

# Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana

Form and dimensions of wet bulb with the purpose of design of drip irrigation in two typical soils of savanna

**Gil-Marín, José Alexander**

Departamento de Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo de Monagas, Universidad de Oriente. *Campus* Los Guaritos, Maturín, 6201. Edo. Monagas  
Teléfono: 0291-6521192. Fax: 0291-415101. E-mail: jalexgil@cantv.net

## RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en dos suelos típicos de sabana, con el objetivo de determinar sus características hidroedafológicas con fines de diseño para riego por goteo. Los suelos estudiados fueron un suelo areno-francoso de la zona de Areo del Estado Monagas y un suelo franco-arcilloso de la zona sur del estado Anzoátegui. Para realizar este estudio se construyó un pequeño sistema de riego por goteo, constituido por tuberías, llaves, filtros, manómetros y otros accesorios. Se utilizaron goteros de 1, 2, 4 y 10 l/h. Entre los resultados obtenidos se tiene que el radio de humedecimiento del suelo "La Ceiba" se extendió mas horizontalmente que el suelo "Areo", situación inversa se presentó con la profundidad de humedecimiento donde los mayores valores se encontraron con el suelo Areo.

**Palabras claves:** Bulbo húmedo, riego por goteo, suelos de sabana

## SUMMARY

The research was carried out in two typical soils of savanna, with the objective of determining their hydraulic characteristics designing drip irrigation systems. The studied soil was a sandy soil of the zone of Areo of the Monagas State and a clay one of the South zone the Anzoátegui State. In order to carry out this study a small system of drip irrigation was constructed constituted by tubings, keys, filters, manometer and other property. Drip of 1, 2, 3, 4 and 10 L/H was utilized. Among the results it is obtained the wet ratio of the soil "The Ceiba" more horizontally than the soil extended "Areo", inverse situation was introduced with the wet depth where the greater values are for the Areo soil.

**Key words:** Wet ratio, drip irrigation, savanna soil

## INTRODUCCIÓN

El diseño de un sistema de riego por goteo comienza con la determinación del caudal y número de emisores necesarios para mojar un determinado volumen de suelo, este dato se obtiene a partir de una buena estimación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo formado a partir de un emisor, la cual depende ante todo de las propiedades y características del perfil físico, del volumen, caudal de agua aplicado por el emisor y de la topografía del terreno. De lo anterior se desprende que el patrón de mojado depende de una serie de factores, lo cual dificulta las estimaciones teóricas.

Las estimaciones del bulbo húmedo pueden hacerse de tres maneras: con tablas, uso de modelos teóricos y mediciones *in situ*.

Cualquier método científicamente razonable puede ser utilizado para la estimación del patrón de mojado y generalmente se hace a través de las tablas o de pruebas de campo (Razuri, 1988).

### 1. Uso de Modelos.

La dificultad matemática introducida por el flujo de dos o tres dimensiones y la estratificación del suelo, hacen que los modelos existentes sean muy complejos, aún estableciendo una serie de restricciones, es muy variable su correspondencia con los valores obtenidos en campo, en especial la de suponer que el suelo es un medio isotrópico. Factores como la dimensión de la zona saturada bajo el gotero, volúmenes de agua aplicados respecto a la ET; extracción por raíces, medios porosos inclinados, etc., han sido ignorados aunque recientemente el uso de computadores ha permitido incluirlos dentro de los modelos y ha facilitado el procesamiento de datos.

La principal dificultad para la utilización de estos modelos es que no disponen de los valores de los parámetros del suelo necesarios y es difícil aplicarlos cuando las propiedades del suelo varían a lo largo del perfil. Sin embargo, se ha progresado mucho en este terreno, por lo que, aunque de momento su utilidad principal está en los campos de la enseñanza y la investigación, a mediano plazo puede extenderse su uso con fines de diseño. (Rodrigo, *et al* 1992).

## 2. Uso de las tablas.

Unas aproximaciones que frecuentemente se usan, la constituyen unos datos medios, generalmente en base a la textura del suelo, que en forma de tablas aparecen en los manuales de riego por goteo. La utilización de estas tablas debe hacerse con mucha precaución, tras comprobar que las condiciones de diseño son similares a aquellas para las que las tablas fueron calculadas. Parece interesante recordar que el movimiento del agua en el suelo no depende solo de la textura y del suelo, sino también de la existencia de discontinuidades en su perfil físico (suelos no homogéneos, estratificados). El cuadro 1 tiene en cuenta, de alguna manera, la estratificación, pero siguiendo las advertencias del propio autor se debe ser muy prudente en su uso. En esta tabla no aparece definido el volumen de agua aplicado para obtener los diámetros mojados que se indican. Por otra parte, naturaleza, características, profundidad e inclinación de los estratos influyen notablemente y eso no puede preverse con carácter general.

