

# DETERMINACION DE LA TASA BASICA DE INFILTRACION EN ALGUNOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO, NARIÑO \*

E. Eraso-Guerrero, A. Paz-Salas, L. Legarda-Burbano\*\*, A. Arias-Hernández\*\*\*

## RESUMEN

En el trabajo realizado, se tuvo como objetivo la determinación de la velocidad de infiltración y de la infiltración acumulada, directamente en el campo por medio de los infiltrómetros, en 14 suelos del Altiplano de Pasto. Además se estudiaron algunas propiedades físicas que están relacionadas con la infiltración como la textura, porosidad, densidad aparente, materia orgánica y humedad. Según los datos promedios de infiltración, los suelos del Altiplano de Pasto no presentan problemas, excepto los suelos de Botana, los cuales presentan infiltración muy lenta.

## ABSTRACT

The objective of this work has been the determination of the speed of infiltration and of the accumulated infiltration studied in the field by means of infiltrometers in 14 soils of the Pasto High-land. In addition certain physical properties were studied, which are related with infiltration such as, texture, porosity, bulk density, organic matter and wetness. According to the average results of infiltration, the soil of the Pasto High-land do not present infiltration problems except the soils of Botana which can be considered as being very slow.

## INTRODUCCION

El conocimiento del proceso de infiltración en el suelo es importante, no solo para escoger y diseñar los sistemas de riego adecuados, sino también para evaluar la lluvia efectiva, el escurrimiento causado por la misma, el tiempo de estancamiento del agua sobre la superficie del suelo. Todo lo anterior conlleva a lograr un incremento en la producción agrícola.

Se ha demostrado a través de varias investigaciones que es práctico utilizar los infiltrómetros o cilindros para determinar las características de absorción de agua por los suelos. En la ac-

tualidad, las observaciones sobre infiltración medidas por el método de los cilindros, son usadas para desarrollar planes de irrigación y métodos de riego con una alta confiabilidad.

Las investigaciones sobre esta propiedad física, han merecido poca atención en estudios realizados en suelos del Departamento de Nariño. Por tal razón se efectuó el presente trabajo cuyo objetivo fue determinar la tasa básica de infiltración en algunos suelos del Altiplano de Pasto, relacionándola con otras propiedades físicas que regulan este proceso.

\* Síntesis de la tesis de grado de Ingeniero Agrónomo, presentada por los autores principales

\*\* Profesor Asistente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto

\*\*\* Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. Actualmente en la División de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali.

## REVISION DE LITERATURA

La infiltración es la propiedad que tiene un suelo de absorber agua a través de sus poros. Generalmente se expresa en altura de lámina de agua, en centímetros o pulgadas. Por otra parte, se entiende por velocidad de infiltración, la máxima velocidad con que un suelo puede absorber agua, bajo ciertas condiciones y en un tiempo dado. Se expresa como la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo (10, 13).

La infiltración no es un valor constante puesto que depende de varios factores, lo mismo que su medida. Entre estos se pueden mencionar las condiciones químicas y físicas del suelo; capa vegetal; la naturaleza del perfil; el contenido de humedad y la distribución de esa agua en su perfil; altura del nivel freático; carga hidrostática; temperatura del agua y del suelo, ya que como el flujo entre los poros es siempre laminar, los cambios en la viscosidad influyen en la velocidad de infiltración; duración de aplicación del riego; calidad del agua utilizada para regar; la configuración superficial, tales como tamaño y forma de los surcos; el método de aplicación del agua, etc (4, 6, 9, 10, 12, 13).

Estos factores cambian durante el tiempo de infiltración. De ahí que la velocidad de infiltración varíe de un lugar a otro. Es importante hacer notar que la capa vegetal que cubre el suelo, tal como la alfalfa, los pastos, etc., tiende marcadamente a incrementar el ritmo de infiltración, detiene el agua por su parte saliente sobre el suelo, dando oportunidad para que se infiltre una lámina de agua mayor (1).

