

LÁMINA DE AGUA SUPERFICIAL A EVACUAR EN SUELOS AGRÍCOLAS

Surface Water Sheet to be Extracted from Agricultural Soils

P. M. Coras Merino¹

RESUMEN

El área de estudio se caracteriza por la presencia de exceso de agua sobre terrenos sembrados, causada por los escurrimientos superficiales, lo cual afecta los rendimientos de los cultivos establecidos; el propósito de este trabajo fue estimar los escurrimientos probables asociados a lluvias extremas, aplicando cuatro métodos para diferentes condiciones hidrológicas y edáficas en áreas cultivadas y determinar los gastos hidráulicos a remover por los drenes colectores a cielo abierto. Se determinaron las lluvias extremas de diseño de siete cultivos para períodos de retorno de 5 y 10 años y se calcularon los escurrimientos con los métodos del Servicio de Conservación de Suelo (SCS), balance hídrico, racional y racional modificado; con la ecuación de Manning se determinó la sección hidráulica del dren colector. Se encontró que para cultivos que soportan estar inundados menos de 12 h, los escurrimientos y gastos hidráulicos estimados por los métodos de balance hídrico y racional fueron los apropiados, mientras que para cultivos sensibles a excesos de agua mayores de 24 h, los gastos calculados por el SCS fueron los más adecuados

Palabra clave: *lluvias máximas, escurrimiento, drenes agrícolas.*

SUMMARY

The area of study is characterized by excess of water on cultivated fields. This is caused by surface runoff which affects yield of established crops. The purpose of this study was to estimate the runoff of extremely heavy rainfalls by applying four methods for different hydrological and edaphic conditions in cultivated areas and to determine the discharge to be removed by means of open-air collector drains. The extreme design rainfalls of seven crops were determined for the return

periods of 5 and 10 years and runoff was estimated by the Soil Conservation Service (SCS), the rational, modified rational, and the water balance methods. With the Manning equation, the hydraulic section of the collector drain was determined. It was found that in the study area for crops able to survive flood conditions less than 12 h, the runoff estimated by the water balance and rational balance methods were appropriate, while for crops resistant to excess of water for more than 24 h the calculated discharge by the SCS method was more suitable.

Index words: *maximum rainfall, runoff, agricultural drains.*

INTRODUCCIÓN

Las zonas húmedas constituyen la principal reserva agrícola de México, pues las condiciones climáticas de éstas producen una precipitación mayor que la evapotranspiración, con lo cual se obtienen excesos de agua. Aunado a esto, una topografía desfavorable y baja capacidad de infiltración de los suelos puede originar problemas de drenaje superficial y la presencia de una lámina de agua en la superficie del suelo, lo cual limita el desarrollo y crecimiento de los cultivos, cuando no se realizan oportunamente obras hidroagrícolas y prácticas de drenaje superficial (SARH, 1986).

Para estimar el drenaje superficial se utilizan los métodos racional (RANSER), número de curva del Soil Conservation Service y balance hídrico (Aparicio, 1997; Santanatoglia *et al.*, 2000; Pizarro, 2002; Rojas, 2002; López, 2003).

El método del balance hídrico está representado por la ecuación:

$$E = P - I - Et \quad (1)$$

donde: E = escurrimiento total (mm), P = lluvia de diseño (mm), I = infiltración total durante el tiempo de drenaje (td) (mm td⁻¹) y Et = evapotranspiración durante el tiempo de drenaje (mm td⁻¹).

¹ Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México (mpcoras@correo.chapingo.mx)

Fernández (1999) indica que para estimar las propiedades hidráulicas del suelo se puede usar el modelo de Saxton (Saxton *et al.*, 1986), el cual las estima en función de la textura (porcentaje de arena, arcilla y limo).

La infiltración se determina en el laboratorio sobre muestras alteradas o inalteradas, o siguiendo alguno de los métodos de campo (Aguilera y Martínez, 1996).

FAO (1997) señala que existen varios métodos para estimar la evapotranspiración y recomienda utilizar los métodos de Blaney y Criddle, Penman y tanque tipo A.

El método del Soil Conservation Service (SCS, 1972), es adecuado para estimar el escurrimiento en cuencas reducidas, hasta 800 ha, donde se estudia el efecto de prácticas conservacionistas. Es indicado para estimar el volumen medio de escurrimiento de una cuenca, como el valor pico de descarga; destaca que una tormenta intensa actúa más sobre el valor pico que sobre el volumen total a escurrir (Santanatoglia, 2000).

El Método del Soil Conservation Service (MSCS) estima el escurrimiento máximo con base en la precipitación y las características físicas de la cuenca; es aplicable fundamentalmente a cuencas llanas, donde las pendientes son menores de 2% (Pizarro, 1985).