## 3. Pruebas de campo.

La mejor manera de determinar el patrón de mojado o el área mojada es mediante pruebas de campo, éste es el método más confiable y seguro con

fines de diseño. Para su realización es necesario un mínimo equipo, el cual consta de un depósito de agua de aproximadamente 100 litros de capacidad, tubería de polietileno de 12 ó 16 mm, de 3 a 5 m de longitud y emisores o goteros.

El lateral contendrá los emisores suficientemente espaciados para independizarlos unos de otros, a través de éste se aplicará tres o más volúmenes diferentes de agua, como 20% mayor al estimado, 20% menor que el estimado en los cálculos previos que necesita aplicar un emisor y con la frecuencia que se considere que se va a regar.

Finalizando el proceso de aplicación, mediante muestreo o abriendo una calicata, se toman las medidas para dibujar con la mayor exactitud, la forma que adopta el suelo mojado; quedando entendido que cuanto más parecido sean los datos de la prueba a los posteriores que se utilizarán una vez instalado el sistema, más confiable serán los resultados (Razuri, 1988).

El objetivo del presente trabajo fue determinar las características hidroedafológicas de dos suelos típicos de sabana con fines de diseño para riego por goteo

## MATERIALES Y METODOS

Este ensayo se llevó a cabo en suelos de dos localidades de la zona oriental:

1. Arena francosa de la zona Areo. (Norte de Monagas).
2. Franco arcillo – arenoso de la zona La Ceiba. (Sur del estado Anzoátegui).

Cuadro 1. Superficie mojada estimada para distintas texturas del suelo, profundidad de raíces, suelo y grados de estratificación, para un emisor de 4 l/h, en condiciones normales de funcionamiento.

Profundidad de raíces y suelo (m)	Textura del suelo	Grado de estratificación del suelo		
		Homogéneo	Estratificado	En Capas
Diámetro de suelo mojado (m)				
0,80	Ligero	0,50	0,80	1,10
	Medio	1,00	1,25	1,70
	Pesado	1,10	1,70	2,00
1,70	Ligero	0,80	1,50	2,00
	Medio	1,25	2,25	3,00
	Pesado	1,70	2,00	2,50

Keller, (1978)

Algunas propiedades de los suelos estudiados son presentadas en el cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución del tamaño de partículas de los suelos estudiados.

Suelo	Porcentajes			Clasificación
	Arena	Limo	Arcilla	
Areo	79,6	11,2	9,2	af
La Ceiba	54	20	26	FAa

Se construyó un pequeño sistema de riego por goteo constituido por los siguientes componentes:

- Un cabezal de control de tubería de PVC de diámetro 3/4" con válvula de compuerta para regular el caudal, filtro de malla de 120 mesh y manómetro de 100 psi. (Figura 1).
- Tubería principal de 25 mm de polietileno de baja densidad.
- Tubería lateral de 16 mm de polietileno de baja densidad y de 10 metros de longitud (Figura 2).
- Como fuente de energía se utilizó el equipo de bombeo presente en la finca donde se llevaron a cabo las pruebas.

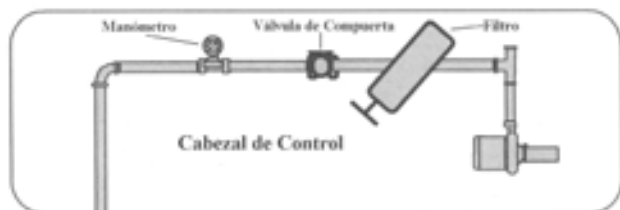


Figura 1. Cabezal de control de tubería PVC de 3/4" de diámetro con válvula de compuerta, filtro de malla de 120 mesh y manómetro de 100 psi

Se utilizaron goteros de 1 l/h, 2 l/h, 4 l/h y 10 l/h, calibrados previamente en el laboratorio para así determinar su curva Caudal vs presión.