El predominio de sodio sobre las bases de cambio en el suelo, causa la dis-

persión de éste, y su acumulación reduce la infiltración del agua, por lo tanto es necesario el análisis del suelo ya que en ocasiones no es posible reconocer, en el campo, los suelos con problemas relativos a acumulación de sodio (17). Si el agua tiene bajo contenido de sales y alto porcentaje de sodio, será aún más perjudicial que si presenta alto contenido de carbonatos (17, 22). Para contrarrestar estas causas se aplican mejoradores, los cuales serán efectivos si las condiciones químicas del suelo son favorables (17).

Según el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (22), la baja infiltración de los suelos puede tener, entre otras, las siguientes causas físicas: sello superficial, compactación del suelo, alto contenido de arcillas, condiciones de subsuelo impermeable, agrietamiento del suelo, sedimentos en el agua de riego, erosión del suelo, nivelación de tierras, etc.

Se han propuesto varias ecuaciones como la de Kostyakov, Philip, Horton, para explicar la velocidad de infiltración como una función del tiempo, dicha relación puede ser representada por una curva de forma hiperbólica (7).

La ecuación de Kostyakov citada por Forsythe (7), expresa la velocidad de infiltración en un punto, así:

$$I = a t^{-b}$$

donde:

- I = velocidad de infiltración en cm/hora
- t = tiempo de infiltración, mm/hora
- a = coeficiente el cual representa la velocidad de infiltración
- b = exponente sin dimensión, siempre negativo.

Según un estudio realizado por Skaggs et al. (19), en el cual comparó varias ecuaciones, encontró que la fórmula de Kostyakov es sencilla y fácil de aplicar con resultados satisfactorios.

La velocidad de infiltración de un suelo puede ser baja o alta, dependiendo de sus condiciones físicas y su manejo. El grado de infiltración está influenciado en forma crítica por las condiciones superficiales del suelo, aun cuando las capas interiores pueden también ser limitantes. La distribución del agua en el perfil, la cantidad y calidad del agua que se aplica, son factores que modifican la velocidad de infiltración, en ocasiones en forma indeseable, muy alta o muy baja. Es muy difícil especificar un límite de variación o demarcación entre grados de infiltración satisfactorios o indeseables debido a que se involucran muchos factores, entre los cuales hay que considerar la paciencia o habilidad del agricultor (15). Sin embargo, si el grado de infiltración es menor de 0,25 cm/hora se presentan problemas especiales de manejo del agua, que pueden hacer incosteable una explotación bajo riego para el agricultor común. En general se considera que los suelos que tienen velocidad de infiltración menor de 0,25 cm/hora deben ser desechados para fines de riego, según criterio de Mazurack, citado por Malagón (15).

## MATERIALES Y METODOS

La región estudiada comprende el Altiplano de Pasto, Departamento de Nariño, al Suroccidente de Colombia, a una altitud que va de 2.500 a 3.000 msnm, la temperatura fluctúa entre 12 y 14°C, la precipitación pluvial entre 700 y 800 mm anuales. El área estudiada está ubicada en el bosque seco montano bajo.

Luna y Carlhoun (14), anotan que en el Altiplano de Pasto se encuentran

suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas y suelos desarrollados de materiales complejos.

Los 14 sitios donde se hicieron las mediciones de la infiltración fueron: Aranda, Botana, Cabrera, Catambuco, Cujacal, Chapalito, Genoy, Jamondino, La Laguna, Mapachico, Obonuco, Sena, Tablazo y Torobajo.

Para la determinación de la infiltración en el campo se siguió el método del doble anillo o infiltrómetro propuesto por Musgrave y descrito por Bertrand (2) que consiste en enterrar dos cilindros de diferentes diámetros a distintas profundidades, llenar la corona con agua para evitar el flujo lateral, llenar a una altura medible el cilindro interior y tomar lecturas a determinados tiempos del agua que va descendiendo hasta que el descenso se vuelve constante, es decir cuando se llegue a la tasa básica de infiltración.