El MSCS se basa en la relación que existe entre la infiltración y el escurrimiento potencial y los valores reales de ambos (Rojas, 1976). La relación es:

$$\frac{F}{S} = \frac{E}{Pe} \quad (2)$$

donde: F = infiltración real (L), S = infiltración potencial (L), E = escurrimiento real (L) y Pe = escurrimiento potencial o excesos de precipitación (L).

$$E = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3)$$

donde: E = escurrimiento (mm), P = lluvia de diseño (mm), S = infiltración potencial (mm) y S se define como:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) 2.54 \quad (4)$$

donde: S = cm, CN = número de curva.

El escurrimiento máximo se obtiene a partir del área de la cuenca, con las expresiones:

$$\text{Para cuencas } > 50 \text{ ha } Q = C \times A^{5/6}$$

$$\text{donde: } C = 4.573 + 0.162 \frac{E \times 24}{td} \quad (5)$$

$$\text{Para cuencas } < 50 \text{ ha } Q = C \times A$$

$$\text{donde: } C = \frac{2.78 \times E}{td} \quad (6)$$

donde: E = escurrimiento (cm); C = coeficiente de drenaje ($L s^{-1} ha^{-1}$), td = tiempo de drenaje (h), Q = caudal de diseño ($L s^{-1}$) y A = área de la cuenca (ha).

El coeficiente C se estima mediante ecuaciones empíricas obtenidas en sistemas de drenaje instalado y evaluado.

El método racional se aplica a cuencas menores de 1300 ha (López, 2003), con la ecuación:

$$Q = \frac{Ce \times I \times A}{360} = 0.0028 Ce \times I \times A \quad (7)$$

donde: Q = escurrimiento (pico máximo $m^3 s^{-1}$); Ce = coeficiente de escurrimiento que depende de las condiciones de la cuenca de estudio, valor adimensional; I = intensidad de lluvia en la cuenca ($mm ha^{-1}$) y A = área de la cuenca en estudio (ha).

En caso de no tener los datos de intensidad de la lluvia, el Colegio de Postgraduados (CP, 1991) menciona una forma alterna para aplicar el método racional, utilizando la lluvia máxima en 24 h para un período de retorno establecido.

El coeficiente Ce es una medida de la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía. En un techo de metal casi toda la lluvia se convertirá en escorrentía, de manera que Ce será casi 1.0, mientras que un suelo arenoso bien drenado, donde nueve décimas de la lluvia penetran en la tierra, el valor de Ce sería de 0.1; cuando la cuenca tiene diferentes tipos de topografía o de uso de la tierra, se obtiene una media ponderada combinando los diferentes valores en proporción al área de cada uno de ellos (FAO, 1997).

Otro factor a considerar es la forma de la cuenca hidrográfica. La escorrentía de cuencas regulares, ya sean cuadradas o redondas, se obtiene de tablas. Si la cuenca tiene otra forma se deben aplicar los factores de

conversión siguientes: alargada y angosta = 0.8; ancha y corta = 1.25 (FAO, 1997).

Santanatoglia (2000) destaca la buena protección brindada al suelo por el bosque o pastura, con relación al suelo cultivado, al observar un aumento del escurrimiento para este último manejo. Para más de un tipo de topografía o cobertura vegetal C_e se calcula como:

$$C_e = \frac{\sum C_{ei}A_i}{\sum A_i} \quad (8)$$

donde: C_{ei} = coeficiente de escurrimiento para cobertura vegetal $i...n$, A_i = área para topografía $i...n$.

Considerando la presencia de exceso de agua sobre la superficie en las zonas tropicales y subtropicales (reservas agrícolas del país), la presente investigación tiene como objetivos: a) estimar los escurrimientos con lluvias máximas, aplicando cuatro métodos para diferentes condiciones hidrológicas y edáficas en áreas cultivadas, y b) determinar los gastos hidráulicos a evacuar por los drenes colectores superficiales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo el proyecto en una superficie de 568.3 ha en la región de Álamo, municipio de Tamapache, Veracruz. Su clima es cálido-extremoso, con una temperatura media anual de 24.3 °C y precipitación pluvial media anual de 1391 mm, cuyas coordenadas geográficas son 25° 05' N, 97° 38' O y altitud 19 m.

