 338-341.
- SWARTZENDRUBER, D. y HUBERTY, M.R. 1958. Use of infiltration equation parameters to evaluate infiltration differences in the field. American Geophysical Union, Transactions. 39(1): 84 - 93.
- SWARTZENDRUBER, D. y OLSON, T.C. 1961. Sand-Model Study of Buffer Effects in the Double-Ring Infiltrometer. Soil Science Society Proceedings. 25: 5 - 8.
- WATSON, K.K. 1965. A statistical treatment of the factors affecting the infiltration capacity of a field Soil. Journal of Hydrology. 3: 58 - 65.
- WILM, H.G. 1941. Methods for the measurement of infiltration. American Geophysical Union, Transactions. 22: 678 - 686.
- WISLER, C.O. y BRATER, E.F. 1959. Hydrology. New York. John Wiley and Sons, Inc. 408 p.

WOOD, H.B. 1971. Land use effects on the hydrologic characteristics of some Hawaii soils. Journal of Soil and Water Conservation. 26(4): 158 - 160.

_____. 1977. Hydrologic Differences between Selected Forested Agricultural Soils in Hawaii. Soil Science Society of America Journal. 41(1): 133-136.

YUNG LI, Lia; ANTHONY, R.D. y MERKLE, F.G. 1942.
Influence of orchard soil management upon the infiltration of water and some related physical characteristic of the soil. Soil Science. 53: 65 - 74.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

A P E N D I C E 1

APENDICE 1.2.

DATOS DE INFILTRACION ACUMULADA OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE CAMPO

TIE PO (MINU OS)	PARCELA N° 1			PARCELA N° 2			PARCELA N° 3			PARCELA N° 4			PARCELA N° 5		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMU- LADA (cms)			INFILTRACION ACUMULA- DA (cms)			INFILTRACION ACUMULA- DA (cms)			INFILTRACION ACUMU- LADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1,0	1,5	3,0	1,7	1,7	1,3	1,8	1,0	1,6	1,8	2,1	2,5	1,7	2,2	1,9
2	3,0	2,0	3,2	3,3	3,4	2,5	3,5	2,8	3,0	3,0	3,2	4,1	3,6	3,2	3,3
3	3,1	2,1	3,5	4,5	4,9	3,3	3,7	3,4	3,0	3,0	3,2	4,1	4,5	3,9	3,6
4	3,6	2,5	3,6	5,1	5,5	3,8	4,0	3,4	3,2	3,0	3,7	4,1	5,1	4,5	4,1
5	3,7	2,6	3,7	5,6	5,5	3,9	4,4	3,4	3,2	3,0	3,7	4,1	5,7	4,9	4,1
10	4,3	3,0	3,9	7,7	7,8	5,1	5,0	4,0	4,0	3,7	4,8	4,3	7,4	6,7	5,1
20	5,3	4,4	5,0	11,3	10,9	6,8	5,6	4,5	5,3	3,9	6,3	4,9	10,3	9,0	6,1
30	6,3	5,0	6,0	14,6	13,5	8,2	6,8	5,1	6,2	4,4	7,6	5,4	12,5	11,0	7,2
45	7,5	5,1	7,0	19,1	17,9	10,2	8,3	6,1	8,3	4,9	9,8	6,1	15,2	13,6	8,4
60	8,5	7,2	7,2	23,6	21,6	11,6	9,9	6,6	9,6	5,6	12,0	6,6	17,5	15,5	9,3
90	11,6	9,2	8,9	32,0	28,7	14,1	12,7	7,5	12,9	6,4	15,6	7,8	20,5	19,2	11,2
120	13,0	11,9	10,9	39,6	36,5	16,6	15,5	9,1	15,6	7,4	19,0	8,9	21,4	22,7	13,1
	PARCELA N° 6			PARCELA N° 7			PARCELA N° 8			PARCELA N° 9			PARCELA N° 10		
1	1,6	1,7	2,0	1,8	2,1	2,2	1,4	2,3	2,3	1,3	2,1	2,0	1,5	2,2	1,8
2	3,5	3,1	3,5	3,0	3,6	2,5	2,0	3,3	2,5	2,2	2,1	4,0	2,9	3,9	3,1
3	3,5	3,6	4,1	3,0	3,6	3,0	2,0	3,3	2,5	2,2	2,1	4,0	2,9	4,8	3,6
4	4,0	3,6	4,1	3,0	3,6	3,0	2,0	3,3	2,5	2,2	2,1	4,0	2,9	4,8	4,3
5	4,0	4,1	4,1	3,4	4,0	3,5	2,0	3,3	2,5	2,2	2,1	4,0	2,9	5,5	4,7
10	4,3	4,7	5,2	3,7	4,4	4,6	2,6	3,4	2,5	3,5	2,7	5,0	3,4	6,0	5,7
20	4,7	5,6	7,9	4,3	4,9	6,6	2,7	3,4	2,5	3,7	3,2	6,5	3,9	8,2	6,2
30	5,1	6,5	9,9	4,6	5,3	8,3	3,3	3,7	3,0	3,9	3,5	7,5	3,9	9,8	8,2
45	5,5	7,6	12,1	5,1	5,8	10,9	3,9	3,8	3,1	5,0	4,6	9,0	4,5	11,6	9,3
60	6,0	8,7	14,6	5,4	6,2	13,0	4,3	3,8	3,5	5,4	5,1	10,0	4,7	13,5	10,8
90	7,2	11,0	19,0	5,8	6,7	17,4	4,9	3,8	4,1	6,8	6,6	12,0	5,9	17,2	15,2
120	8,0	13,0	23,0	6,3	7,7	22,3	5,9	3,8	4,6	8,3	7,2	13,5	6,8	19,8	17,0

APENDICE 1.2

DATOS DE INFILTRACION ACUMULADA OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE CAMPO.

CONTINUACION APENDICE 1.2.

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 11			PARCELA N° 12			PARCELA N° 13			PARCELA N° 14			PARCELA N° 15		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMU- LADA (cms)			INFILTRACION ACUMULA- DA (cms)			INFILTRACION ACUMULA- DA (cms)			INFILTRACION ACUMU- LADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2,00	1,9	1,6	1,7	1,4	1,6	1,9	1,6	1,9	2,0	1,7	1,8	1,5	1,9	2,0
2	4,0	3,8	3,2	3,3	2,8	3,1	3,8	3,1	3,7	3,8	3,4	3,6	3,0	3,7	3,9
3	6,0	5,5	4,7	3,3	4,0	3,1	5,7	4,1	5,5	5,6	5,1	5,2	4,4	4,2	4,3
4	7,5	6,7	6,2	3,3	4,6	3,1	6,6	4,7	6,1	7,4	5,9	6,2	4,4	4,2	4,4
5	8,7	8,0	7,5	3,3	4,9	3,1	7,3	4,7	6,8	9,2	6,6	7,2	4,4	4,2	4,9
10	13,4	14,9	12,6	4,1	7,1	3,6	9,8	6,5	10,3	10,4	9,4	11,3	4,9	4,7	5,4
20	21,0	28,5	20,5	4,7	10,6	4,5	13,7	8,8	15,6	16,0	14,0	18,0	5,8	5,4	6,5
30	28,5	40,7	28,7	5,7	14,1	5,1	17,0	11,2	20,4	21,8	19,1	24,4	6,2	6,0	7,0
45	38,0	61,2	40,2	7,3	18,3	6,4	20,0	14,1	25,9	28,8	25,9	31,6	6,7	6,5	8,1
60	51,0	81,2	51,3	8,7	22,7	7,2	23,8	17,0	30,6	35,8	32,0	39,6	7,7	6,9	9,0
90	71,0	94,3	69,1	11,3	30,0	8,9	30,0	22,1	35,6	48,9	44,1	53,8	8,7	8,1	10,2
120	89,0	107,3	86,6	13,5	34,1	11,0	35,7	27,0	40,6	60,8	55,0	66,7	9,7	9,0	11,6
	PARCELA N° 16			PARCELA N° 17			PARCELA N° 18			PARCELA N° 19			PARCELA N° 20		
1	1,6	1,4	1,2	1,7	1,8	1,5	1,4	1,8	1,8	1,9	1,4	1,8	1,6	1,6	1,9
2	3,2	2,8	2,3	3,4	3,5	2,9	2,8	2,8	3,1	3,3	2,7	3,1	2,8	3,1	3,8
3	4,7	4,2	3,1	4,3	4,9	3,6	4,1	4,9	3,5	3,6	2,9	3,2	3,2	4,1	4,2
4	5,1	4,3	3,6	5,0	5,8	4,2	4,4	6,4	3,5	3,6	2,9	3,2	3,2	4,1	4,7
5	5,5	4,6	4,1	5,7	6,5	4,9	4,7	7,5	4,1	3,6	2,9	3,2	3,7	4,7	5,1
10	6,5	5,3	6,5	8,3	9,5	7,2	5,6	11,4	4,6	3,8	3,1	3,6	4,1	5,3	6,0
20	8,1	6,5	9,8	13,8	14,7	12,4	6,6	16,2	6,7	3,8	3,1	4,6	4,7	7,1	8,1
30	9,6	7,6	13,3	18,6	19,3	17,0	7,7	20,2	7,1	4,1	3,1	5,7	5,2	8,1	10,1
45	11,3	8,7	17,9	26,2	26,2	25,5	8,9	25,1	8,8	4,1	3,3	7,0	5,7	9,4	11,7
60	12,9	11,0	22,8	31,8	31,6	31,7	10,3	29,3	10,3	4,7	3,7	8,4	6,1	10,5	13,7
90	16,1	12,7	31,9	43,2	43,0	43,3	12,7	36,2	13,0	4,7	4,2	10,7	7,0	12,1	17,2
120	18,6	14,0	39,4	53,0	53,4	51,7	15,1	43,4	15,7	5,4	4,4	11,9	8,0	13,1	20,0