Siguiendo las metodologías descritas por Blake (3), González (11), Forsythe (7) y Silva (20) se analizó las siguientes propiedades físicas: textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, porosidad en base a la densidad real y aparente, densidad aparente por medio de cilindros, capacidad de campo por medio de las columnas de Colman y materia orgánica por medio del Walkley-Black.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan en los Cuadros 1 a 4.

La textura es una de las propiedades físicas que más influye en el régimen de penetración de agua en el suelo, especialmente las arenas y las arcillas. La inclinación de la curva de infiltración de un suelo varía según la textura, la

estructura y otros factores. El agua que se aplica a los suelos de textura gruesa se infiltra tan rápidamente hacia el interior de la superficie del suelo que permite el descenso de varios centímetros de lámina de agua en poco tiempo. Esta característica es similar a la encontrada en los suelos de Mapachico, Sena y Genoy, donde los contenidos de arena son altos. El porcentaje de arenas correlacionó positivamente tanto con la velocidad de infiltración como con la infiltración acumulada, con un  $r$  de 0,40 y 0,65\*, lo cual quiere decir que al incrementarse el contenido de arenas, aumenta la infiltración (Cuadro 3).

En promedio la tasa básica de infiltración para el 72% de los suelos que tienen textura franca fue de 3,10 cm/h. En cambio en los suelos que tienen textura franco arcillosa, la velocidad de infiltración se alcanzó después de varias horas, con un promedio de 1,13 cm/h. Estadísticamente se demostró en el Cuadro 3 que la relación entre el contenido de arcillas y la infiltración acumulada ( $r = 0,53$ ) y la velocidad de infiltración ( $r = 0,52$ ) fue inversa y significativa al nivel del 5%, siendo muy marcada en los suelos de Torobajo, Botana, Catambuco y La Laguna.

La condición anterior trae algunas desventajas bajo determinadas circunstancias. Así, en suelos con partículas del tamaño de las arenas no causarán tanta erosión como cuando sus separados son del tamaño de las arcillas. La cantidad y tamaño de fracciones de suelo mayores de 2 mm de diámetro, aumentan la velocidad de infiltración y reducen la erosión, además son más pesados que los suelos erosionables.

La porosidad depende de la textura y de la estructura. El agua pasa más rápidamente a través del perfil del suelo, en un suelo grueso con mayor poro-

sidad no capilar, que en un suelo pesado, en el cual predominan los poros capilares. Los suelos estudiados presentan cierta concordancia; así, los suelos de Mapachico, Sena y Genoy exhiben los mayores porcentajes de porosidad y por lo tanto las mayores tasas de infiltración y acumulación de agua. La correlación entre la tasa de infiltración y la porosidad fue de 0,787\*\* y entre ésta y la infiltración acumulada fue de 0,784\*\*.

Al analizar las regresiones del Cuadro 3 se observa un efecto directo de la porosidad y la densidad aparente sobre la infiltración. Así al incrementar la porosidad aumenta la velocidad de infiltración y la acumulación de agua. Estos resultados pueden considerarse como normales, teniendo en cuenta la relación entre porosidad y densidad aparente.

En el Cuadro 3 se observa que los parámetros que afectan el proceso de la infiltración como las arenas, arcillas, la densidad aparente, la porosidad y la materia orgánica influyen de una manera diversa sobre el mayor o menor valor de la infiltración. Es decir que al aumentar el contenido de arcillas tanto la infiltración acumulada como la instantánea tienden a disminuir; por el contrario, entre mayor sea el porcentaje de porosidad y de materia orgánica, más altos serán los valores de la infiltración, ya que las correlaciones encontradas son altamente significativas.

La rapidez de la infiltración del agua del suelo es importante. Los suelos que absorben el agua lentamente como los de Botana (Cuadro 1) y que presentan texturas medianamente finas, para fines de riego, deben regarse por un método que permita al agua permanecer en la superficie del suelo durante largos períodos de tiempo.