El plano topográfico y las características y propiedades físicas del suelo de la zona de estudio se obtuvo de las cartas topográficas Alamos F14D54 y Tuxpan F14D55, (INEGI, 1999). Se identificaron, según

el Servicio de Conservación del Suelo (SCS, 1972), dos grupos de suelos; el primero, con baja tasa de infiltración, con texturas que van de moderadamente fina a fina (grupo C) y el segundo con alto potencial de escurrimiento de infiltración muy baja, con una textura arcillosa o capa de arcilla en la superficie (grupo D).

Se determinaron las lluvias máximas de diseño de siete cultivos: maíz, frijol, jitomate, sandía, cítricos, chile y papaya, en las curvas de lámina-duración-frecuencia para período de retorno de 5 y 10 años (Kraijenhoff, 1978; Coras, 2005) y se estimaron los escurrimientos con los MSCS, balance hídrico, racional y racional modificado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los escurrimientos estimados por el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1972) para siete cultivos a sembrar, infiltración potencial (S) de 24.85 a 58.75 mm, tiempo de drenaje (td) de 8 a 48 h y períodos de retorno de 5 y 10 años. Dentro de cada período se utilizaron distintas lluvias de diseño, escurrimientos para los tiempos de drenaje (Etd), escurrimiento para 24 h (E24) y gastos a evacuar por los drenes colectores (Q) ($m^3 s^{-1}$).

Los escurrimientos estimados por el método de SCS para 5 años de período de retorno fueron menores que los de 10 años en los siete cultivos, independientemente del tipo de cobertura vegetal (Cuadro 1).

Las diferencias en gastos (Q) entre 5 y 10 años fueron para tiempos de drenaje de 8 h = $0.09 m^3 s^{-1}$, 12 h = $0.17 m^3 s^{-1}$, 24 h = $0.3 m^3 s^{-1}$ y 48 h = $0.15 m^3 s^{-1}$. Por lo tanto, para tiempos de drenaje menores de 12 h, los gastos estimados para 5 y 10 años de período de retorno se pueden utilizar independientemente para fines

Cuadro 1. Escurrimientos calculados con el método del Servicio de Conservación de Suelos (MSCS).

Cultivo	Superficie	Cond. hidr.	Grupo de suelo	CN	S	Td	Período de retorno 5 años				Período de retorno 10 años			
							Lld	Etd	E24	Q	Lld	Etd	E24	Q
	ha				mm	h	mm	mm td^{-1}	mm	$m^3 s^{-1}$	mm	mm td^{-1}	mm	$m^3 s^{-1}$
Maíz	160.06	Buena	D	85	24.85	24	98	73.42	73.42	1.13	125.4	99.83	99.83	1.43
Frijol	109.27	Buena	C	85	58.75	12	52	16.36	32.73	0.49	67	26.78	53.55	0.66
Jitomate	44.50	Buena	C	85	44.85	8	37	10.75	32.34	0.17	46	16.75	50.24	0.26
Sandía	39.00	Buena	C	85	44.85	8	37	10.78	32.34	0.15	46	16.75	50.24	0.23
Cítricos	116.04	Buena	C	85	44.85	48	135	92.95	46.48	0.64	172.32	128.16	64.08	0.79
Chile	40.70	Buena	C	85	44.85	8	37	10.78	32.34	0.15	46	16.75	50.24	0.24
Papaya	58.73	Buena	C	85	44.85	12	52	21.07	42.14	0.34	67	32.73	65.46	0.45

CN = número de curva, S = infiltración potencial, Td = tiempo de drenaje, Lld = lluvia de diseño, Etd = evapotranspiración durante el tiempo de drenaje, E24 = escurrimiento en 24 h. Q = gasto a evacuar por los drenes colectores. D = suelo de textura arcillosa, C = suelo de textura moderadamente fina o fina.

Cuadro 2. Ecurrimientos calculados con el método racional.

Cultivo	Superficie	Td	Período de retorno 5 años						Período de retorno 10 años					
			Lld	I	Ce	Q1	Cp	Q2	Lld	I	Ce	Q1	Cp	Q2
	ha	h	mm	mm h ⁻¹		m ³ s ⁻¹		m ³ s ⁻¹	mm	mm h ⁻¹		m ³ s ⁻¹		m ³ s ⁻¹
Maíz	160.06	24	98	4.083	0.5	0.908	0.62	1.144	125	5.225	0.5	1.162	0.63	1.464
Frijol	109.27	12	52	4.333	0.5	0.658	0.63	0.829	67	5.583	0.5	0.847	0.63	1.068
Jitomate	44.50	8	37	4.625	0.5	0.286	0.63	0.360	46	5.750	0.5	0.355	0.63	0.448
Sandía	39.00	8	37	4.625	0.5	0.251	0.63	0.316	46	5.750	0.5	0.311	0.63	0.392
Cítricos	116.04	48	135	2.813	0.5	0.453	0.63	0.571	172	3.590	0.5	0.579	0.63	0.729
Chile	40.70	8	37	4.625	0.5	0.261	0.63	0.329	46	5.750	0.5	0.325	0.63	0.410
Papaya	58.73	12	52	4.333	0.5	0.353	0.63	0.445	67	5.583	0.5	0.455	0.63	0.574

