

Nota Técnica

UN INDICE DE FACILIDAD DE DRENAJE INTERNO APLICADO A SUELOS EN LA ZONA ATLANTICA DE COSTA RICA¹

Warren Forsythe ^{2/}*
Vivian Herrera**

ABSTRACT

An index of ease of internal drainage applied to soils in the Atlantic Zone of Costa Rica. The current drainage condition of Matina and Bataan, Province of Limón (Atlantic zone of Costa Rica) was evaluated. The region consists of an alluvial plane 10-50 m above sea level (m.a.s.l.) and a coastal zone 0-10 m.a.s.l. It is estimated that approximately 40% of the soils of the total area of the study (18200 ha) require drainage for sustainable crop production. The area has an average annual rainfall of 3572 mm, with 229 rainy days and average annual temperature of 24.5°C. Hydrological studies estimate, with a return period of 5 years, a coefficient of internal drainage of 14 mm/day, and the possibility of rainfall for three consecutive days of 86, 196 and 43 mm respectively. Hydraulic conductivity was determined by the auger hole method and it varied between 0.5 to 8.3 m/day. The harmonic average of the zone was 1.8 m/day and it was used in a drainage model, which has the average water table at 1 m depth with a maximum surge, after a storm, to 50 cm. The model used a combination of Hooghoudt and Glover-Dumm equations. Using a geometric base of 100 m spacing between drains and 100 m between collecting drains, a function to transform drain spacing to meters of drains/ha, was developed. The drainage model gave a spacing of 65 m which is equivalent to 460 m of drains per ha with a depth of 1.75 m. With data on the cost per meter of drain, it is easy to calculate the drainage construction cost. The number of meters of drains/ha begins to increase sharply when spacing drops from 50 to 30 m.

INTRODUCCION

En una zona húmeda con el balance hídrico positivo como la Zona Atlántica de Costa Rica, se experimentan aumentos de rendimiento con el descenso del nivel freático. En esta zona el beneficio del drenaje del subsuelo se encuen-

tra en: 1) desarrollar aeración en la zona radicular, 2) desarrollar y mantener transitabilidad y capacidad de laboreo y 3) reducir el crecimiento de malas hierbas que se adaptan a condiciones de mal drenaje.

Una mejor aeración de la zona radicular se logra con el descenso del nivel freático, porque cuanto más bajo, mayor succión de agua se experimenta en la capa superficial, de tal forma que se reduce la humedad y aumenta el espacio aéreo (Forsythe, 1985). Un aumento de succión en la zona radicular también hace que la película de agua que cubre y conecta las partículas y agregados del suelo, se torne más delgada, facilitando la aeración mediante una mayor difusión de O₂ hacia las

1/ Recibido para publicación el 27 de febrero de 1995.

2/ Autor para correspondencia.

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENA-RA). San José, Costa Rica.

raíces inmersas en dicha película. Un suelo arenoso o con agregados grandes, puede tener un espacio aéreo grande con un nivel freático muy superficial; por ejemplo, 14-22% de espacio aéreo en un suelo con agregados grandes y con el nivel freático a 2 cm de profundidad (Grable y Siemer, 1968), aunque, puede presentar mala aeración debido a las películas gruesas de agua en el suelo. Un descenso en el nivel freático mejora la aeración, haciendo las películas más delgadas. Forsythe y Legarda (1978) trabajando en frijol, encontraron resultados similares en un suelo franco arcilloso con buena estructura. Cuando el suelo tenía 0,055 bares de succión (un nivel freático de 55 cm) ya había alcanzado un espacio aéreo no limitante de 25,6%, pero el rendimiento fue 70% del máximo obtenido a una succión máxima de 0,8 bares a 5 cm de profundidad. A una succión de 0,11 bares (un nivel freático de 1,10 m) el rendimiento fue de 80%, y a una de 0,2 bares (nivel freático de 2 m) fue de 90%. La reducción en rendimiento entre una succión máxima de 0,8 y una de 0,055 bares se atribuye a la succión baja del agua, la cual corresponde a películas relativamente gruesas de agua que reducen la difusión de O_2 hacia las raíces. El valor de la tasa de difusión de oxígeno (TDO) a 0,055 bares fue $17 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2/\text{min}$ (un valor limitante) y a 0,35 bares fue de $26 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2/\text{min}$ (un valor no limitante).