CONTINUACION APENDICE 1.2

CONTINUACION APENDICE 1.2

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 21			PARCELA N° 22			PARCELA N° 23			PARCELA N° 24			PARCELA N° 25		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1,9	1,6	1,4	1,8	1,5	1,7	1,8	1,6	1,7	1,8	1,5	1,7	1,5	1,4	1,6
2	3,7	3,2	2,8	3,6	3,0	3,3	3,5	3,2	3,3	3,5	3,0	3,3	2,9	2,7	3,2
3	5,5	4,4	3,2	5,3	4,5	4,9	4,9	4,6	4,7	5,1	4,5	4,9	3,0	3,5	3,7
4	6,2	5,0	3,5	7,0	6,0	6,5	5,1	5,2	5,1	5,5	5,9	5,4	3,3	3,8	3,7
5	6,9	5,5	3,6	7,5	7,1	7,3	5,4	5,9	5,6	5,8	6,5	5,9	3,3	4,0	4,3
10	10,0	7,5	4,8	10,4	11,7	11,2	6,8	8,1	7,5	7,8	10,4	8,6	4,2	5,7	5,8
20	14,3	10,5	6,0	13,5	17,6	16,0	9,5	12,7	11,1	11,5	16,5	12,9	5,1	8,2	8,4
30	17,9	12,5	6,9	15,8	22,0	19,0	12,0	17,5	14,7	14,6	21,9	17,5	6,0	10,5	10,8
45	21,4	14,5	7,2	18,4	28,3	24,5	14,7	22,7	18,7	19,1	30,1	23,5	7,0	13,9	14,1
60	24,7	16,5	8,6	21,0	33,5	28,0	17,7	27,3	22,5	24,0	36,5	29,0	8,4	17,0	17,2
90	31,1	21,0	10,1	25,4	43,5	35,0	23,7	36,7	30,2	33,0	51,3	40,3	10,7	22,3	23,1
120	36,8	24,0	11,3	29,4	53,5	41,8	29,7	45,7	37,9	41,5	66,3	49,0	13,0	27,6	28,7
	PARCELA N° 26			PARCELA N° 27			PARCELA N° 28			PARCELA N° 29			PARCELA N° 30		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1,5	1,0	1,6	1,3	1,7	1,5	1,5	1,4	2,1	1,4	1,5	2,0	1,3	1,7	1,4
2	2,5	2,0	3,2	2,6	3,4	2,9	2,6	2,7	2,8	2,7	2,9	3,9	2,6	3,3	2,8
3	3,0	2,2	3,5	2,6	5,0	4,2	2,6	3,4	2,8	3,9	4,3	5,7	2,8	3,8	3,6
4	3,0	2,8	4,0	2,6	5,3	5,0	2,6	3,4	2,8	5,0	5,6	7,5	2,8	4,0	4,0
5	3,0	2,8	4,0	3,0	5,5	5,5	3,1	3,4	2,8	6,0	6,9	9,3	2,8	4,2	4,7
10	3,8	3,9	5,8	3,2	7,2	8,5	3,6	4,1	3,5	9,2	10,3	14,5	3,0	5,3	6,4
20	4,7	4,7	8,1	4,1	10,5	14,1	5,2	4,6	4,0	13,1	16,7	22,8	3,2	7,3	8,5
30	5,2	5,2	9,6	4,7	13,5	19,3	6,0	4,8	4,2	15,5	22,4	30,9	3,2	9,1	10,9
45	6,2	5,7	12,2	5,8	17,4	27,1	7,3	5,3	4,9	20,0	30,9	42,8	3,6	11,8	14,0
60	6,8	6,4	14,4	6,9	22,2	34,2	8,3	5,6	5,3	24,3	39,1	53,5	3,6	14,2	17,6
90	8,8	7,6	19,1	9,2	30,9	48,8	10,7	6,0	5,7	31,6	55,7	75,5	4,0	18,2	20,2
120	10,5	8,5	23,1	11,4	39,6	61,5	12,2	6,2	6,0	38,7	64,0	94,0	4,4	22,2	22,8

CONTINUACION APENDICE 1.2

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 31			PARCELA N° 32			PARCELA N° 33			PARCELA N° 34			PARCELA N° 35		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1.9	1.6	1.6	1.8	1.4	1.8	1.7	1.6	1.4	1.5	1.7	1.6	1.6	1.6	1.2
2	3.7	3.1	3.2	3.6	2.5	3.5	3.4	3.1	2.8	2.5	3.3	3.0	3.2	3.2	2.4
3	4.8	3.4	4.7	3.6	2.5	4.1	5.0	4.5	4.2	2.5	3.7	3.0	4.8	4.8	3.5
4	5.6	3.4	4.7	3.6	2.5	4.1	5.4	4.5	5.4	2.5	3.7	3.0	5.5	6.4	4.2
5	6.3	3.5	4.7	3.6	2.5	4.1	5.8	4.5	5.8	2.5	3.7	3.0	6.3	7.6	4.8
10	7.7	4.1	5.3	3.6	3.2	4.1	7.9	4.9	8.2	2.5	4.2	3.0	8.8	8.8	7.7
20	9.6	4.5	5.9	4.2	3.2	4.5	11.3	5.9	11.9	3.2	4.6	3.6	13.8	17.8	11.8
30	10.6	4.6	6.5	4.7	3.7	4.5	14.3	6.5	15.4	3.6	4.6	4.0	17.3	22.0	15.3
45	11.6	5.2	7.4	5.0	4.2	5.2	18.3	7.4	20.2	4.1	5.5	4.5	19.9	27.6	18.5
60	12.6	5.3	7.9	5.3	4.6	5.6	22.3	8.5	25.1	4.5	6.1	4.9	21.6	33.0	22.6
90	14.6	6.2	8.9	6.0	5.6	6.2	30.2	10.5	34.8	5.7	6.7	5.9	25.7	43.5	29.9
120	16.5	6.8	9.9	6.6	6.5	6.7	36.6	12.5	44.5	6.7	7.3	6.7	28.4	52.4	37.2

