

DISEÑO DEL DRENAJE SUPERFICIAL EN UNA CUENCA AGRICOLA NO INSTRUMENTADA DE QUINTANA ROO*

Raymundo Javier NAVA PADILLA¹
Javier de Jesús CORTES BRACHO²

RESUMEN

La carencia de información hidrológica incentivó la realización de este estudio. Para ello se seleccionó una cuenca de 100 ha en el ejido Nicolás Bravo del municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, de la cual se recabaron los registros de lluvia diaria expresados en lámina, correspondientes al ciclo lluvioso de mayo a octubre por un período de 22 años (1986 a 1988). Mediante el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, se transformaron los valores de lluvia a escurrimiento. Se determinó así que en junio y julio se presenta alta probabilidad de escurrimiento, con el 62 y 59 por ciento de la precipitación; mientras que en mayo y agosto se tienen los menores porcentajes con el 32 y 25 por ciento.

La prueba de bondad de ajuste indicó que las cuatro funciones de probabilidad empleadas interpretan con buena aproximación el comportamiento del escurrimiento superficial. Para el cálculo de la sección transversal de los drenes se consideró el coeficiente de drenaje máximo de julio, que fue 14.93 lps/ha. Se presenta el diseño final del sistema de drenaje superficial para producir maíz en la cuenca estudiada. Los objetivos fueron diseñar el sistema de drenaje superficial para producir maíz en los suelos vertisoles, así como proponer el método SCS como una herramienta de trabajo para la generación de datos hidrométricos en las cuencas agrícolas de Quintana Roo.

* *Este artículo fue enviado al Comité Editorial del INIFAP. Area Agrícola el 22 de julio de 1993.*

¹ M.C. Investigador del Campo Experimental "Chetumal" INIFAP-CIR'SURESTE.

² M.C. Profesor-Investigador, Depto. Riego y Drenaje en la UAA"AN".

INTRODUCCION

El drenaje de tierras agrícolas puede definirse como el manejo del suelo y agua con la finalidad de mantener la humedad y aire del suelo dentro de un rango requerido para el desarrollo normal de las plantas. Para lograr lo anterior es fundamental el conocimiento de la interacción entre los factores de ingeniería y biológicos que intervienen en toda obra hidráulica.

Entre los suelos susceptibles de mecanizar en Quintana Roo, los vertisoles representan el 81 por ciento, con una superficie potencial de 432,600 ha. La limitante principal para su uso es el drenaje superficial e interno, por lo que se siembran con cultivos tolerantes a altos contenidos de humedad como son el arroz, caña de azúcar y algunos pastos.

La falta de información sobre las necesidades de drenaje de los diferentes cultivos dificulta el diseño de un sistema de drenaje superficial. Estas necesidades se engloban en lo que se llama coeficiente de drenaje, el cual se obtiene con la relación entre la lámina de agua escurrida y el tiempo de drenaje dependiente de cada especie. Es en este punto donde se detecta la importancia de estimar, lo más cercano posible a la realidad, la lámina de escurrimiento superficial directo.

Existen diversos métodos para estimar el escurrimiento superficial directo; sin embargo, la mayoría de ellos utilizan información de intensidad de la precipitación, la cual es difícil obtener en pequeñas y poco pobladas cuencas agrícolas.

El presente estudio tuvo como objetivos principales el proponer un procedimiento aplicable a las condiciones agroclimáticas de Quintana Roo para la generación de información hidrológica básica, así como el diseñar el sistema de drenaje superficial para producir maíz en una cuenca no instrumentada.

REVISION DE LITERATURA

Las prácticas de drenaje superficial han evolucionado y se han perfeccionado principalmente por medio de la experiencia y observación en campo, más que sobre una base de investigación controlada. Edminster (4) en 1979 mencionó que aun cuando el criterio para el diseño del drenaje superficial se ha derivado de la experiencia de campo y la observación, y por lo general será

bueno cuando se aplique en condiciones muy similares, sin embargo, no proporciona los factores cuantificables necesarios que permitan una fácil aplicación en las regiones nuevas y sin explorar. Lo que ha impedido la aplicación de los avances técnicos sobre drenaje es la falta de investigaciones sobre drenaje superficial cuidadosamente planeadas, de las cuales se puedan extraer los factores básicos que afectan el diseño y la relación de los sistemas de drenaje para aplicarlos a las nuevas condiciones de suelo y topografía.