Td = tiempo de drenaje, Lld = lluvia de diseño, I = infiltración, Ce = coeficiente de escurrimiento, Q1 y Q2 = gastos (pico máximo), Cp = coeficiente de escurrimiento modificado.

de diseño de la sección hidráulica de los drenes colectores para un tiempo de drenaje mayor de 12 h. Los gastos estimados para 10 años de período de retorno fueron 0.3 m³ s⁻¹ y 0.15 m³ s⁻¹ para 24 h y 49 h, respectivamente; entonces por las diferencias encontradas, ésta se puede utilizar para definir el área hidráulica del dren colector.

En el Cuadro 2 se observan los cultivos con sus respectivas superficies a sembrar, tiempo de drenaje (td), lluvias de diseño de 5 y 10 años, según el criterio del International Institute for Land Reclamation and Improvement (Kraijenhoff, 1978), y coeficiente de escurrimiento (Ce) y coeficiente de escurrimiento parcial (Cp), intensidad de lluvia en la cuenca (I) y gastos hidráulicos (Q₁ y Q₂).

En los escurrimientos calculados por el método racional para cinco años de período de retorno, aplicando los coeficientes de escurrimiento Ce = 0.5 y coeficiente de escurrimiento parcial Ce = 0.63, se obtuvieron diferencias en los gastos de 0.07 m³ s⁻¹, para td 8 h, y 0.23 m³ s⁻¹ para 24 h, y en 10 años diferencias de 0.09 m³ s⁻¹, para 8 h, y 0.3 m³ s⁻¹; para 24 h, se aprecia

que para tiempos de drenaje menores de 12 h y períodos de retorno de 5 y 10 años, las diferencias en gastos oscilan de 0.06 a 0.09 m³ s⁻¹, por lo tanto se puede señalar que para los cálculos de los gastos y diseño hidráulico de los drenes colectores se puede utilizar dichos períodos de retorno para tiempos de drenaje mayores de 24 h. Para 24 y 48 h de tiempo de drenaje es necesario considerar los períodos de retorno, porque los gastos oscilan entre 0.11 y 0.3 m³ s⁻¹.

En el Cuadro 3 se aprecian los cultivos con sus respectivas superficies, tiempo de drenaje (td), infiltración del suelo en función a la textura (1.8 mm h⁻¹), infiltración para el tiempo de drenaje (It_d), evapotranspiración estimada por el método de Blaney y Criddle (ET), escurrimiento 24 h (E24), coeficiente de drenaje (C) y gasto (Q) a evacuar de la superficie del suelo, considerando las lluvias de diseño (Lld) de 5 y 10 años, obtenidos según el criterio de Kraijenhoff (1978).

En los escurrimientos estimados por el método de balance hídrico para 5 y 10 años de período de retorno, se determinaron diferencias en 0.08 m³ s⁻¹ para 8 h de

Cuadro 3. Ecurrimientos calculados con el método del balance hídrico.

Cultivo	Superficie	Td	It _d	Período de retorno 5 años					Período de retorno 10 años				
				ET	Etd	E24	Ce	Q	ET	Etd	E24	Ce	Q
	ha	h	mm	mm td ⁻¹	mm	L s ⁻¹ ha ⁻¹	m ³ s ⁻¹	mm td ⁻¹	mm	L s ⁻¹ ha ⁻¹	m ³ s ⁻¹		
Maíz	160.06	24	43.2	4.77	50.03	50.03	12.64	0.87	4.77	77.43	77.43	17.07	1.17
Frijol	109.27	12	21.6	1.83	28.57	57.14	13.79	0.69	1.83	43.57	87.14	18.65	0.93
Jitomate	44.50	8	14.4	1.46	21.14	63.42	7.35	0.33	1.46	30.14	90.42	10.47	0.47
Sandía	39.00	8	14.4	1.22	21.38	64.14	7.43	0.29	1.22	30.38	91.14	10.56	0.41
Cítricos	116.04	48	86.4	6.48	42.12	21.06	7.99	0.42	6.48	79.44	39.72	10.96	0.58
Chile	40.70	8	14.4	1.22	21.38	64.14	7.43	0.30	1.22	30.38	91.14	10.96	0.45
Papaya	58.73	12	21.6	1.23	29.17	58.34	13.98	0.42	1.23	44.17	88.34	18.84	0.56