Los valores de infiltración obtenidos en estos suelos deben ser motivo de preocupación, ya que el flujo es tan lento, que impide una descarga rápida del agua de los terrenos, por lo cual tienen un nivel freático alto, lo cual obliga a pensar en la necesidad de planificar y diseñar drenajes, pues su productividad está y será restringida en alto grado por este factor.

La correlación entre la materia orgánica y la infiltración fue altamente significativa ( $r = 0,922^{**}$ ), lo cual indica que la materia orgánica produce una mayor acumulación y absorción de agua. Según criterio de Grassi (12) la materia orgánica influye en la formación de agregados y por lo tanto mantiene una alta absorción de agua.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de las tres pruebas sobre la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada.

Al descender el agua por el suelo comprime el aire, hasta desalojarlo de los poros del suelo, y naturalmente es reemplazado por el agua, entonces el suelo no puede absorber más agua y llega a un punto constante, o sea que la variación de la velocidad de infiltración permanece constante con relación al tiempo. Este valor es de gran importancia para el diseño de métodos de riego ya que el grado de aplicación de los sistemas debe ser tal que no sobrepase la capacidad de infiltración del suelo. La variabilidad de la tasa básica de infiltración fluctúa entre rangos amplios desde 6,80 cm/h para los suelos de Maipachico hasta 0,50 cm/h para los suelos de Botana.

De acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (22) y algunos autores como Mazurack, citado por Malagón (15) y Grassi (12), se presentan problemas para el riego cuando

la infiltración es menor de 0,25 cm/h condición que no se presenta en los suelos estudiados. No obstante lo anterior, la velocidad de infiltración para algunos suelos como los de Botana es baja en razón de su alto contenido de arcillas y de su permeabilidad que según estudios realizados por Castillo (5) puede considerarse como lenta.

En general, se puede observar que la mayoría de los suelos estudiados del Altiplano de Pasto no presentan problemas de mal drenaje en razón de una aceptable tasa básica de infiltración.

La cantidad de agua que se infiltra en el suelo en una unidad de tiempo dada, bajo condiciones de campo, disminuye conforme aumenta la lámina que haya entrado en éste. El volumen de agua que se infiltra en un intervalo determinado, es máximo al comenzar la aplicación de agua en el suelo; después de varias horas la velocidad a la cual la lámina de agua entra en el suelo se acerca a un valor constante.

Según varios autores como Free et al (8), Forsythe (7) y Skaggs et al (19), la ecuación de Kostyakov es sencilla, fácil de aplicar y se obtienen buenos resultados usando los datos de campo, razones por las cuales en el presente trabajo se usó la ecuación del mencionado autor, cuya expresión matemática ya se reseñó en el capítulo de Revisión de Literatura.

En el Cuadro 4 se registran los datos obtenidos sobre el parámetro  $b''$  que varía entre -0,44 y 0,87, resultados que concuerdan con los obtenidos por Philip (18), quien encontró en 68 suelos que  $b''$  varía entre -0,4 y 0,72. Así mismo, Molero (16) en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica encontró valores de  $b''$  para la infiltración acumulada que varían entre 0,591 y -0,709, los cuales concuerdan

parcialmente con los encontrados en el presente estudio, cuyos rangos varían entre -0,29 y -0,64. De igual manera, estudios realizados por Smerdon y Glass (21) muestran valores de "b" que oscilan entre -0,415 y -0,709, lo cual indica que hay una gran similitud con los datos encontrados en el presente trabajos.

El parámetro "b" indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo, por lo tanto es lógico pensar que depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes del humedecimiento del mismo. Los suelos de Mapachico tienen la tasa de infiltración más alta con una lámina de entrada de 6,80 cm/h y los suelos de Botana tienen la más baja con una lámina de 0,50 cm/h.