Para la estimación de escurrimientos máximos se dispone de un gran número de métodos o procedimientos; sin embargo, ninguno se ha adoptado unánimemente, lo cual pone de manifiesto la importancia y complejidad del problema hidrológico al calcular una avenida máxima.

Los diversos métodos para estimar el escurrimiento superficial directo se pueden agrupar en orden de importancia creciente como se indican a continuación:

- 1) Empíricos
- 2) Históricos
- 3) Correlación hidrológica de cuencas
- 4) Directos o hidráulicos
- 5) Estadísticos o probabilísticos
- 6) Hidrológicos o de relación lluvia-escurrimiento

La aplicación de los métodos empíricos nunca debe evitarse, pues aunque su confiabilidad es escasa, su rapidez de aplicación permite definir el orden de magnitud de la avenida que se estima.

Campos (2) señaló en 1982 los rangos de aplicabilidad de los siguientes métodos empíricos:

- 1) Fórmulas empíricas
- 2) Método empírico del U.S. Soil Conservation Service (SCS)
- 3) Método racional
- 4) Método del índice-área

El inconveniente principal de las fórmulas empíricas es su utilización en cuencas distintas a aquéllas en las que fueron deducidas, por lo que sus coeficientes deben ser ajustados.

Algunos factores a considerar en el diseño de drenes abiertos, que fueron mencionados por Schwab *et al* (5) en 1979, son: 1) Las zanjas se deben colocar a lo largo de los linderos de propiedad, de modo conveniente para que los propietarios de terrenos tengan acceso a sus tierras y dispongan de lotes o parcelas de tamaño y forma adecuados para la eficiente operación de la maquinaria agrícola; 2) La localización de cauces naturales de desagüe y de las porciones bajas del terreno, generalmente determinará la localización de la zanja, pues tal localización puede significar menor cantidad de material excavado y menor costo. Con frecuencia es conveniente la rectificación del cauce antiguo.

Mediante el análisis estadístico de la precipitación diaria y las condiciones de cobertura-suelo del área de estudio, Botello (1) en 1985 estimó los volúmenes de escurrimiento por evento para una cuenca no instrumentada de Mapimí, Durango; además, señaló que el método del número de curva proporciona valores razonables de la variable de respuesta.

Para establecer las necesidades de drenaje superficial de los suelos de la serie limón del Plan Chontalpa en el estado de Tabasco, Conde (3) citó en 1979 que el método del número de curva refirió para arroz 13.66 lps/ha y para soya, sorgo, maíz y frijol, 15.29 lps/ha.

MATERIALES Y METODOS

La cuenca en estudio corresponde a una superficie de 100 ha, localizadas dentro del área mecanizable del ejido Nicolás Bravo municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. La precipitación total anual media fluctúa entre 800 y 1,500 mm, con un coeficiente de variación del 26 por ciento. La distribución de lluvias durante el año da origen a una estación húmeda de mayo a octubre, y otra seca de noviembre a abril con valores del 80 a 20 por ciento, respectivamente, de la cantidad de precipitación total anual. La distribución bimodal de la precipitación se caracteriza por una disminución de lluvias a mediados de la estación húmeda y crea un fenómeno frecuente llamado sequía intraestival o canícula. La temperatura media anual es de 26°C y la humedad relativa de mayo a octubre es de 83.3 por ciento, la cual en todos los meses presenta poca variación.

Los suelos se clasifican como vertisoles gléyicos con pendientes menores al 1% y están sometidos a condiciones alternas de oxidación y reducción. Debido a sus propiedades hidromórficas, tienen un horizonte gleyzado a menos

de 30 cm de profundidad, un drenaje lento, tanto superficial como interno, y una textura con más del 65% de arcilla en todo su perfil, con predominancia de la arcilla de tipo 2:1 montmorillonítica.

En la estación climatológica del ejido mencionado se recabaron los registros de precipitación diaria en lámina correspondientes al ciclo lluvioso de mayo a octubre, por un período de 22 años (1967 a 1988). A cada uno de los eventos de lluvia registrados durante los 22 años se les determinó su condición de humedad antecedente (CHA), la cual se subdividió en tres categorías de acuerdo con la cantidad de lluvia acumulada durante los cinco días previos al evento: CHA I, de 0 a 35.5 mm; CHA II, de 35.6 a 53.3 mm y CHA III, mayor de 53.3 mm.

