

## DESCARGA DE LAS ESCORRENTÍAS SUPERFICIALES Y SECCIONES HIDRÁULICAS DE DRENES COLECTORES

**Pablo Miguel Coras Merino<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera  
México-Texcoco, c.p. 56230 Chapingo, Edo. de México, tel. 5959521651 Correo e.:**

**[mpcoras@gmail.com](mailto:mpcoras@gmail.com)**

### **Resumen**

En el municipio de Jonuta-Tabasco se presentan excesos de aguas superficiales y en los subsuelos, para remover dichos excesos, se planteó diseñar sistemas de drenaje artificial para viabilizar la explotación agrícola conservando las características y propiedades físicas-químicas y biológicas del suelo. Como solución se agrupó y analizó las lluvias máximas diarias con funciones de distribuciones de valores extremos para determinar las escorrentías, cinco métodos fueron aplicados. El método de Número de Curva fue seleccionado por estimar gastos mayores y considerar variables hidrológicas, edáficas y agronómicas. Las secciones hidráulicas de los drenes colectores trapezoidal fueron seleccionadas por las características hidráulicamente eficiente y baja infiltración y los gastos de recarga por hectárea a remover aplicando la regla 20-40 fueron: 0.97 m<sup>3</sup>/s en 24 horas cultivo maíz (65 ha); 1.10 m<sup>3</sup>/s en 24 horas en el sembradío de sorgo (78 ha); 1.28 y 1.61 m<sup>3</sup>/s en 8 horas en chile para 52 y 71 ha. respectivamente.

**Palabras Clave.** Escorrentía; drenaje agrícola.

## Introducción

La ubicación geográfica de México lo convierte en país vulnerable a los fenómenos hidrométricos, en los últimos 20 años los desastres han tenido costos mayores a los \$2,000 millones de dólares en promedio anual. En el Estado de Tabasco aproximadamente más de 174,000 familias de productores dependen de las actividades agrícolas, la tormenta Tropical Noé y el frente frío cuatro, ocasionaron pérdidas por 3,100 millones de dólares al sector agropecuario, siendo de los 17 municipios los más afectados por inundaciones, Centro, Macuspana, Cárdenas, Centla, Huimanguillo, Jonuta (CENAPRED, 2013).

Desde 1999 resultado de sucesivas ondas tropicales y aire húmedo provenientes del Golfo de México y el Pacífico, se tradujo en lluvias que empezaron a elevar los niveles de varios ríos, entre ellos, el Carrizal y Samaria, a principios del mes de octubre, la presa Peñitas sobrepasó el Nivel de Aguas Máximas Ordinario (NAMO) desalojando un gasto de hasta  $2,323 \text{ m}^3/\text{s}$ , todo esto en conjunto generó inundaciones en las áreas urbanas, suburbanas y de uso agropecuario (UNAM, 2010). En los últimos años se registraron lluvias atípicas en la cuenca Grijalva-Usumacinta, lo que causó graves pérdidas socioeconómicas y fue solicitada una nueva misión de evaluación y seguimiento a las realizadas en años pasados y en el contexto histórico, evidencia que Tabasco es una planicie de inundación, estos tipos de eventos ocurren de manera natural, ya sea con menor o mayor intensidad.

El presente trabajo de investigación se realizó en los terrenos agrícolas sembradas 78 ha. (sorgo), 65 ha. (maíz) y 123 ha. de chile verde próximo a la estación meteorológica 27028, del municipio de Jonuta, Estado de Tabasco para el mejor desarrollo agrícola se prestó especial atención al cambio en los últimos años de la intensidad y duración de las lluvias diarias.

En el área de estudio se propusieron sistemas de drenaje para evacuar los excesos de agua superficiales y sales del suelo con la finalidad de crear condiciones de intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera favoreciendo el crecimiento y desarrollo del cultivo y permitiendo conservar las características y propiedades físicas-químicas y biológicas del suelo (Villon, 2007; Martínez, 1986; Pizarro, 2002 y Bernardo et al 2011).

## Objetivos

Agrupar y analizar las lluvias máximas diarias con funciones de distribuciones de valores extremos para elaborar las curvas de profundidad-duración-frecuencia y determinar las lluvias críticas.

Estimar las escorrentías superficiales de lluvias críticas consecutivas para estimar los gastos de recarga por hectárea a remover con drenes colectores aplicando la regla 20-40.

## Materiales y Métodos

El municipio de Jonuta se localiza al sur del Estado de Tabasco, México, entre las coordenadas norte  $18^{\circ}26'$ ; sur  $17^{\circ}47'$  de latitud norte; al este  $41^{\circ}26'$  y al oeste  $92^{\circ}21'$  de longitud. La extensión territorial del municipio es de  $1,644.75 \text{ km}^2$ , los cuales corresponden al 6.43% respecto del total del estado, ocupando el 8° lugar en la escala de extensión municipal.