En Holanda, para obtener el máximo rendimiento de pasto se usa un nivel freático entre 60-80 cm para suelos de textura fina y entre 40-60 cm para suelos arenosos (Van de Goor, 1972). Hay especies de pasto con un sistema radical superficial que crecen bien con niveles freáticos más superficiales. En Costa Rica el pasto Ratana (*Ischaemum ciliare*), que se ha extendido en la zona Atlántica y Norte del país en los últimos años, se adapta bien a terrenos húmedos por su sistema radical muy superficial (Villarreal, 1992). En cambio en el cultivo del banano se considera adecuado un nivel freático de 1,8 m o de mayor profundidad. Si la zona radical del banano es anegada por más de 3 días, ocurre muerte de las raíces (Soto, 1992). En contraste, Forsythe *et al.* (1979) encontraron que en el frijol (*Phaseolus vulgaris*) se puede reducir el rendimiento hasta en un 50% si es anegado por una hora.

Sancho (1993), en la zona de Siquirres de Costa Rica, con un promedio de lluvia de 3610 mm sin estación seca y una temperatura media

anual de 24,5°C, obtuvo rendimientos de 2076 cajas/ha/año de banano para una condición de drenaje con el nivel freático a 1,11 m de profundidad promedio y fluctuaciones extremas de 0,5 y 1,65 m; 2499 cajas/ha/año con un promedio de profundidad de 1,35 m y fluctuaciones extremas de 0,71 m y 1,8 m; y 3089 cajas /ha/año con un promedio de profundidad de 1,75 m y fluctuaciones extremas de 1,04 m y 1,96 m.

Bajo condiciones de campo se espera que la evapotranspiración aumente la succión en la zona radicular en mayor proporción a la generada por el equilibrio hidrostático sobre el nivel freático. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un índice de facilidad de drenaje, usando un modelo de drenaje basado en datos hidrológicos, de suelos y de características de los cultivos. Dicho índice se aplica al modelo de drenaje para facilitar el cálculo del costo de drenaje.

MATERIALES Y METODOS

Se evaluó la condición de drenaje actual en Matina y Bataán, provincia de Limón, en la Zona Atlántica de Costa Rica. El área es una llanura aluvial con una altitud de 10 a 50 msnm y una zona costera de 0 a 10 msnm. Se estima que aproximadamente un 40% de los suelos que cubren el total del estudio (18200 ha) excepto por una zona de reserva (3390 ha), requieren de un sistema de drenaje adecuado para la producción sostenida de los cultivos (Herrera, 1993).

Para caracterizar la zona, se usaron los datos de la estación meteorológica La Lola que está localizada a 10°06' de latitud N y a 83°23' de longitud O, con una elevación de 40 msnm. La zona tiene una precipitación anual promedio de 3572 mm, una temperatura media anual de 24,5°C con 229 días lluviosos. Se analizaron los datos de lluvia de 1949 a 1991 y en los suelos se determinó el perfil de porosidad y espacio aéreo, tomando muestras indisturbadas con cilindros de acero inoxidable de 100 ml de volumen. Los cilindros con las muestras se introdujeron en la cámara de un picnómetro de aire Daiki para obtener las lecturas relevantes. La conductividad hidráulica de las partes más profundas de los perfiles se determinó con el método de pozo en el campo (Herrera, 1993). Se usó una unidad de terreno de 100 m x 100 m para desarrollar un índice de la facilidad de drenaje interno.

RESULTADOS Y DISCUSION

Índice de la facilidad de drenaje

La unidad de terreno fue la base para desarrollar una relación entre la separación entre drenes interceptores (L) y el número de canales necesario para efectuar el drenaje (Figura 1). Esta relación se puede generalizar así:

$$\text{No. de canales interceptores (de 100 m)/ha} = \frac{100 + 1}{L \cdot A} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

L= distancia entre canales interceptores en m.
 A= área considerada en ha para calcular la distancia entre canales.
 En este caso A es de 1 ha.

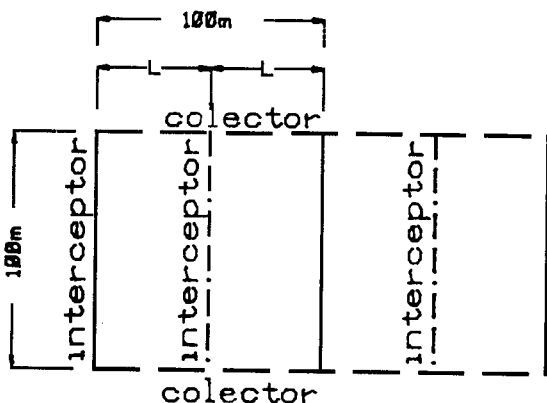


Fig. 1. Unidad de terreno de 100 m x 100 m. L es el espaciamiento entre drenes interceptores. El espaciamiento entre colectores es de 100 m.