El parámetro "a" de la ecuación  $I = a t^{-b}$ , representa la cantidad de agua infiltrada durante el intervalo inicial, por lo tanto depende de la estructura y de la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua. Según Gavande (9) cuando el suelo tiene grietas y poros grandes, el valor de "a" es relativamente mayor que si solamente tiene poros pequeños. Los suelos de Obonuco presentan un valor de "a" = 69,84, lo que indica que en los primeros minutos, la absorción de agua por el suelo es alta. El caso contrario ocurre en el suelo de La Laguna,

con un "a" = 20,09 donde la absorción inicial es baja.

Los suelos que tienen una mayor capacidad de almacenamiento de agua son los de Mapachico, Sena, Genoy y Obonuco, y contrariamente, la menor acumulación se presenta en los suelos de Torobajo y Botana, que son precisamente los suelos que presentan la menor tasa básica de infiltración.

## CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos demuestran que la mayoría de los suelos estudiados del Altiplano de Pasto no presentan problemas de infiltración, ya que el promedio de la velocidad de infiltración fue de 2,54 cm/h, el cual puede considerarse como bueno, excepto los de los suelos de Botana, los cuales presentan una velocidad promedio de infiltración de 0,50 cm/h que puede considerarse como lenta.

2. Todas las propiedades físicas que se determinaron tienen influencia ya sea mayor o menor sobre la magnitud de la infiltración. A elevados contenidos de arcillas la infiltración fue menor, en cambio a mayores valores de porosidad total, materia orgánica y porcentaje de arenas, la infiltración también fue mayor.

## LITERATURA CITADA

1. BAYER, W., L. GARDNER y W.R. GARDNER. Física de suelos. Trad. del inglés por Jorge Rodríguez. México, UTEHA, 1973. 530 p.
2. BERTRAND, A.R. Rate of water intake in the field. In Black, C.A. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 197-208.
3. BLAKE, G.R. Bulk density. In Black, C.A. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 374-390.

4. BUCKMAN, H.A. y BRADY, N.C. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. del inglés por Salord Barceló. México, UTEHA, 1965. 540 p.
5. CASTILLO, S. Determinación de la conductividad hidráulica en suelos del Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1974. 80 p.
6. DULA, N.C. Sistemas de riego. In Grassi, C.J. y Dula, J.N. Riego y drenaje. Mendoza (Argentina), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1961. pp. 271-311.
7. FORSYTHE, W. Manual de laboratorio de Física de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 217 p.
8. FREE, G.R., CARLHOUN, J. y GUSTAFSON, A. Relative infiltration and relative physical characteristics of contains soil. California, United States Department of Agriculture, Technical Bulletin 729. 1940.
9. GAVANDE, S.A. Física de Suelos. México. Limusa-Wiley, 1972. 345 p.
10. GOMEZ, A.A. Principios y técnicas de riego y drenaje. Manizales, Universidad de Caldas, Facultad de Ingeniería Agronómica, 1968. 120 p.
11. GONZALEZ, M.A. Manual de laboratorio de suelos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1964. 96 p.
12. GRASSI, C.A. Riego por surco en suelos pesados. Trad. C.J. Grassi. Mérida (Venezuela), Centro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras, 1973. 163 p.
13. ISRAELSEN, O.W. y HANSEN, V. Principios y aplicaciones del riego. Trad. del inglés por Alberto Palacios. Barcelona, Reverté, 1965. 395 p.
14. LUNA, C. y CARLHOUN, G.F. Suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" 1973. 157 p.
15. MALAGON, D. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1974. 340 p.
16. MOLERO, A. La dinámica del agua y del espacio aéreo en las capas superficiales de dos suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 120 p.
17. MUSGRAVE, G.W. y HOLTAN, H.N. Infiltration. In Chow, V.T. ed. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1964. Section 12. 30 p.

Cuadro 1. Resultados obtenidos sobre la tasa básica de infiltración y la infiltración acumulada.