El grupo hidrológico de suelo se determinó con ayuda de la tabla incluida en el método utilizado y se definió como grupo "D" por presentar alto potencial de escurrimiento, suelo pesado con alto contenido de arcillas expandibles y suelo somero con materiales fuertemente cementados.

La condición hidrológica de la cuenca para varios usos del suelo también se obtuvo de la tabla, y se caracterizó como mala, ya que se refiere al maíz manejado en monocultivo.

En función de las características del complejo suelo-cobertura y manejo de la cuenca, mediante la tabla se obtuvo el valor de la curva numérica (CN) para la CHA II y posteriormente se realizaron los ajustes para las CHA I y III.

Con manejo de la cuenca en surcos rectos y cultivo en escarda, se determinó un valor del número de curva de 91 para la CHA II, y un 20 por ciento de la retención máxima potencial de la cuenca como abstracciones iniciales. Se modificó el valor de la curva numérica de la CHA II, de acuerdo con las condiciones de humedad antecedente I y III, resultando valores de 80 y 97, respectivamente.

Una vez evaluados y cuantificados todos los parámetros necesarios, se aplicaron las siguientes ecuaciones para transformar las láminas de lluvia diaria en lámina de escurrimiento superficial directo:

La retención máxima potencial (S) en milímetros, se obtuvo con la relación empírica expresada por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde: CN es el valor de la curva numérica

Los valores del escurrimiento superficial directo se estimaron con:

$$G = \frac{(P - 0.2*S)^2}{P + 0.8*S}$$

Donde: P = Precipitación diaria en mm
Q = Escurrimiento superficial directo en mm
S = Retención máxima potencial del suelo en mm

El procesamiento de los registros disponibles de escurrimiento superficial directo máximo mensual en 24 horas, tuvo como objetivo principal el obtener el escurrimiento máximo probable en 24 horas para un período de retorno de 10 años. El análisis de la información no involucró el uso de todos los datos, sino sólo los valores más grandes, los cuales formaron una serie de estadística anual para cada uno de los meses del ciclo lluvioso.

En el presente trabajo, para cada uno de los meses de mayo a octubre se formó una serie anual de 22 eventos máximos, integrada por los valores más grandes de escurrimiento observados en cada mes y año del período en estudio.

Para cada uno de los meses del registro, el valor probable de escurrimiento superficial directo se obtuvo mediante el ajuste de cuatro funciones de distribución probabilística acumuladas: Lognormal, LogPearson tipo III, Gumbel y Gamma incompleta.

Con la distribución teórica de máximo ajuste seleccionada para cada uno de los meses, se estimó el valor probable del escurrimiento superficial directo de diseño (E) para un período de retorno de 10 años. Una vez obtenidos los valores

del escurrimiento superficial directo mensual en 24 horas, se seleccionó el de mayor valor para fines de diseño. Para la obtención del coeficiente de drenaje, el escurrimiento superficial directo se multiplicó por 24 horas y se dividió entre el tiempo de drenaje recomendable para el cultivo de maíz, el cual es de 24 horas. De esta manera se obtuvo el coeficiente de drenaje en mm/día. Al multiplicar por una superficie de una hectárea, el coeficiente de drenaje se obtuvo en $m^3/día$. Se realizaron las transformaciones correspondientes para expresar el coeficiente de drenaje en Ips/ha. El gasto de diseño (Q) para cada uno de los drenes se determinó al multiplicar el coeficiente de drenaje por la superficie de influencia de cada dren.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al manejar series estadísticas basadas en escurrimientos superficiales máximos, se tiene la ventaja de obtener en forma directa el valor del E de diseño, ya que si se utilizan series de lluvias máximas, se tendrá el inconveniente de cómo determinar la CHA correspondiente a la precipitación máxima probable de diseño obtenida.

Las cantidades obtenidas de E confirman lo indicado por el método de SCS, registrándose los máximos valores de E para la CHA III, y los mínimos para la CHA I. El máximo valor se presentó el día 25 de junio de 1976 con 172.9 mm para una lluvia de 182.0 mm. Escurrimientos menores de 10.0 mm se presentaron con mayor frecuencia en los meses de mayo y agosto, los cuales reflejan en cierta forma las características de distribución de la precipitación, la cual se presenta con incertidumbre y errática al inicio del temporal, y el fenómeno de la canícula que sucede por lo regular durante la tercera semana de julio y primera de agosto.