	PARCELA N° 36			PARCELA N° 37			PARCELA N° 38			PARCELA N° 39			PARCELA N° 40		
1	1.7	1.5	1.2	1.6	1.6	1.5	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.4	2.1	2.1	2.2
2	3.3	3.0	2.4	3.2	3.1	3.0	2.9	3.4	2.7	2.8	2.5	2.8	4.1	4.2	4.3
3	3.3	3.3	2.7	3.8	3.7	3.9	2.9	4.0	2.7	3.7	2.5	3.4	6.0	6.1	6.3
4	4.0	3.3	2.7	3.8	3.7	3.9	2.9	4.0	2.7	3.7	2.7	3.4	7.8	8.0	8.3
5	4.0	3.3	2.7	3.8	3.7	3.9	2.9	4.0	2.7	4.2	2.7	3.4	9.6	9.9	10.3
10	4.9	4.0	2.9	3.8	4.1	3.9	3.4	4.5	3.0	5.2	3.1	4.0	13.5	14.7	16.0
20	6.5	4.5	3.3	4.3	4.6	4.6	3.7	4.8	3.2	7.4	3.1	5.3	19.5	20.5	21.6
30	8.0	4.9	3.8	4.3	5.1	4.6	4.1	5.1	3.4	8.5	3.8	5.9	25.3	24.3	25.4
45	10.0	5.2	4.3	4.8	5.7	4.9	4.8	5.8	3.9	10.5	4.5	7.0	29.3	27.2	25.2
60	11.7	5.9	4.7	4.8	5.7	5.6	5.2	6.2	4.2	12.5	5.0	7.5	32.3	30.0	27.7
90	15.5	7.1	5.9	5.4	6.5	6.2	6.4	7.2	5.0	15.7	6.8	8.5	36.3	33.9	31.5
120	19.3	8.1	6.8	6.0	7.3	6.8	6.8	7.6	5.4	18.9	8.0	9.3	40.3	37.8	35.3