Si L es de 100 m, se tienen 2 drenes interceptores (1 + 1 = 2) y 2 drenes colectores para 1 ha. Si L es de 50 m se tienen 3 drenes interceptores (2 + 1 = 3) y 2 drenes colectores para 1 ha. Si L es de 25 m se tienen 5 drenes interceptores (4 + 1 = 5) y 2 drenes colectores para 1 ha. La relación funciona también para L=200 m (L>100 m) si se considera A=2 ha.

El Cuadro 1 se desarrolló usando la ecuación anterior. Para un espaciamiento entre drenes colectores de 100 m, el número de estos drenes por ha es de 2. Si el espaciamiento es diferente, el número cambia tal como se indica en el Cuadro 1. En la Figura 2 se observa la relación entre espaciamiento de los drenes interceptores y los metros de drenes por ha. Se nota que la longitud de los drenes y, por lo tanto, el costo del drenaje por ha

Cuadro 1. Relación del espaciamiento entre drenes interceptores vs longitud de drenes/ha, cuando la distancia entre drenes colectores es de 100 m (Ecuación 1).

Espaciamiento entre canales interceptores en m (L)	Area considerada para efectuar el espaciamiento ha (A)	No. de canales interceptores de 100 m/ha $\frac{100 + 1}{L \cdot A}$	No. de canales colectores de 100 m/ha	Totales de m de canales/ha
500	5	0,4	2	240
400	4	0,5	2	250
300	3	0,67	2	267
200	2	1,0	2	300
100	1	2,0	2	400
50	1	3,0	2	500
40	1	3,5	2	550
30	1	4,3	2	630
25	1	5,0	2	700
20	1	6,0	2	800
10	1	11,0	2	1300
5	1	21,0	2*	2300

* Si los colectores tienen un espaciamiento de 200 m el número será de 1,0; para 300 m de 0,67; para 400 m de 0,5 y para 500 m es de 0,4.

umenta rápidamente cuando los valores de espaciamento disminuyen de 50 a 30 m. Un espaciamento entre drenes interceptores de 65 m, se transforma en 460 m de drenes por ha. La fórmula también se aplica a acequias de drenaje superficial (boquetes) y barreras vegetativas contra la erosión en laderas.

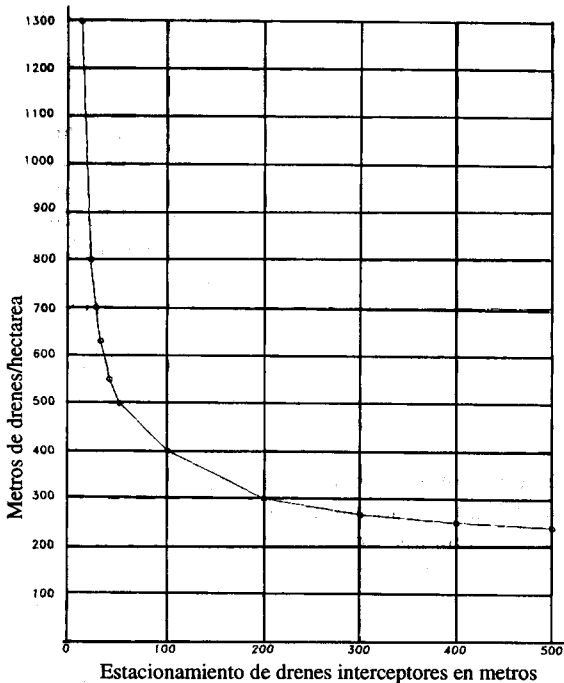


Fig. 2. Relación del espaciamento entre drenes interceptores vs longitud de drenes cuando la distancia entre drenes colectores es de 100 m.

Modelo de drenaje

Los datos de precipitación de La Lola indican que diciembre es el mes más lluvioso, y que la lluvia con un período de retorno de 1 en 5 años es de 700 mm (usando una distribución logarítmica normal) (Herrera, 1993). A dicha cifra se le resta 20% por escurrimiento (Schwab *et al.*, 1966) dado que es un suelo plano de infiltración rápida (textura arenosa), entre cultivado y pastura. Además, se le resta 121 mm, que corresponde al promedio de la evapotranspiración potencial para diciembre, evaluada por el método de Hargreaves (1976). El resultado de esta operación (439 mm) se divide entre 31 y se obtiene una infiltración diaria de 14 mm, la cual es el coeficien-

te de drenaje interno que se usa en la ecuación de Hooghoudt.