Para obtener una primera aproximación del valor porcentual de escurrimiento mensual, se determinó un factor que en el presente estudio se denominó (ae). Dicho factor se obtuvo del cociente entre la cantidad de escurrimiento superficial directo y la precipitación.

Se puede comentar que durante junio y julio se presentan condiciones con alta potencialidad de escurrimiento, que equivalen al 62 y 59 por ciento de la precipitación, respectivamente. Los meses de mayo y agosto registran los menores porcentajes de escurrimiento con 32 y 25 por ciento.

Los resultados obtenidos con las funciones de distribución se apegan a lo mencionado en la literatura, ya que ninguna de ellas fue rechazada, y se emplean para estudios de eventos máximos como es el caso del presente estudio.

Los escurrimientos máximos probables (E) para cada mes, con una probabilidad de excedencia del 0.1, que corresponde a un período de retorno de 10 años, son los siguientes:

Mes	E (mm)
Mayo	29.63
Junio	102.21
Julio	129.00
Agosto	18.30
Septiembre	73.65
Octubre	60.66

Con el valor de E y un tiempo de drenaje (td) para el cultivo de maíz de 24 horas (Tomado de Conde, 1979), se tienen los siguientes coeficientes de drenaje (Cd), los cuales son el resultado del cociente entre E y td:

Mes	Cd (lps/ha)
Mayo	3.43
Junio	11.83
Julio	14.93
Agosto	2.12
Septiembre	8.52
Octubre	7.02

El gasto de diseño (Q) de cada uno de los drenes se cuantificó al multiplicar el coeficiente de drenaje por el área de influencia de cada dren. Para el cálculo de la sección transversal de los drenes se consideró el coeficiente de drenaje máximo, que en este trabajo correspondió al mes de julio con 14.93 lps/ha.

Al dren 1 le corresponde una superficie de 10 ha; los drenes 2, 3 y 4 dominan una área de 30 ha cada uno y el dren 5, la totalidad de la superficie de 100 ha. Los gastos de diseño calculados son:

<i>Dren</i>	<i>Q (m²/ha)</i>
1	0.1493
2	0.4479
3	0.4479
4	0.4479
5	1.493

La localización de las zanjas abiertas requiere experiencia y buen criterio, combinados con el estudio cuidadoso de las condiciones locales. Dondequiera que sea posible, las zanjas se deben hacer rectas.

En la Figura 1 se muestra el diseño final del sistema de drenaje superficial recomendado. Debido a que la topografía del área presenta una pendiente hacia una sola dirección, se facilitó la ubicación y dirección de los surcos de siembra y drenes. La dirección que debe seguir el emparejamiento es de noroeste a sureste.

Las flechas marcadas en la Figura 1 indican la dirección de los bordos de siembra de 4 m de ancho entre canal y canal. Dicha dirección es en sentido perpendicular a las curvas de nivel y con una pendiente de 0.6 por ciento respecto a los drenes.

Los drenes rectos y paralelos se localizan a un espaciamiento de 200 m, esto con la finalidad de facilitar las labores agrícolas con maquinaria.

Para lograr buenos resultados en la evacuación del agua excedente, el dren número 5 debe prolongarse y conectarse a la red de drenaje perimetral que se extiende por toda la zona mecanizable del ejido en estudio.