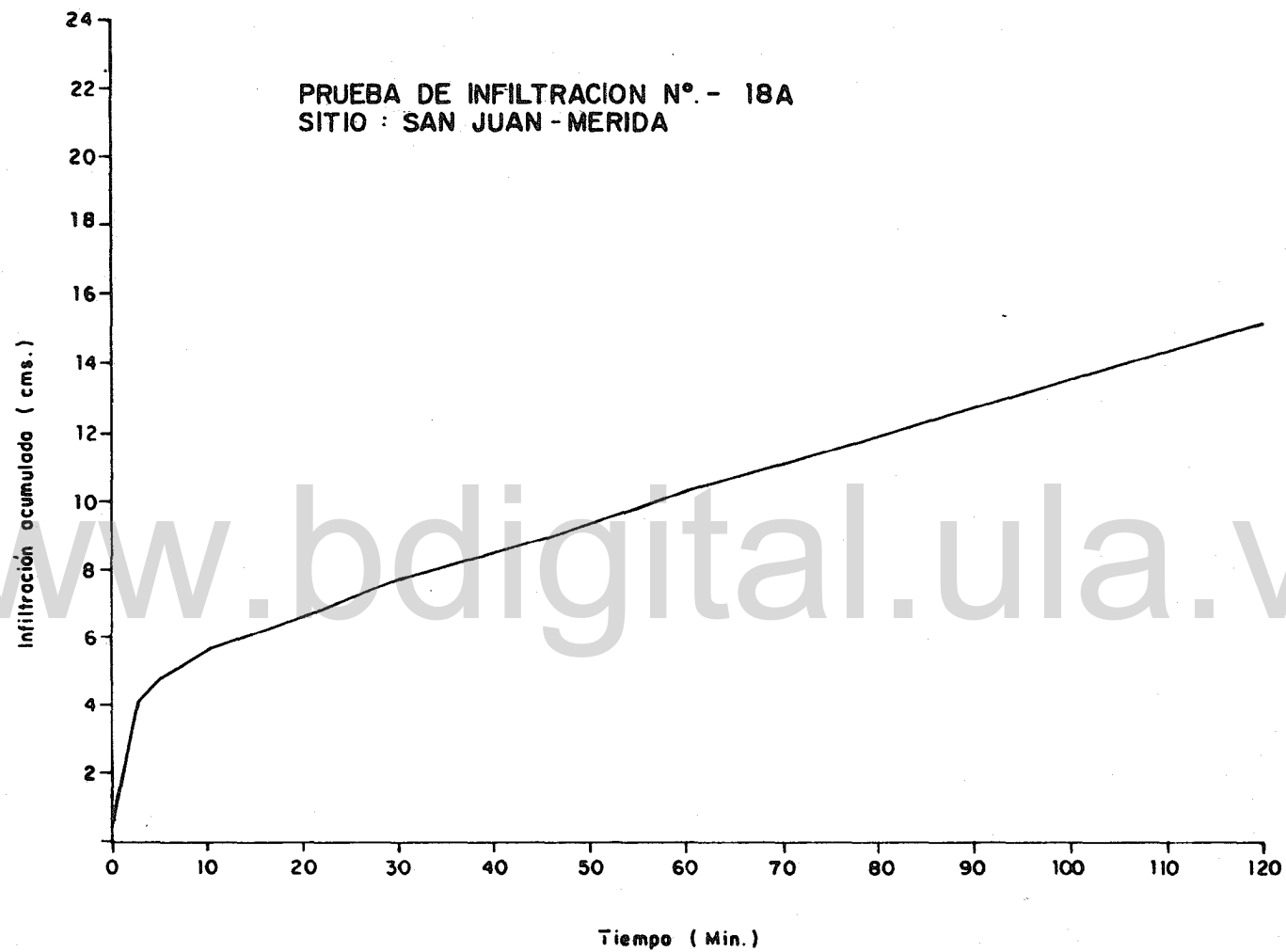
CONTINUACION APENDICE 1.2

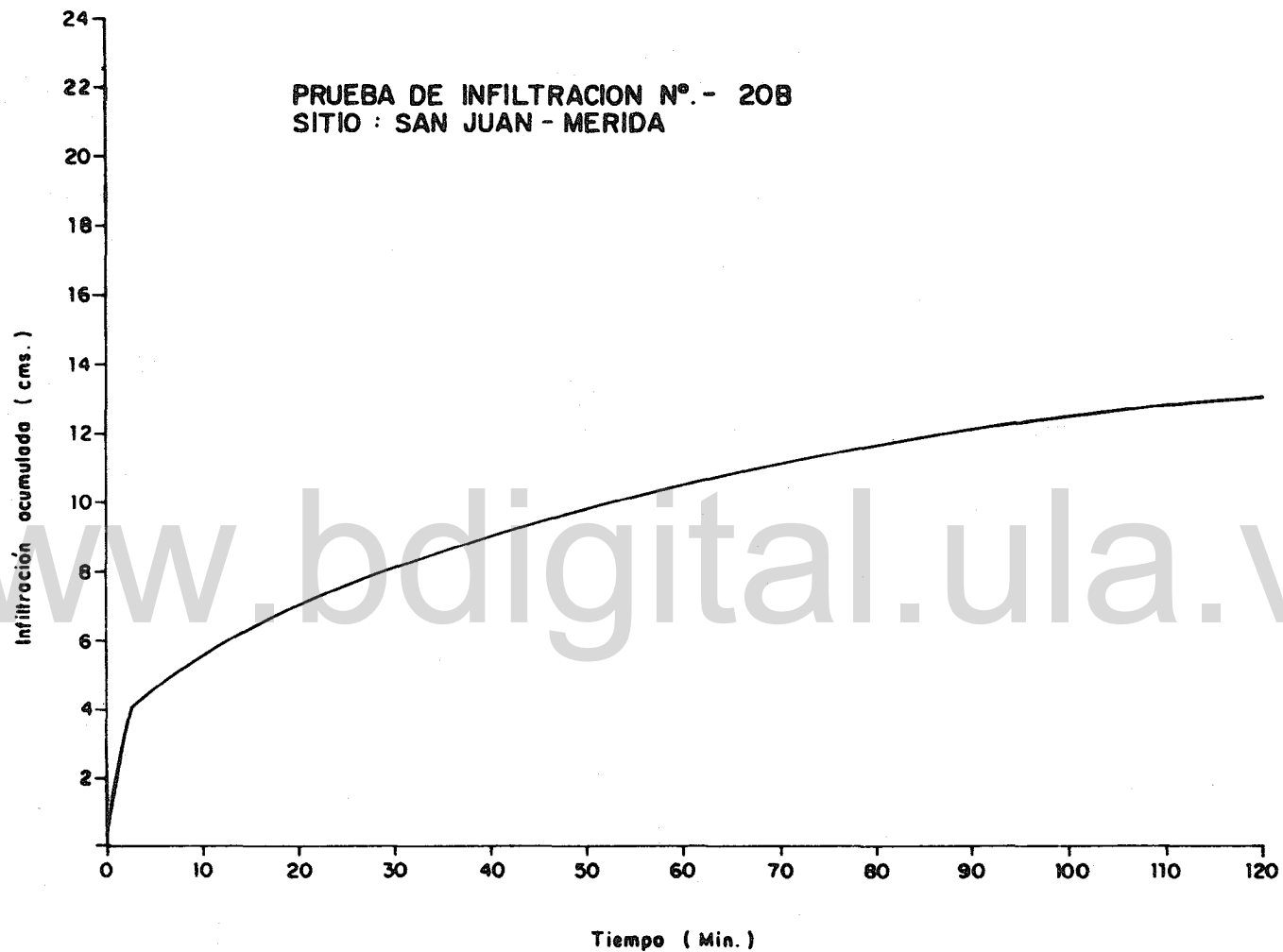
www.bdigital.ula.ve

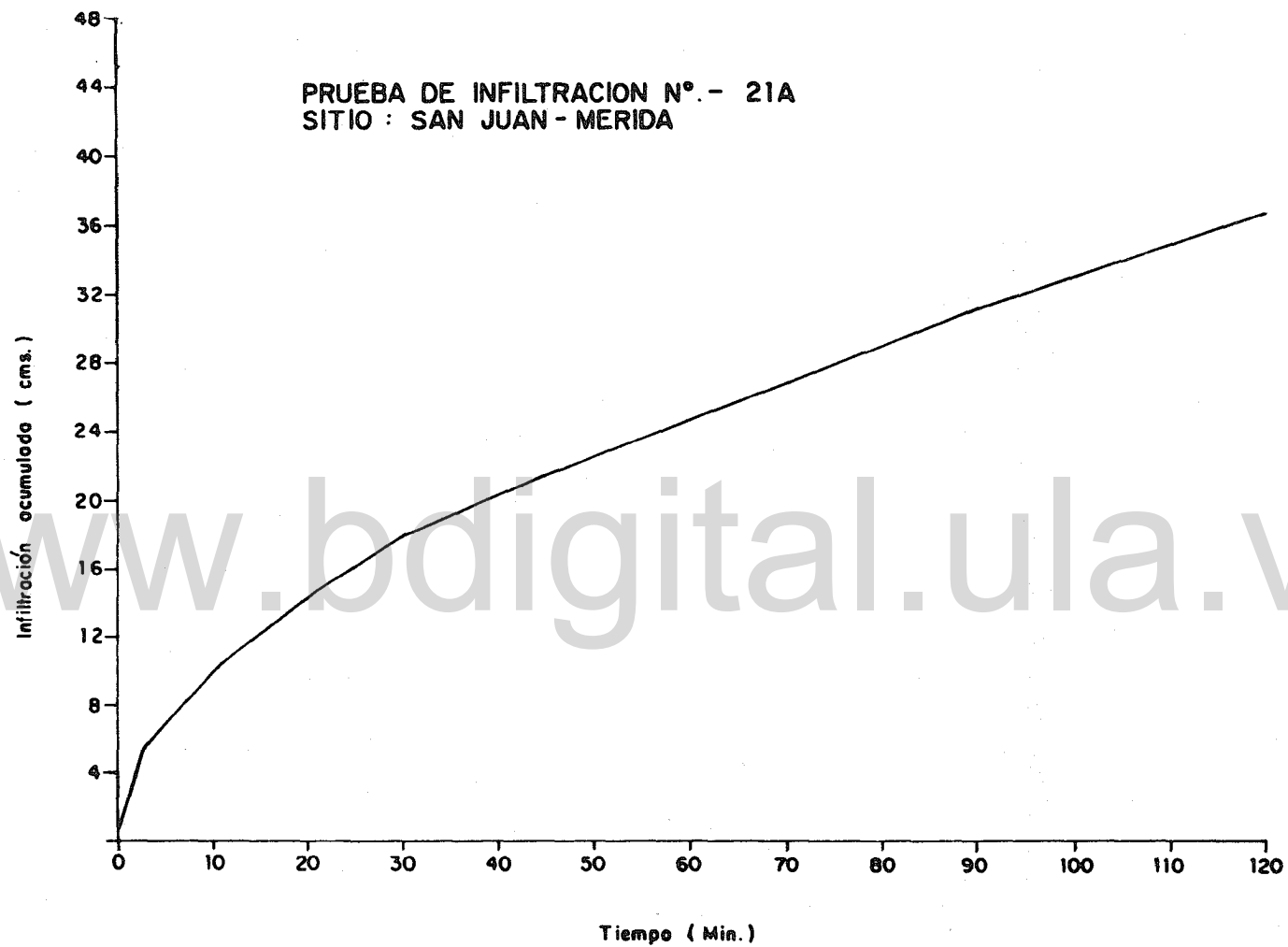
A P E N D I C E 1.3

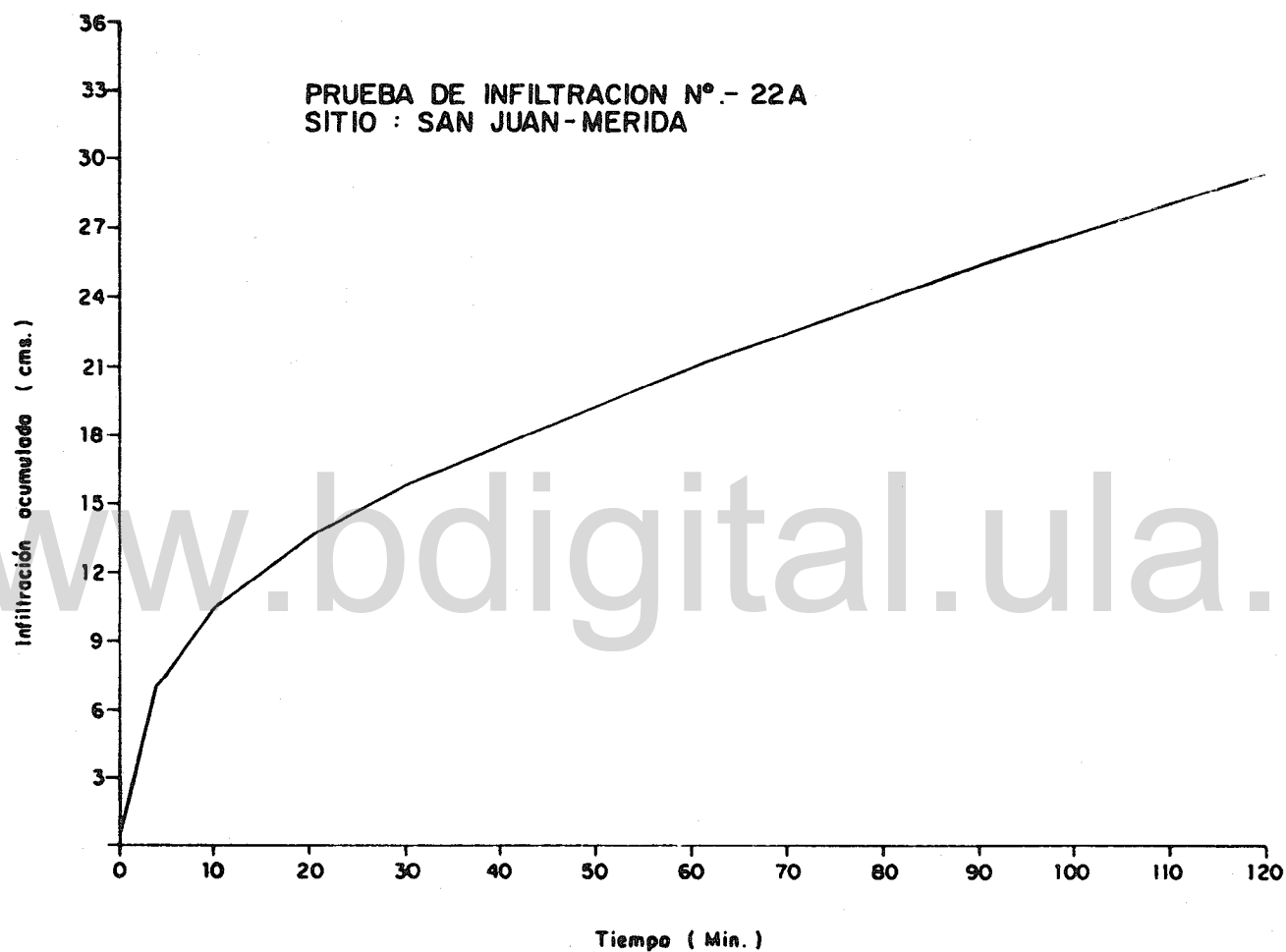
CURVAS DE INFILTRACION

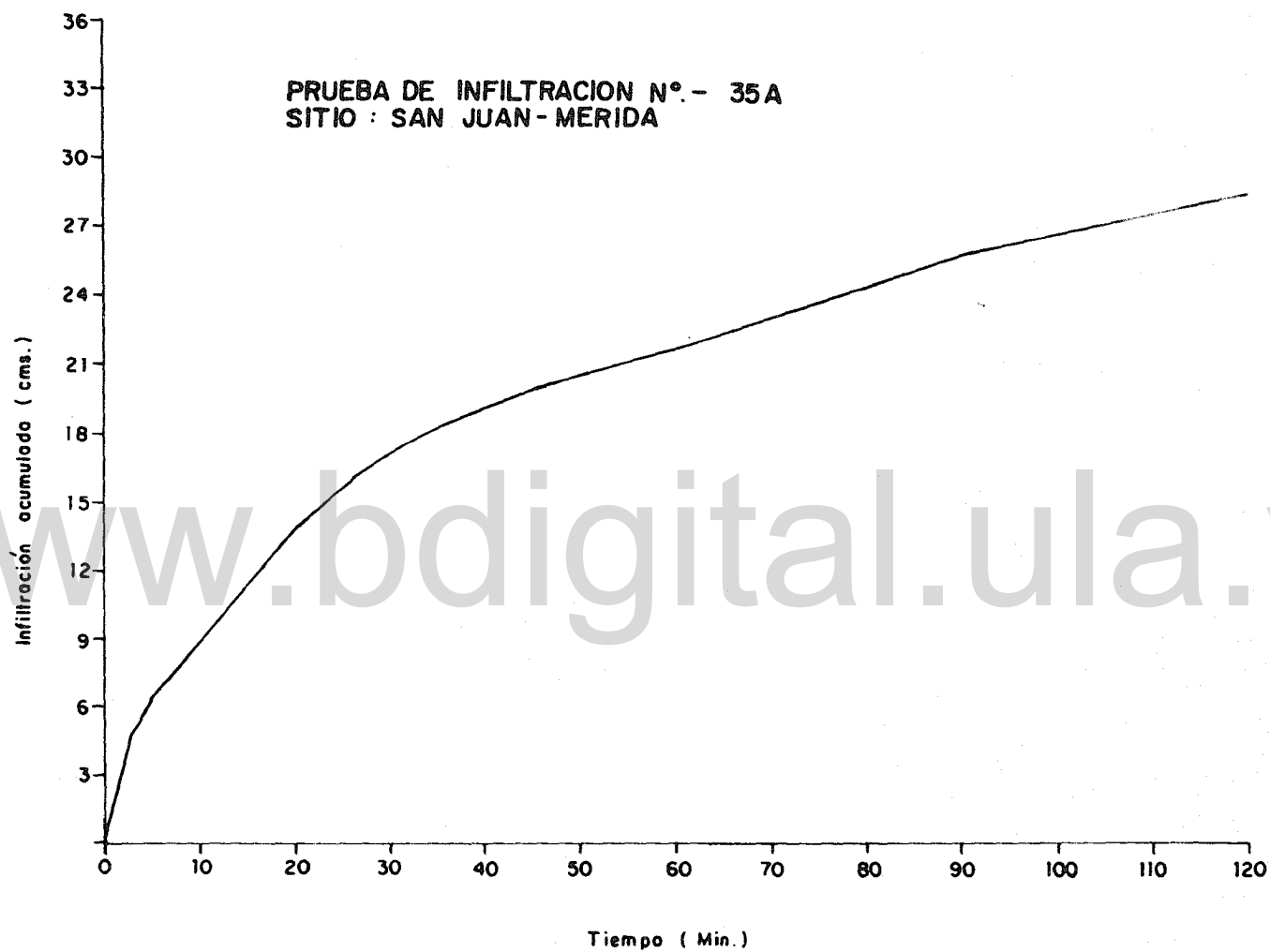
ACUMULADAS











APENDICE 1.4
DATOS DE INFILTRACION ACUMULADA OBTENIDOS DE LAS CURVAS AJUSTADAS

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 1			PARCELA N° 2			PARCELA N° 3			PARCELA N° 4			PARCELA N° 5		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1,0	1,5	3,0		1,7		1,8	1,0	1,6	1,8	2,1	2,5	1,7		1,9
2	3,0	2,0	3,4		3,4		3,5	2,8	3,0	3,0	3,2	3,8	3,6		3,3
3	3,4	2,3	3,5		4,9		4,0	3,4	3,2	3,2	3,6	4,0	4,5		3,8
4	3,6	2,5	3,7		5,3		4,2	3,6	3,4	3,3	3,7	4,2	5,1		4,0
5	3,7	2,6	3,8		5,7		4,4	3,75	3,6	3,4	4,0	4,3	5,7		4,2
10	4,5	3,0	4,4		7,8		5,0	4,1	4,4	3,55	4,8	4,7	7,4		5,1
20	5,6	3,9	5,0		10,9		6,0	4,5	5,4	3,9	6,3	5,1	10,3		6,3
30	6,4	4,7	5,6		13,5		7,0	5,0	6,4	4,25	7,6	5,4	12,5		7,2
45	7,3	6,0	6,5		17,9		8,3	5,7	7,9	4,8	9,8	6,1	15,2		8,4