Datos experimentales de escurrimiento diario, conductividad hidráulica y niveles freáticos en la zona servirán para mejorar la base del presente modelo general, que sirve como un punto de partida para formular modelos más específicos según los cultivos y datos más localizados. Estudios previos indicaron que una tormenta de 3 días consecutivos con un período de retorno de 1 en 5 años puede tener lluvias de 86, 196 y 43 mm respectivamente. Durante dicha tormenta el escurrimiento fue 80% de la lluvia (JICA, 1988). Si a ese valor se le resta un 80% de lluvia de cada día por escurrimiento y 11,7 mm por la evapotranspiración potencial, se puede estimar en 53,3 mm el agua infiltrada durante estos 3 días. Los datos de espacio aéreo medidos entre 0,5 y 1 m de profundidad se promedian y se estima una porosidad drenable de 12%. La infiltración provoca un alza del nivel freático de 44,4 cm ($((100/12) \times 5,33)$). En el modelo se usa un alza de 50 cm.

Se escogieron los datos de conductividad hidráulica para profundidades mayores de 1 m, los cuales varían entre 0,5 y 8,3 m/día. El promedio armónico de varios suelos de la zona es de 1,8 m/día. Este se utilizó en el modelo de drenaje, el cual tiene un nivel freático promedio de 1 m de profundidad con su alza máxima por una tormenta extraordinaria de hasta 50 cm de la superficie (Figura 3). Este modelo se considera intermedio entre las exigencias de un cultivo como el banano y un pasto de raíces superficiales. Se aproxima a la Condición 1 de Sancho (1993) para banano, cuando el alza del nivel freático de un promedio de 1,11 m llegó hasta 0,5 m después de una semana con 150 mm de precipitación seguida de otra semana con 117 mm. El nivel freático experimentó un descenso de 0,5 m a 1,21 m en 2 semanas.

El modelo es una combinación de las fórmulas de Hooghoudt y Glover-Dumm. Para calcular el nivel freático promedio en el modelo se usa

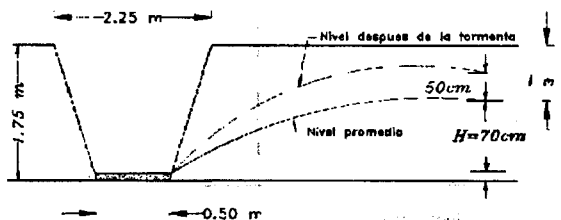


Fig. 3. Sección hidráulica del dren interceptor.

la fórmula de Hooghoudt (Forsythe, 1985) donde la conductividad hidráulica $K_1 = K_2 = 1,8$ m/día, el coeficiente de drenaje interno $q = 0,014$ m/día, $H = 0,7$ m (Figura 3), la capa impermeable está ausente y el espaciamiento entre drenes interceptores (L) = 65 m. La fórmula de Glover-Dumm (Forsythe, 1985) se aplicó en el caso del ascenso del nivel freático hasta 50 cm de profundidad después de una tormenta de 3 días consecutivos. El descenso del nivel freático se calculó en 10 cm después del primer día, 23 cm después del segundo, 38 cm después del tercero y 50 cm (su nivel original) después del cuarto día.

Evaluación del modelo con el índice de facilidad de drenaje

El modelo tiene un espaciamiento de 65 m entre drenes interceptores, lo que equivale a 460 m de drenaje por ha (Figura 2), con una profundidad de 1,75 m. La Figura 3 muestra que la sección del dren interceptor forma un trapecio con un área $2,41$ m², por lo que un metro de dren ocupa un volumen de $2,41$ m³. El volumen de excavación por ha sería de 1109 m³ y si se considera un costo de $\$2/\text{m}^3$ ($\$400/\text{m}^3$, enero 1996), el costo por ha es de $\$443,600$. Dicho costo no es un gasto sino una inversión con una vida estimada de 5 años. Por lo que el costo anual de la inversión es de $\$88,720$. Se estima que el costo de mantenimiento de los drenes terciarios es de $\$100/\text{m}/\text{año}$. Dicho costo se calcula considerando que se chapea un ancho de 7 m (inclusive el perímetro del dren) 4 veces por año. Por consiguiente el costo por m igual a $30 \times$ (costo de chapear/ $\text{m}^2 = \$3,33$). Dicho costo sería $\$100$ como se mencionó anteriormente. El costo de mantenimiento por ha será $\$460 \times 100 = \$46,000$. El costo total anual (sin incluir intereses) será de $\$88,720$ más $\$46,000 = \$134,720$.