Los goteros de 2, 4 y 10 l/h eran goteros sobre línea, que se colocaron separados a una distancia de 1,5 m para así asegurar que no existiera solapamiento entre los bulbos. Los goteros de 1 l/h eran goteros embutidos separados a una distancia de 0,5 m, en este caso fueron obstruidos algunos goteros, para así dejar un espaciamiento entre goteros de un metro.

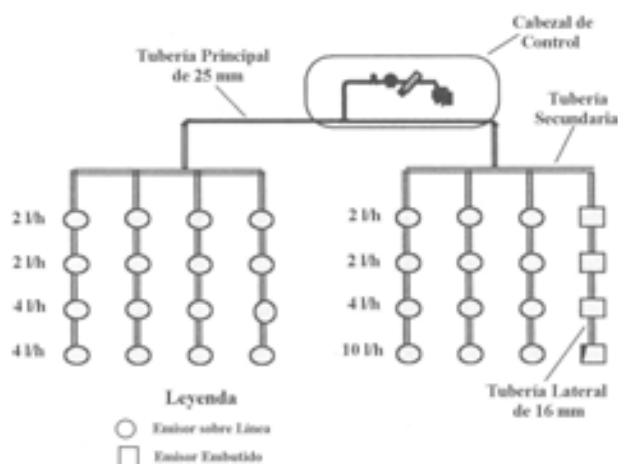


Figura 2. Esquema con la disposición del sistema de riego por goteo

Se ensayaron tiempos de aplicación de  $T_1 = 1$  hora;  $T_2 = 2$  horas y  $T_3 = 3$  horas.

Para la determinación de las características hidráulicas del suelo por el método de Shani *et al* (1987), se registraron los radios de los charcos debajo de cada gotero para cada uno de los siguientes tiempos de aplicación: 1 minuto, 5 minutos, 10 minutos, 20 minutos, 30 minutos y al final de la prueba para cada gotero. Los bordes del área de charco se determinaron visualmente, donde finalizó la zona de agua libre (como el indicado por la zona brillante). Un promedio de diámetro fue estimado midiendo el diámetro observado en diversas direcciones.

Finalizado el tiempo de aplicación, se abrió una zanja según la línea recta que pasó por el punto donde estaba situado el emisor, se tomaron las medidas del diámetro de humedecimiento a 15 cm de profundidad y la profundidad total, medidas necesarias para dibujar con la mayor precisión posible la forma del suelo mojado. En algunos casos la determinación visual exacta de los contornos del bulbo, cuando se ha sometido el suelo a varios ciclos de humedecimiento, no es normalmente posible, aunque, en general, los resultados que se obtienen son suficientes con fines de diseño de instalaciones. Cuando se presentó esta situación, lo que se hizo fue un muestreo posterior para determinar la humedad gravimétrica en varios puntos situados según una línea horizontal, a una profundidad conveniente, donde los puntos extremos se situaron claramente fuera del bulbo, para así ayudar a precisar el contorno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3 se observan las dimensiones y formas del bulbo húmedo obtenidos con diferentes volúmenes de agua aplicados, en los suelos Areo y Ceiba.

Para el suelo Ceiba que es un suelo más pesado, la velocidad de infiltración es menor que la del suelo Areo, lo que trae como consecuencia que su charco sea de mayor área. Esta es la primera razón para que su bulbo se extienda más horizontalmente. Por otra parte, el mayor porcentaje de porosidad del suelo "Ceiba" hace que las fuerzas mátricas dominen sobre las gravitacionales trayendo como consecuencia una mayor redistribución horizontal que la del suelo "Areo".

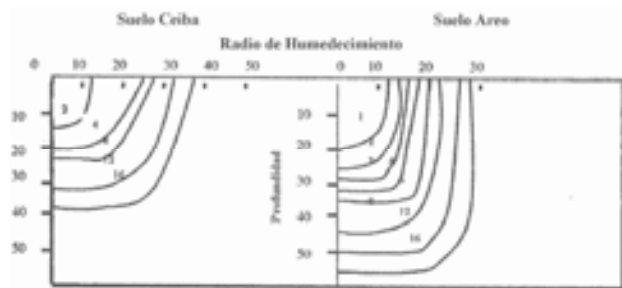


Figura 3. Situación del frente mojado en función del tiempo de infiltración y de la infiltración acumulada en litros.

En ambos casos a medida que se incrementa el volumen de agua aplicado al frente de humedad avanzará, tanto en profundidad como en sentido horizontal desde el emisor, aumentando por supuesto el volumen de suelo mojado.