60	8,5	7,2	7,35		21,6		9,65	6,35	9,4	5,3	11,8	6,6	17,4		9,3
90	10,6	9,4	9,05		28,7		12,5	7,75	12,5	6,4	15,6	7,8	20,3		11,2
120	13,0	11,9	10,9		36,5		15,3	9,1	15,6	7,4	19,0	8,9	21,4		13,1

	PARCELA N° 6			PARCELA N° 7			PARCELA N° 8			PARCELA N° 9			PARCELA N° 10		
1	1,6	1,7	2,0	1,8	2,1	2,2	1,4	2,3	2,3	1,3	2,0	2,0	1,5	2,2	1,8
2	3,5	3,1	3,5	3,0	3,6	2,5	2,0	3,3	2,35	2,2	2,1	3,7	2,9	3,9	3,1
3	3,9	3,6	4,1	3,2	3,75	3,0	2,2	3,35	2,375	2,5	2,2	4,0	2,98	4,8	3,8
4	4,0	3,9	4,4	3,3	3,85	3,3	2,3	3,375	2,4	2,6	2,3	4,15	3,0	5,1	4,3
5	4,15	4,1	4,65	3,4	3,95	3,5	2,35	3,4	2,4	2,7	2,4	4,4	3,1	5,25	4,7
10	4,4	4,7	5,9	3,75	4,4	4,6	2,6	3,5	2,5	3,1	2,7	5,25	3,25	6,35	5,7
20	4,7	5,7	7,9	4,15	4,9	6,6	2,9	3,65	2,7	3,6	3,2	6,5	3,58	8,2	6,78
30	5,1	6,5	9,8	4,6	5,3	8,3	3,2	3,7	2,9	4,05	3,7	7,5	3,9	9,8	7,9
45	5,5	7,6	12,1	5,0	5,8	10,7	3,6	3,71	3,2	4,7	4,4	9,0	4,4	11,6	9,5
60	6,0	8,7	14,1	5,4	6,2	13,0	4,1	3,725	3,5	5,4	5,1	10,0	4,85	13,5	11,1
90	7,0	10,8	18,6	5,8	6,9	17,6	5,0	3,750	4,1	6,8	6,55	11,9	5,85	17,1	14,3
120	8,0	13,0	23,0	6,3	7,7	22,3	5,9	3,8	4,7	8,15	7,2	13,5	6,8	19,8	17,7