Lugar	Velocidad de infiltración		Infiltración acumulada	
	cm/hora	cm/día	cm	mm
1. Aranda	1,40	33,60	12,63	0,1263
2. Botana	0,50	12,00	3,20	0,0320
3. Cabrera	3,14	75,76	18,46	0,1846
4. Catambuco	1,52	36,48	8,50	0,0850
5. Cujacal	1,60	38,40	11,76	0,1176
6. Chapalito	1,80	43,20	5,26	0,0526
7. Genoy	5,40	129,60	37,03	0,3703
8. Jamondino	2,00	48,00	12,33	0,1233
9. La Laguna	1,60	38,40	8,33	0,0833
10. Mapachico	6,80	163,20	39,50	0,3950
11. Obonuco	2,60	62,40	23,06	0,2306
12. Sena-Granja				
Lope	5,00	120,00	28,36	0,2836
13. Tablazo	1,32	31,68	13,30	0,1330
14. Torobajo	0,82	19,68	5,10	0,0510
Promedio	2,54	60,96	16,20	0,1620



Cuadro 2. Resultados máximos, promedios y mínimos de las propiedades físicas estudiadas relacionadas con la infiltración

Parámetro	Máximo	Promedio	Mínimo
Arenas, %	48,32	39,48	37,17
Arcillas, %	35,44	24,63	13,68
Limos, %	42,68	35,88	25,88
Densidad aparente, g/ml	1,10	0,95	0,80
Porosidad, %	68,00	60,00	50,91
Capacidad de campo, %	45,75	37,78	31,37
Materia orgánica, %	9,08	4,72	2,59
Humedad de Campo, %	33,16	24,97	14,20

Cuadro 3 Relación entre algunas propiedades físicas, la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada

Parámetros	Ecuación de Regresión $Y = a + bX$	Coeficiente de correlación $r$
Arenas - Velocidad de infiltración	7, 9518 + 0, 3549X	0, 409
Arcillas - Velocidad de infiltración	6, 337 - 0, 1863 X	0, 526*
Densidad aparente - Velocidad de infiltración	22, 411 - 20, 416X	0, 836**
Porosidad - Velocidad de infiltración	16, 605 + 0, 3222X	0, 787**
Materia orgánica - Velocidad de infiltración	1, 987 + 0, 9072X	0, 922**
Arenas - Infiltración acumulada	92, 535 + 2, 1848X	0, 653**
Arcillas - Infiltración acumulada	39, 181 - 1, 056X	0, 533*
Densidad aparente - Infiltración acumulada	117, 319 - 103, 041X	0, 746 **
Porosidad - Infiltración acumulada	90, 574 + 1, 8131X	0, 784 **
Materia orgánica - Infiltración acumulada	10, 023 + 5, 467X	0, 844 **

Cuadro 4. Relación entre la velocidad de infiltración y el tiempo

Lugar	Ecuación de función exponencial $I = at^{-b}$	Coefficiente de correlación r
1. Aranda	$85,54 t^{-0,80}$	- 0,774**
2. Botana	$34,74 t^{-0,872}$	- 0,653**
3. Cabrera	$33,35 t^{-0,444}$	- 0,466
4. Catambuco	$32,79 t^{-0,800}$	- 0,665**
5. Cujacal	$65,54 t^{-0,748}$	- 0,997**
6. Chapalito	$16,85 t^{-0,588}$	- 0,450
7. Genoy	$54,48 t^{-0,451}$	0,402
8. Jamondino	$33,48 t^{-0,555}$	- 0,626**
9. La Laguna	$20,09 t^{-0,749}$	- 0,731**
10. Mapachico	$98,87 t^{-0,545}$	- 0,401
11. Obonuco	$69,84 t^{-0,552}$	- 0,817**
12. Sena	$84,48 t^{-0,568}$	- 0,362
13. Tablazo	$77,49 t^{-0,729}$	- 0,455
14. Torobajo	$35,71 t^{-0,856}$	- 0,733**

I = velocidad de infiltración

t = tiempo