En las figuras 4 y 5 se pueden observar las relaciones entre el radio de humedecimiento y el volumen aplicado, cuyo análisis de regresión señala que la ecuación de más ajuste a los datos resulta una ecuación del tipo exponencial:

$$Rh = a.v^m \quad (1)$$

Donde: Rh = Radio de humedecimiento (cm).  
 v = Volumen de agua aplicado (l)  
 a y m = Valores obtenidos al ajustar la ecuación de regresión.

Con coeficientes de regresión mayores al 91%, valores bastante aceptables.

Para el suelo Areo indica que a partir de los 10 litros, la longitud del diámetro de humedecimiento tiene a estabilizarse en 50 cm, lo que quiere decir que en caso de sembrar cultivos hortícolas, el máximo espaciamiento entre emisores, que puede garantizar una franja continua de humedad y un solapamiento entre bulbos de un 10 %, sería el espaciamiento entre emisores de 45 cm.

Para el caso del suelo Ceiba el espaciamiento recomendado sería de 60 cm, lo que va a traer como consecuencia un menor número de emisores por hectárea, en comparación con el suelo Areo.

Las figuras 6 y 7 señalan la relación profundidad de humedecimiento y el volumen de agua aplicada. La ecuación de regresión de más ajuste fue igualmente una ecuación potencial de la forma:

$$Ph = a. V^m \quad (2)$$

Donde Ph es la profundidad de humedecimiento en cm.

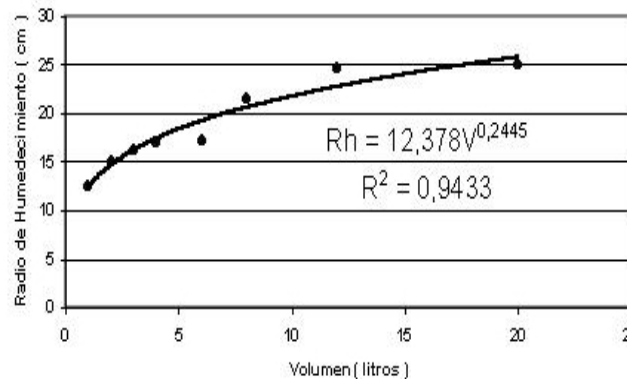


Figura 4. Radio de humedecimiento vs. volumen aplicado. Suelo Areo.

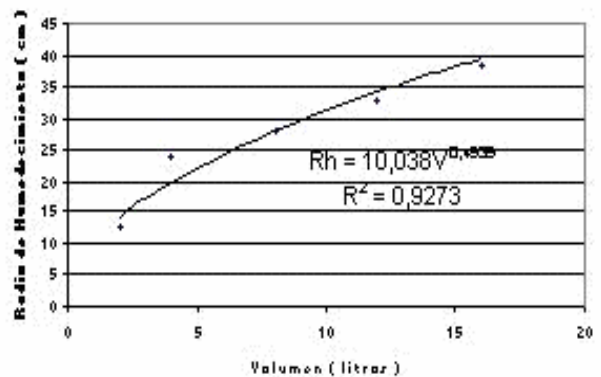


Figura 5. Radio de humedecimiento vs. volumen aplicado. Suelo La Ceiba.

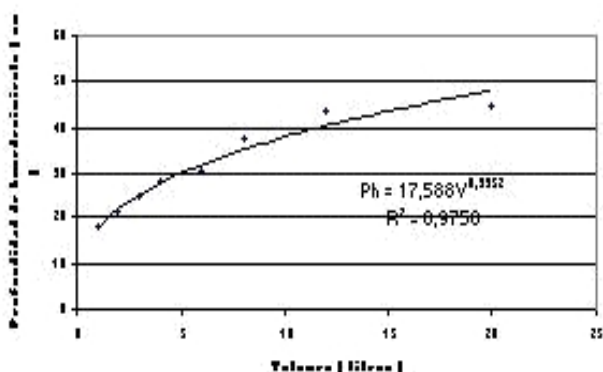


Figura 6. Profundidad de humedecimiento vs. volumen aplicado. Suelo Areo.

Estas presentaron coeficientes de correlación mayores al 97 %.

Conforme se aumenta el volumen de agua aplicado, la profundidad de humedecimiento avanza, aumentando el volumen de suelo mojado, según se aprecia en las figuras.