APENDICE 1.4

DATOS DE INFILTRACION ACUMULADA OBTENIDOS DE LAS CURVAS AJUSTADAS

CONTINUACION APENDICE 1.4

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 11			PARCELA N° 12			PARCELA N° 13			PARCELA N° 14			PARCELA N° 15		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2,0	1,9		1,7	1,4	1,6	1,9	1,6		2,0	1,7		1,9	1,9	2,0
2	4,0	3,8		3,3	2,8	3,0	3,8	3,1		3,8	3,4		3,0	3,7	3,9
3	6,0	5,5		3,45	4,0	3,2	5,7	4,1		5,6	5,1		4,4	4,2	4,3
4	7,5	6,7		3,60	4,6	3,3	6,6	4,7		7,4	5,9		4,6	4,35	4,7
5	8,7	8,0		3,65	5,2	3,4	7,3	5,0		9,2	6,6		4,7	4,4	4,9
10	13,4	14,9		4,1	7,1	3,8	9,8	6,5		12,0	9,4		5,1	4,8	5,6
20	21,0	28,5		4,9	10,6	4,5	13,7	9,0		17,3	14,5		5,8	5,45	6,5
30	28,5	40,7		5,8	14,1	5,1	17,0	11,2		21,8	19,1		6,2	6,0	7,0
45	39,0	61,2		7,15	18,3	6,0	20,0	14,1		28,2	25,9		6,8	6,5	7,35
60	49,6	79,0		8,4	22,7	7,1	23,8	17,0		34,7	32,0		7,3	7,0	8,6
90	70,2	94,3		11,05	29,6	9,0	30,0	22,1		47,4	44,1		8,5	8,0	10,2
120	90,4	107,3		13,65	34,1	11,0	35,7	27,0		60,8	55,0		9,7	9,0	11,8
	PARCELA N° 16			PARCELA N° 17			PARCELA N° 18			PARCELA N° 19			PARCELA N° 20		
1	1,6	1,4				1,5			1,8	1,9	1,4	1,8	1,6	1,6	1,9
2	3,2	2,8				2,9			3,1	3,3	2,7	3,1	2,8	3,1	3,8
3	4,7	4,2				3,6			3,5	3,6	2,9	3,2	3,2	4,1	4,2
4	5,2	4,4				4,2			3,98	3,62	2,95	3,3	3,55	4,25	4,45
5	5,5	4,6				4,75			4,1	3,65	2,98	3,4	3,7	4,6	4,8
10	6,5	5,3				7,2			5,0	3,71	3,02	3,8	4,1	5,55	6,0
20	8,1	6,5				12,4			6,2	3,88	3,12	4,7	4,7	7,0	8,2
30	9,6	7,8				17,5			7,1	4,01	3,25	5,7	5,1	8,1	9,8
45	11,3	9,4				25,5			8,6	4,25	3,45	7,0	5,7	9,4	11,9
60	12,9	10,8				31,7			10,0	4,48	3,6	8,25	6,1	10,5	13,4
90	16,1	12,4				43,0			13,0	4,9	4,0	10,6	7,0	12,1	17,2
120	18,6	14,0				51,7			15,7	5,4	4,4	11,9	8,0	13,1	20,7

CONTINUACION APENDICE 1.4

CONTINUACION APENDICE 1.4

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 21			PARCELA N° 25			PARCELA N° 26			PARCELA N° 27			PARCELA N° 28		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1			1,4	1,5		1,6	1,5	1,0	1,6	1,3	1,7		1,5	1,4	2,1
2			2,8	2,9		3,2	2,5	2,0	3,2	2,6	3,4		2,6	2,7	2,7
3			3,2	3,1		3,7	3,0	2,52	3,5	2,7	5,0		2,8	3,4	2,8
4			3,5	3,3		4,0	3,15	2,8	4,0	2,8	5,3		2,95	3,5	2,88
5			3,8	3,4		4,3	3,25	3,0	4,4	2,85	5,7		3,1	3,6	3,0
10			4,8	4,2		5,8	3,8	3,78	5,8	3,2	7,2		3,78	3,95	3,35
20			6,2	5,1		8,4	4,58	4,61	8,1	3,95	10,4		4,9	4,5	4,0
30			6,9	6,0		10,8	5,15	5,2	9,7	4,7	13,2		6,0	4,9	4,4
45			7,6	7,0		14,1	6,05	5,7	12,1	5,8	17,6		7,3	5,3	4,9
60			8,4	8,4		17,2	6,9	6,4	14,4	6,9	22,2		8,3	5,6	5,3
90			9,8	10,7		23,1	8,7	7,6	19,1	9,2	30,9		10,5	6,0	5,7
120			11,3	13,0		28,7	10,5	8,5	23,1	11,4	39,6		12,2	6,2	6,0
	PARCELA N° 29			PARCELA N° 30			PARCELA N° 31			PARCELA N° 32			PARCELA N° 33		
1	1,4	1,5		1,3			1,6	1,6	1,8	1,4	1,8		1,6		
2	2,7	2,9		2,6			3,1	3,2	3,6	2,5	3,5		3,1		
3	3,9	3,9		2,8			3,4	4,7	3,65	2,58	4,1		4,5		
4	5,0	4,9		2,85			3,51	4,8	3,69	2,61	4,15		4,6		
5	5,6	5,9		2,87			3,6	4,9	3,71	2,7	4,2		4,7		
10	8,6	10,0		3,0			4,0	5,3	3,85	2,9	4,3		5,0		
20	13,1	16,7		3,2			4,5	5,9	4,1	3,3	4,5		5,7		
30	16,4	22,4		3,31			4,7	6,5	4,38	3,65	4,75		6,4		
45	20,6	30,1		3,5			5,1	7,3	4,75	4,1	5,1		7,4		
60	24,3	38,4		3,67			5,4	7,9	5,15	4,6	5,4		8,45		
90	31,6	54,1		4,05			6,1	8,9	6,0	5,6	6,1		10,5		
120	38,7	70,0		4,4			6,8	9,9	6,75	6,55	6,75		12,5		

CONTINUACION APENDICE 1.4

CONTINUACION APENDICE 1.4

TIEMPO (MINUTOS)	PARCELA N° 34			PARCELA N° 35			PARCELA N° 36			PARCELA N° 37			PARCELA N° 38		
	INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)			INFILTRACION ACUMULADA (cms)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1,5	1,7	1,6		1,6	1,2	1,7	1,5	1,2	1,6	1,6	1,5	1,7	1,7	1,4
2	2,5	3,3	3,0		3,2	2,4	3,3	3,0	2,4	3,2	3,1	3,0	2,9	3,4	2,7
3	2,55	3,7	3,08		4,8	3,5	3,6	3,3	2,6	3,8	3,6	3,9	3,0	4,0	2,75
4	2,58	3,8	3,1		6,4	4,2	3,8	3,42	2,65	3,85	3,7	3,95	3,08	4,15	2,775
5	2,61	3,85	3,11		7,6	4,8	4,1	3,5	2,7	3,9	3,71	4,0	3,15	4,2	2,8
10	2,8	4,2	3,27		11,4	7,7	5,05	3,89	2,95	3,95	4,1	4,1	3,4	4,5	2,9
20	3,1	4,6	3,6		17,0	11,0	6,5	4,4	3,35	4,15	4,6	4,38	3,75	4,8	3,2
30	3,5	4,9	3,9		21,6	15,1	7,8	4,75	3,7	4,3	5,0	4,6	4,1	5,1	3,4
45	4,0	5,3	4,35		27,5	19,0	9,7	5,3	4,2	4,6	5,40	5,0	4,6	5,55	3,75
60	4,5	5,7	4,8		32,6	22,6	11,7	5,9	4,75	4,9	5,82	5,4	5,1	6,1	4,2
90	5,51	6,62	5,75		43,3	29,9	15,5	6,95	5,8	5,5	6,6	6,2	6,1	7,0	4,9
120	6,6	7,5	6,7		52,4	37,2	19,3	8,1	6,8	6,1	7,38	6,95	7,1	7,95	5,65
	PARCELA N° 39			PARCELA N°			PARCELA N°			PARCELA N°			PARCELA N°		
1	1,4	1,3	1,4												
2	2,8	2,5	2,8												
3	3,7	2,6	3,4												
4	4,0	2,65	3,55												
5	4,2	2,7	3,7												
10	5,4	2,9	4,3												
20	7,3	3,35	5,2												
30	8,65	3,8	5,92												
45	10,5	4,5	6,85												
60	12,2	5,2	7,4												
90	15,5	6,6	8,32												
120	18,9	8,0	9,3												

CONTINUACION APENDICE 1.4

A P E N D I C E 2
www.bdigital.ula.ve

VALORES DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DETERMINADAS EN EL LABORATORIO Y OTROS CALCULADOS A PARTIR DE LAS MISMAS.