Td = tiempo de drenaje, It_d = infiltración para el tiempo de drenaje, ET = evapotranspiración estimada por el método de Blaney y Criddle, Etd = evapotranspiración durante el tiempo de drenaje, E24 = escurrimiento en 24 h, Ce = coeficiente de escurrimiento, Q = gasto.

tiempo de drenaje, $0.24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para 12 h, $0.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para 24 h, y $0.16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para 48 h. Se puede decir que el cultivo de maíz que tolera 24 h de inundación, el gasto a evacuar de la superficie del suelo de acuerdo con el SCS, fue mayor en $0.26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0.27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ al obtenido con el balance hídrico y el método racional y menor en $0.03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que el racional modificado ($C = 0.63$); en jitomate, cultivo que soporta 8 h encharcado, el gasto a remover, según el método de SCS, fue menor en $0.21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $0.09 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que los métodos de balance hídrico, racional y racional modificado, respectivamente; en papaya, cultivo que tolera 12 h la presencia de lámina sobre la superficie del suelo, el volumen a desalojar por el SCS fue menor en $0.11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0.12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que el obtenido con los métodos balance hídrico y racional modificado. Para cultivos que soportan 48 h empantanados, el SCS fue mayor en $0.21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0.07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, con relación al balance hídrico y racional modificado.

Considerando que el método de SCS es el más generalizado para calcular los gastos y determinar las secciones hidráulicas de los drenes colectores, se encontró que para cultivos que toleran 8 y 12 h inundados, los gastos estimados por SCS son menores, en promedio, que $0.16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0.11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, con relación a los métodos de balance hídrico y racional, respectivamente, y para cultivos que soportan inundados 24 y 48 h, los gastos calculados por SCS fueron mayores, en $0.24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, que los valores obtenidos con el balance hídrico y racional. Para estimar los gastos hidráulicos y definir las secciones hidráulicas de los drenes colectores que removerán los excesos de lluvias máximas en el área de estudio, se recomiendan los métodos de balance hídrico y racional modificado para cultivos que soportan inundados menos de 12 h; para cultivos tolerantes por más de 24 h, se recomienda el método SCS.

CONCLUSIONES

- Se encontró que para cultivos que soportan inundaciones menores de 12 h (frijol, papaya, chile, sandía y jitomate) los escurrimientos y gastos estimados por los métodos de balance hídrico y racional fueron adecuados para la zona.
- Se determinó que para cultivos que toleran excesos de agua por más de 24 h (maíz y cítricos) los gastos calculados por el Método del Soil Conservation Service son recomendables para el área de estudio.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, C. y M. R. Martínez. 1996. Relación agua suelo planta atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación. Chapingo, Estado de México.
- Aparicio, F. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. México, D. F.
- Coras M., P. M., R. Arteaga R. y M. Vázquez P. 2005. Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial local. Tabasco, México. Terra 23: 113-120.
- CP (Colegio de Postgraduados). 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. 3a ed. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Chapingo, Estado de México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Boletín de Suelos 68. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/t01485/t0848500.htm#contents> (Consulta: febrero 2, 2004).
- Fernández R., D. 1999. Diseño hidráulico de sistemas de drenaje. Vol. 2. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1998. Extractor rápido de información climatológica, Eric versión 2.0. Jiutepec, Morelos, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999. Anuario Estadístico de Tabasco. Aguascalientes, México.
- Kraijenhoff, V. I. 1978. Relaciones lluvias escorrentía y modelos para el cálculo. Principios y aplicaciones del drenaje. Vol. III. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, The Netherlands.
- López C., G. 2003. Relaciones lluvia-escurrimiento para el diseño de drenaje agrícola superficial. Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje y recuperación de tierras agrícolas. Editorial Agrícola Española. Madrid, España.
- Pizarro T., R. J. P. Flores V., C. Sangüesa P. y E. Martínez A. 2002. Las leyes de distribución de procesos hidrológicos. Módulo I. Universidad de Talca. Talca, Región del Maule, Chile.
- Rojas, R. 1976. Drenaje superficial de tierra agrícola. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela.
- Rojas, R. 2002. Diseño de drenaje superficial local. Volumen V. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Santanatoglia, O., J. M. Piscitelli, R. Casas y R. Mon. 2000. Manual de prácticas conservacionistas para la subregión semiárida pampeana. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1986. Manual de drenaje de zonas tropicales y subtropicales. Tomo I. México, D. F.
- Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger, and R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1031-1036.
- SCS (Soil Conservation Service). 1972. National engineering handbook. Hydrology. US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.