La importancia de estas relaciones, radica en que puede dar un estimado bastante confiable; del volumen de agua necesario para humedecer hasta la profundidad radical del cultivo, en cada una de sus diferentes estadios de crecimiento, lo que va a disminuir de forma significativa las pérdidas por percolación profunda.

Por último, es importante señalar que el conocimiento de forma y dimensiones del bulbo húmedo que se obtiene a partir de un emisor, permitirá determinar con bastante exactitud el número de emisores necesarios para mojar un determinado volumen de suelo, lo que influirá de manera significativa en el costo de la instalación.

### CONCLUSIONES

- A medida que se incrementa el volumen de agua aplicado el frente de humedad avanzará tanto en profundidad como en sentido horizontal, desde el emisor, aumentando por supuesto el volumen de suelo mojado.
- En la relación radio de humedecimiento vs volumen aplicado, la ecuación de más ajuste resultó una ecuación de regresión del tipo exponencial. Dicha relación para cada tipo de suelo resultó ser la siguiente:

Suelo Areo:  $R_h = 12,378 V^{0,2445}$  ;  $R^2 = 0,9433$

Suelo Ceiba:  $R_h = 9,8709 V^{0,5016}$  ;  $R^2 = 0,9164$

- La ecuación de más ajuste a la relación profundidad de humedecimiento vs. volumen de agua aplicada, resultó una ecuación exponencial de la forma:

Suelo Areo:  $Ph = 17,588 V^{0,3352}$  ;  $R^2 = 0,9758$

Suelo Ceiba:  $Ph = 8,9016 V^{0,4391}$  ;  $R^2 = 0,970$

- El radio del charco se incrementa con el caudal y con el incremento de la textura fina del suelo.

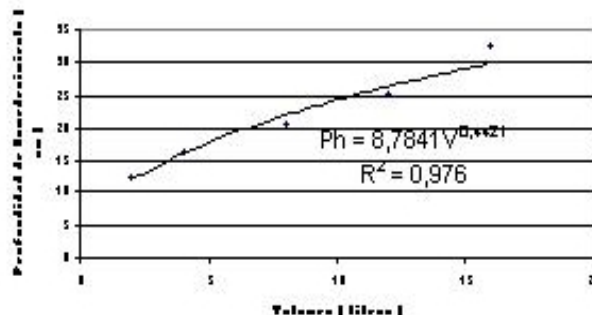


Figura 7. Profundidad de humedecimiento vs. volumen aplicado. Suelo La Ceiba.

### LITERATURA CITADA

- Brandt A.; E. Bresler. N. Diner.. J. Ben – Asher. J. Heller and D. Golberg. 1974. Infiltration from a trickle source; I Mathematical models. Soil Sci. Soc. Am. Proc 35: 675 – 682.
- Bresler. E. 1977. Trickle drip irrigation principles and application to soil water management. Adv. Agrom. 29: 343 – 393.
- Keller, J. y D. Karmelli. 1975. Trickle Irrigation design. I Edition. Edited and published by Rain Bird sprinkler manufacturing corporation. California. USA. 133 p.
- Keller, J. 1978. Trickle irrigation. SCS. Engineering Handbook. 201 p.
- Martín de Santa Olalla Mañas, F y J. A. de Juan Valero. 1993. Agronomía del Riego. Universidad de Castilla – La Mancha. Ediciones Mundi – prensa. Madrid – España. p. 29-66.
- Merriam, J. y J. Sélter. 1978. Farm irrigation system evaluation. A guide for managment. Utah State University. Logan, Utah. USA. 271 p.

- Montenegro, H.; D. Malagon y L. Guerrero. 1990. Propiedades físicas de los suelos. República de Colombia. Ministerio de Hacienda y crédito público. Instituto geográfico "Agustín Codazzi". Subdirección Agrológica. Bogotá – Colombia. p. 323 – 462.
- Narro, Eduardo. 1994. Física de suelos. Primera edición. Editorial Trillas. México. p. 71-126.
- Razuri R, Luis. 1988. Diseño de riego por goteo. Centro Interamericano de desarrollo integral de aguas y tierras. C.I.D.I.A.T. Serie riego y drenaje RD – 37. Mérida – Venezuela. p. 29-36.
- Rodrigo L; J. M. Hernández A.; Pérez y J. F. González. 1994. Riego localizado. Primera edición. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid-España. p. 159-178.