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIPO %	CARBON ORGANICO %	HUMEDAD %	ESPACIO POREOSO TOTAL %	ESPACIO POREOSO CON AGUA %	ESPACIO POREOSO CON AIRE %	DENSIDAD APARENTE g/cm ³	DENSIDAD REAL g/cm ³	MATERIA ORGANICA %
1	A	32,8	18,4	48,8	1,86	5,50	45,72	8,03	37,69	1,46	2,69	3,21
	B	47,0	15,0	38,0	1,54	4,20	41,18	6,72	34,46	1,60	2,72	2,67
	C	31,6	20,2	48,2	1,57	6,40	43,27	9,98	33,29	1,56	2,75	2,71
2	A	25,4	35,0	39,6	2,45	17,26	38,22	27,62	10,60	1,60	2,59	4,22
	B	25,0	40,2	34,8	2,26	15,21	36,02	25,40	10,62	1,67	2,61	3,89
	C	30,0	36,0	34,0	2,41	15,42	34,87	26,21	8,66	1,70	2,61	4,15
3	A	30,4	30,0	39,6	3,22	7,90	46,10	11,46	34,64	1,45	2,69	5,56
	B	31,2	29,8	39,0	2,80	7,50	43,32	11,78	31,54	1,57	2,77	4,83
	C	33,6	30,4	36,0	2,86	8,10	38,52	13,45	25,07	1,66	2,70	4,94
4	A	57,6	16,2	26,2	1,61	2,90	35,58	5,05	30,51	1,74	2,70	2,72
	B	57,8	16,0	26,2	1,52	3,20	39,78	5,28	34,50	1,65	2,74	2,63
	C	57,6	16,0	26,4	1,79	3,10	39,34	5,12	34,22	1,65	2,72	3,10
5	A	47,2	22,8	30,0	2,22	14,50	40,22	23,49	16,73	1,62	2,71	3,83
	B	47,0	23,0	30,0	2,35	14,00	38,97	23,24	15,73	1,66	2,72	4,06
	C	47,8	20,2	32,0	2,30	12,20	40,11	20,13	19,87	1,65	2,75	3,98
6	A	33,0	25,0	42,0	2,01	6,50	43,43	10,08	33,35	1,55	2,74	3,48
	B	36,0	24,4	39,6	2,33	5,50	40,58	9,02	31,56	1,64	2,76	4,02
	C	49,9	22,0	28,1	1,83	4,10	38,46	6,89	31,57	1,68	2,73	3,17
7	A	52,2	19,0	28,8	2,37	8,90	39,59	14,77	24,42	1,66	2,73	4,10
	B	49,8	20,0	30,2	2,55	10,30	36,91	17,61	19,29	1,71	2,71	4,40
	C	59,4	18,0	22,6	2,26	9,40	34,22	16,26	17,96	1,73	2,63	3,90
8	A	63,2	16,0	20,8	1,35	10,60	38,72	17,28	21,44	1,63	2,66	2,38
	B	51,4	18,0	30,6	2,41	18,30	40,00	29,65	10,35	1,62	2,70	4,17
	C	50,0	20,0	30,0	2,51	18,40	40,00	29,80	10,20	1,62	2,70	4,33
9	A	39,0	32,0	29,0	1,88	7,53	38,43	12,42	26,01	1,65	2,68	3,29
	B	25,4	40,2	34,4	1,47	6,43	38,29	10,67	27,62	1,66	2,69	2,54
	C	45,8	30,4	23,8	1,53	8,13	40,60	12,85	27,75	1,58	2,66	2,65
10	A	26,0	35,0	39,0	2,55	10,88	41,89	16,76	25,13	1,54	2,65	4,41
	B	39,0	30,0	31,0	2,49	9,62	39,46	15,20	24,26	1,58	2,61	4,30
	C	37,4	32,2	30,4	2,23	9,18	36,98	15,33	21,65	1,67	2,65	3,86

CONTINUACION ANEXO 2.1

FARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CARBON ORGANICO %	HUMEDAD %	ESPACIO PO-ROSO TOTAL %	ESPACIO PO-ROSO CON AGUA %	ESPACIO PO-ROSO CON AIRE %	DENSIDAD APARENTE G/cm ³	DENSIDAD REAL G/cm ³	MATERIA ORGANICA %
11	A	37,3	26,2	36,2	2,81	14,09	41,22	21,70	19,52	1,54	2,62	4,85
	B	34,8	26,0	39,2	3,00	13,62	40,61	21,11	19,50	1,55	2,61	5,18
	C	32,3	27,8	40,0	3,19	15,02	39,92	23,73	16,19	1,58	2,63	5,51
12	A	34,2	24,0	41,8	2,45	22,15	40,82	35,00	5,82	1,58	2,67	4,24
	B	48,4	22,0	29,6	2,33	16,54	39,85	26,96	12,89	1,63	2,71	4,02
	C	35,0	29,8	35,2	2,36	20,12	41,83	30,78	11,05	1,53	2,63	4,08
13	A	45,6	31,0	23,4	1,91	8,25	40,45	13,12	27,33	1,59	2,67	3,31
	B	43,4	32,0	24,6	1,82	9,47	40,00	15,63	24,37	1,65	2,75	3,14
	C	41,6	30,6	27,8	2,26	10,06	40,66	16,30	24,36	1,62	2,73	3,91
14	A	34,0	32,0	34,0	2,61	14,26	38,49	23,24	15,25	1,63	2,65	4,85
	B	37,6	30,0	32,4	2,94	15,47	40,82	24,44	16,38	1,58	2,67	5,07
	C	33,0	30,4	36,6	3,13	15,28	38,25	24,91	13,35	1,63	2,64	5,40
15	A	33,0	22,6	44,4	2,74	13,17	38,95	21,47	17,48	1,63	2,67	4,74
	B	35,6	22,0	42,4	2,62	15,13	38,43	25,06	13,37	1,65	2,68	4,52
	C	31,6	24,0	44,4	3,03	15,00	41,61	24,00	17,61	1,60	2,74	5,23
16	A	51,0	18,4	30,6	2,23	7,11	37,50	11,73	25,77	1,65	2,64	3,86
	B	51,0	19,0	30,0	2,98	9,88	39,40	16,10	23,30	1,63	2,69	5,15
	C	50,0	19,6	30,4	2,90	7,98	37,84	12,85	24,99	1,61	2,59	5,01
17	A	58,0	16,0	26,0	2,84	6,57	39,16	10,51	28,65	1,60	2,63	4,90
	B	59,6	16,0	24,4	2,94	5,27	37,79	8,59	29,20	1,63	2,62	5,07
	C	59,8	16,0	24,2	2,81	5,73	39,23	9,05	30,18	1,58	2,60	4,85
18	A	42,2	22,2	35,6	2,43	7,37	37,88	12,09	25,79	1,64	2,64	4,19
	B	29,0	26,0	45,0	3,06	9,84	40,23	15,35	24,88	1,56	2,61	5,29
	C	20,4	32,6	47,0	2,65	10,54	37,35	16,97	20,38	1,61	2,57	4,57
19	A	26,0	25,6	48,4	3,06	7,94	38,78	12,78	26,00	1,61	2,63	5,29
	B	28,0	20,4	51,6	3,06	7,90	40,53	12,40	28,13	1,57	2,64	5,29
	C	31,0	25,8	43,2	2,74	8,68	39,05	13,89	25,96	1,60	2,66	4,74
20	A	26,0	35,0	39,0	3,32	13,87	38,11	22,75	15,36	1,64	2,65	5,73
	B	34,0	32,0	34,0	2,81	12,18	32,05	21,44	10,61	1,76	2,59	4,85
	C	31,8	38,0	30,2	3,00	9,80	35,13	16,46	18,67	1,68	2,59	5,18