DRENES

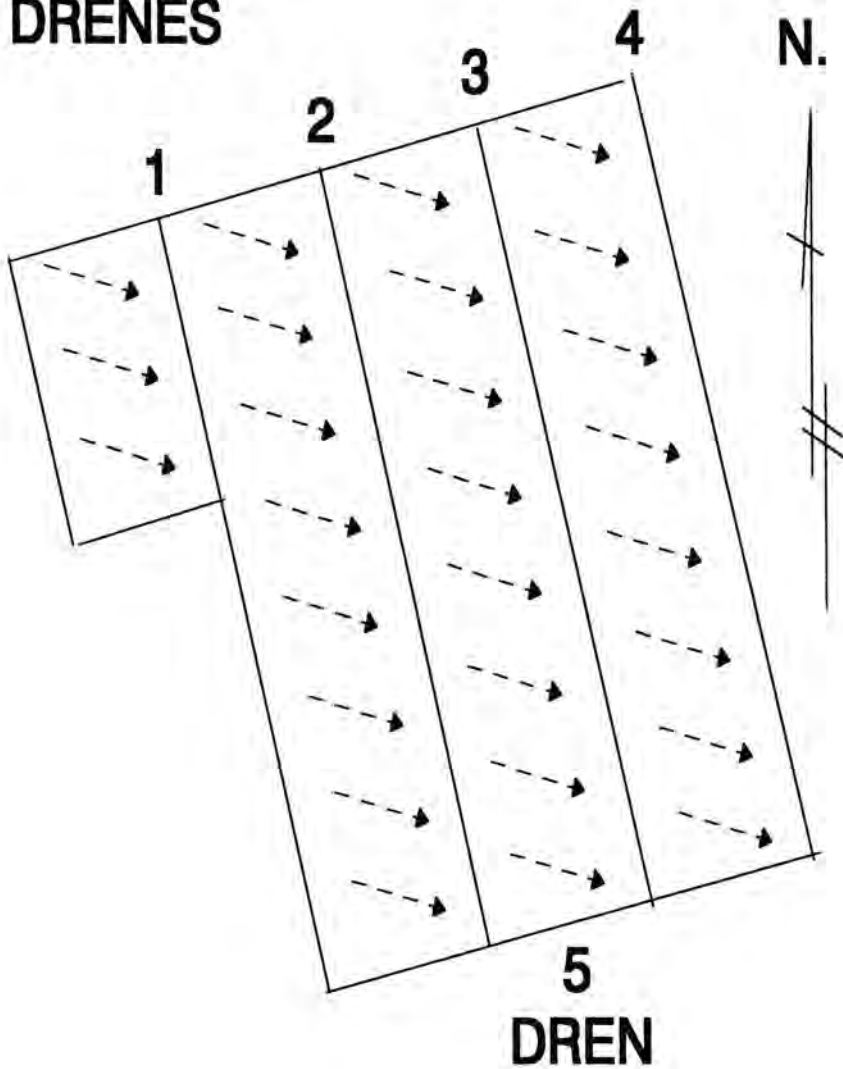


Figura 1. Diseño final del sistema de drenaje superficial de una cuenca agrícola no instrumentada de Quintana, Roo.

CONCLUSIONES

1. Al manejar series estadísticas basadas en escurrimientos máximos se obtiene en forma directa el escurrimiento máximo probable.
2. Las distribuciones de probabilidad Lognormal, Gumbel, LogPearson tipo III y Gama incompleta, pueden utilizarse para interpretar el comportamiento de los escurrimientos máximos superficiales.
3. Al aplicar cualesquiera de las cuatro distribuciones antes mencionadas, se obtienen aproximaciones aceptables del escurrimiento máximo probable, coeficiente de drenaje y gasto de diseño.
4. El método del número de curva, propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, funciona bien para las condiciones del estado de Quintana Roo.
5. El comportamiento de los escurrimientos superficiales se relaciona en forma directa con la distribución de lluvias durante el período lluvioso.
6. En los meses de junio y julio se presentan las condiciones de alta potencia de escurrimiento superficial.
7. El máximo valor del coeficiente de drenaje, con base en el cual se propone el diseño del sistema de drenaje superficial para la siembra del maíz en el ejido Nicolás Bravo, se obtuvo en el mes de julio, con 14.93 lps/ha.

LITERATURA CITADA

1. Botello P, J.J. 1985. *Simulación de volúmenes de escurrimiento en cuencas no instrumentadas*. Tesis de Licenciatura UAA"AN". Buenavista, Saltillo, Coah. México. 170 p.
2. Campos A., D.F. 1982. *Manual para la estimación de avenidas máximas en cuencas y presas pequeñas*. México SARH. Dirección General de Obras Hidráulicas y de Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural. 210 p.
3. Conde, R.L.I. 1979. *Proyecto de drenaje superficial*. En: Proyecto de drenaje superficial en suelos de la serie limón. Plan Chontalpa, Tabasco. SARH. 158. p.

4. Edminster, T.W. 1979. *Drenaje en las zonas húmedas*. En: "Drenaje de tierras agrícolas. Teoría y aplicaciones", México. Limusa, p. 410-438.
5. Schwab, G.O., P.W. Manson., J.N. Luthin., R.C. Reeve y T.W. Edminster. 1979. *Aspectos de ingeniería del drenaje de tierras*. En: "Drenaje de tierras agrícolas. Teoría y aplicaciones". México. Limusa, p. 317-410.