RESUMEN

Se evaluó la condición de drenaje actual de Matina y Bataán de la provincia de Limón en la Zona Atlántica de Costa Rica. El área consiste de una llanura aluvial de 10-50 msnm y una zona costera de 0-10 msnm. Se estima que un 40%, aproximadamente, de los suelos que cubren el total del estudio (18200 ha) requiere de un sistema de drenaje adecuado para la producción sostenida

de los cultivos. La zona tiene una precipitación anual promedio de 3572 mm, con 229 días lluviosos y una temperatura media anual de 24,5°C. Los estudios hidrológicos estiman, con un tiempo de retorno de 1 en 5 años, un coeficiente de drenaje interno de 14 mm/día con la posibilidad de una lluvia de 3 días consecutivos de 86, 196 y 43 mm respectivamente. Los datos de conductividad hidráulica se determinaron con el método del pozo y varían entre 0,5 y 8,3 m/día. El promedio armónico de la zona de 1,8 m/día se utilizó en un modelo de drenaje, el cual tiene el nivel freático promedio a 1 m de profundidad con su alza máxima por una tormenta de hasta 50 cm. Las ecuaciones de Hooghoudt y Glover-Dumm se usaron en el modelo. Usando como base geométrica un espaciamiento de 100 m entre drenes y 100 m entre colectores, se desarrolló una función para transformar espaciamiento a metros de drenes/ha. El modelo de drenaje dio un espaciamiento de 65 m el cual equivale 460 m de drenes por ha con una profundidad de 1,75 m. Con datos del costo por metro de un dren, se puede calcular fácilmente el costo de la obra. El número de metros de drenes/ha empieza a aumentar rápidamente cuando el espaciamiento disminuye de 50 a 30 m.

LITERATURA CITADA

- FORSYTHE, W.M. 1985. Manual de laboratorio de física de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.
- FORSYTHE, W.M.; LEGARDA, L. 1978. Soil water and aeration and red bean production. I. Mean maximum soil moisture suction. Turrialba 28:81-86.
- FORSYTHE, W.M.; VICTOR, A.; GOMEZ, M. 1979. Flood tolerance and surface drainage requirement of *Phaseolus vulgaris*. In Soil physical conditions and crop production in the tropics. Ed. by R. Lal and D.J. Greenland). New York, Chichester, Wiley. p. 205-214.
- GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. 1968. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. Proceedings of the Soil Science Society of America 32:180-186.
- HARGREAVES, G.W. 1976. Monthly precipitation probabilities and moisture availability for Costa Rica. Utah State University. Working paper 76-E162. 34 p.
- HERRERA, V. 1993. Cartografía y clasificación de los suelos de la Llanura Aluvial delimitada por los ríos Madre de Dios, Barbilla y Matina. Tesis M.Sc. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 157 p.

J.I.C.A. 1988. Limón integrated agricultural development project (The Master Plan Study) Volume II. Japan International Cooperation Agency-SENARA, San José, Costa Rica. Annex B-18.

LEGARDA, L.; FORSYTHE, W.M. 1978. Soil water and aeration and red bean production. II. Effect of soil aeration. Turrialba 28:175-178.

SANCHO, H. 1992. Informe de drenaje. Guápiles, Costa Rica, CORBANA. 13 p. (mimeo).

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W.; BARNES, K.K. 1966. Soil and water conservation engineering. 2 ed. New York, Wiley.

SOTO, M. 1992. Bananos: cultivos y comercialización. 2 ed. San José, Costa Rica. Lil, S.A. 649 p.

VAN DE GOOR, G.A.W. 1972. Plant growth in relation to drainage. In Drainage principles and applications. Wageningen, The Netherlands. International Institute for Land Reclamation and Improvements. 16(1):91-122.

VILLARREAL, M. 1992. Evaluación comparativa de Ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. Agronomía Costarricense 16:37-44.

RESUMEN

Se evaluó la condición de drenaje de las zonas de cultivo de banana y plátano de la provincia de Turrialba, Costa Rica. Se seleccionó una finca agrícola de 10.50 hectáreas en el cantón de Guápiles, a una altitud de 1100 metros sobre el nivel del mar. El estudio se realizó en un terreno con drenaje natural que...

...de drenaje natural que... (The text in this block is extremely faint and largely illegible, appearing to be a continuation of the abstract or a separate section of text.)