CONTINUACION APENDICE 2.1

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CARBON ORGANICO %	HUMEDAD %	ESPACIO P _O ROSO TOTAL %	ESPACIO P _O ROSO CON AGUA %	ESPACIO P _O ROSO CON AIRE %	DENSIDAD APARENTE G _{cm} ³	DENSIDAD REAL G _{cm} ³	MATERIA ORGANICA %
21	A	18,0	39,0	43,0	3,22	18,95	38,55	30,51	8,04	1,61	2,62	5,56
	B	26,0	32,0	42,0	3,16	15,55	39,00	24,57	14,43	1,58	2,59	5,45
	C	27,0	32,2	40,4	3,32	14,49	36,82	23,62	13,20	1,63	2,58	5,73
22	A	21,0	40,6	38,4	2,19	10,96	34,75	18,52	16,23	1,69	2,59	3,78
	B	31,0	32,0	37,0	2,21	10,04	40,15	15,56	24,59	1,55	2,59	3,81
	C	37,6	30,0	32,4	1,97	8,70	38,49	14,18	24,31	1,63	2,65	3,40
23	A	23,0	46,0	31,0	2,40	16,88	39,38	26,50	12,88	1,57	2,59	4,15
	B	24,0	44,2	31,8	1,90	18,29	37,50	30,18	7,32	1,65	2,64	3,27
	C	32,8	40,4	26,8	2,12	16,72	39,31	26,58	12,73	1,59	2,62	3,66
24	A	23,4	43,0	33,6	2,21	14,29	38,70	22,86	15,84	1,60	2,61	3,82
	B	22,0	46,6	31,4	2,25	15,45	32,83	27,50	5,33	1,78	2,65	3,87
	C	21,0	46,4	32,6	1,71	9,29	33,71	16,44	17,27	1,77	2,67	2,94
25	A	40,0	35,8	24,2	1,45	9,19	36,63	15,90	20,73	1,73	2,73	2,51
	B	29,6	41,0	29,4	1,45	10,99	36,57	18,68	17,89	1,70	2,68	2,51
	C	23,6	40,4	36,0	1,64	6,54	36,70	11,05	25,65	1,69	2,67	2,84
26	A	26,0	47,2	26,8	0,97	11,82	36,19	20,21	15,98	1,71	2,68	1,63
	B	22,0	47,6	30,4	2,02	10,66	38,06	17,70	20,36	1,66	2,68	3,49
	C	22,0	47,6	30,4	1,58	13,28	40,52	21,25	19,27	1,60	2,69	2,73
27	A	47,4	27,0	25,6	3,20	15,76	41,29	24,43	16,86	1,55	2,64	5,52
	B	51,6	22,2	26,2	3,67	13,20	41,67	20,33	21,34	1,54	2,64	6,34
	C	51,0	24,0	25,0	2,91	11,88	39,92	18,77	21,15	1,58	2,63	5,02
28	A	25,6	36,0	38,4	2,43	24,30	39,85	38,88	0,97	1,60	2,66	4,19
	B	29,0	39,0	32,0	2,15	18,81	37,97	31,04	6,93	1,65	2,66	3,70
	C	26,0	49,6	24,4	2,08	23,35	38,46	37,36	1,10	1,60	2,60	3,59
29	A	26,4	34,0	39,6	3,01	13,76	36,98	22,98	14,00	1,67	2,65	5,19
	B	34,0	29,8	36,2	3,01	11,03	40,75	17,32	23,43	1,57	2,65	5,19
	C	24,0	38,8	37,2	3,10	18,13	37,84	29,19	8,65	1,61	2,59	5,35
30	A	20,0	36,6	43,4	2,25	17,11	38,17	27,72	10,45	1,62	2,62	3,87
	B	27,6	39,6	32,8	1,52	14,37	38,35	23,57	14,78	1,64	2,66	2,62
	C	20,0	39,8	40,2	2,34	19,34	36,64	32,10	4,54	1,66	2,62	4,04

CONTINUACION APENDICE 2.1

PARCELA	MUESTRA	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CARBON ORGANICO %	HUMEDAD %	ESPACIO POREOSO TOTAL %	ESPACIO POREOSO CON AGUA %	ESPACIO POREOSO CON AIRE %	DENSIDAD APARENTE g/cm^3	DENSIDAD REAL g/cm^3	MATERIA ORGANICA %
31	A	24,8	42,0	33,2	1,52	16,06	34,36	27,30	7,06	1,70	2,59	2,62
	B	22,0	47,2	30,8	1,71	18,63	33,33	32,04	1,29	1,72	2,58	2,94
	C	18,0	51,0	31,0	2,09	17,42	34,39	28,92	5,47	1,66	2,53	3,60
32	A	39,6	22,0	38,4	1,77	9,99	40,67	15,88	24,79	1,59	2,68	3,06
	B	32,0	25,6	42,4	2,23	11,16	40,60	17,63	22,97	1,58	2,66	3,85
	C	48,6	21,0	30,4	1,67	10,62	37,31	17,84	19,47	1,68	2,68	2,88
33	A	51,0	19,0	30,0	3,20	11,27	37,64	18,15	19,69	1,61	2,59	5,52
	B	55,4	19,6	25,0	2,66	5,08	38,61	8,08	30,53	1,59	2,59	4,59
	C	50,4	19,0	30,6	2,85	6,98	35,66	11,59	24,07	1,66	2,58	4,91
34	A	41,0	24,2	34,8	2,78	20,37	42,15	30,76	11,39	1,51	2,61	4,79
	B	48,4	19,2	32,4	2,11	16,90	41,11	26,87	14,24	1,59	2,70	3,63
	C	32,0	27,8	40,2	2,41	21,33	39,39	34,13	5,26	1,60	2,64	4,15
35	A	51,0	20,0	29,0	2,28	9,86	38,93	15,78	23,15	1,60	2,62	3,93
	B	50,0	21,6	28,4	1,93	8,46	38,55	13,62	24,93	1,61	2,62	3,33
	C	52,8	21,8	25,4	1,67	9,22	39,62	14,75	24,87	1,60	2,65	2,89
36	A	54,0	16,0	30,0	1,35	4,17	43,70	6,34	37,36	1,52	2,70	2,33
	B	52,0	17,6	30,4	1,45	4,21	41,48	6,65	34,83	1,58	2,70	2,51
	C	52,0	16,0	32,0	1,36	4,11	41,64	6,46	35,18	1,57	2,69	2,39
37	A	50,0	25,4	24,6	1,89	17,42	39,25	28,05	11,20	1,61	2,65	3,25
	B	47,8	26,8	25,4	1,97	17,12	38,81	28,08	10,73	1,64	2,68	3,40
	C	52,0	24,0	24,0	2,17	18,40	40,00	29,80	10,20	1,62	2,70	3,74
38	A	38,2	23,2	38,6	2,02	11,90	39,47	19,16	20,31	1,61	2,66	3,48
	B	38,0	28,4	33,6	1,51	11,88	35,61	20,20	15,41	1,70	2,64	2,61
	C	39,6	28,4	32,0	2,47	14,09	32,58	25,08	7,50	1,78	2,64	4,26
39	A	38,4	28,0	33,6	2,47	18,10	39,31	28,78	10,53	1,59	2,62	4,26
	B	36,4	27,2	36,4	2,00	11,92	37,69	19,91	17,78	1,67	2,68	3,44
	C	39,0	26,0	35,0	2,06	15,72	36,47	26,57	9,90	1,69	2,66	3,55
40	A	44,8	22,4	32,8	2,58	14,03	41,67	21,61	20,06	1,54	2,64	4,45
	B	35,0	26,0	39,0	2,56	11,88	40,70	18,18	22,52	1,53	2,58	4,41
	C	46,6	20,6	32,8	2,56	12,40	40,00	19,72	20,28	1,59	2,65	4,41

www.bdigital.ula.ve