Jonuta se localiza en el margen derecho del río Usumacinta y es cabecera del municipio homónimo Jonuta, gran parte del territorio está cubierta por pantanos pertenecientes a la reserva de la biosfera “Pantanos de Centla”.



**Figura 1.** Estado de Tabasco, México.

Información pluviométrica: Los datos proporcionados de precipitación diaria de 30 años (1988-2018) se obtuvieron del portal digital del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el software Eric II para la estación de Jonuta 27028.

Los estudios agroclimáticos requieren la utilización de series cronológicas de las variables meteorológicas, que generalmente presentan datos faltantes limitando su uso, por lo que en la estación anterior se generaron los datos faltantes mediante el Método del U. S. National Weather Service (WS) (ASCE), 1996.

Agrupaciones de lluvias: Al estar compuestas de dos o más intervalos de medida, se aplicó técnicas de composición para poder agrupar lluvias máximas consecutivas. (Donezar et al, 1978)

Se obtuvieron las lluvias máximas y se utilizaron los siguientes métodos: Soil Conservation Service (SCS) el cual aplica los totales móviles a distintas agrupaciones por cada año considerando todos los meses; el método mexicano,

toma en cuenta el ciclo vegetativo del cultivo, considerando los totales móviles en tal periodo; el método del International Institute for Land Reclamation and Improvement Tipo I (ILRI 1) determina el mes con mayor precipitación en cada año, eligiendo aquel con la mayor repetición para la aplicación de los totales móviles; ILRI 2, al igual que el anterior, se determina el mes más lluvioso en cada año y se aplicó los totales móviles.

Se aplicó la Distribución Gumbel Doble porque en zonas costeras, los datos hidrológicos resultan tener dos tipos de población con características distintas, lo que suele hacer que el ajuste a distribución probabilística no sea tan representativo de toda la muestra, por lo cual se hace una modificación para llegar al resultado, tomando en cuenta dos tipos de fenómenos, antes de proceder a ajustar una cierta distribución de frecuencias, se graficó los datos con respecto a su periodo de retorno y de esta manera se apreció la presencia de una sola población o dos poblaciones. (Gómez, et al 2010)

En caso de tener dos poblaciones, Pérez, et. al. (2009) proponen en el escrito la aplicación por separado de la distribución de valores extremos, tipo I o distribución Gumbel a cada una de las poblaciones denominada doble Gumbel.

La función de densidad de probabilidad está dada por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \frac{P}{\alpha_1} e^{-\frac{(x-\beta_1)}{\alpha_1}} e^{-\frac{(x-\beta_1)}{\alpha_1}} + \frac{1-P}{\alpha_2} e^{-\frac{(x-\beta_2)}{\alpha_2}} e^{-\frac{(x-\beta_2)}{\alpha_2}} \quad (1)$$

Y la función de distribución de probabilidad acumulada  $F(x)$  es:

$$F(x) = P e^{-e^{-\frac{(x-\beta_1)}{\alpha_1}}} + (1-P) e^{-e^{-\frac{(x-\beta_2)}{\alpha_2}}} \quad (2)$$

Donde:

$P$  = Probabilidad de tener eventos no ciclónicos, adimensional.

$x$  = Variable aleatoria para la cual se estima la probabilidad de no excedencia.

$\alpha_1$  = Parámetro de escala de la población no ciclónica.

$\beta_1$  = Parámetro de ubicación de la población no ciclónica.

$\alpha_2$  = Parámetro de escala de la población ciclónica.

$\beta_2$  = Parámetro de ubicación de la población ciclónica.

**Período de retorno:** Una probabilidad de excedencia  $(1-F(x))$  o un periodo de retorno  $Tr$  se realiza por iteraciones y el método numérico Newton- Raphson, debido a que la variable  $x$  no se pudo despejar de la  $F(x)$ .

El método utilizado para calcular los parámetros es conocido como "Error cuadrático mínimo" para encontrar los valores de  $P$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$  tales que minimicen la suma de los errores cuadráticos pesados  $\epsilon$ , entre los valores empíricos de la función de distribución de probabilidad acumulada  $F(x)$  y los valores estimados  $F(x_i)$ .

Se comprobó su ajuste de la función de Distribución Gumbel Doble con las pruebas de Kolmogorov Smirnov y Error Estándar (Chow, 1994). Una vez aprobadas las pruebas de ajuste se elaboraron las curvas precipitación-duración-frecuencia (PDF).

Escurrimiento Superficial: Los modelos empíricos de relación lluvia – escurrimiento que fueron aplicados, son:

Método racional (Castro, 2009), Método del Balance Hídrico (Rojas, 2002), Fórmula de Mc Math, (Batista, 1983) y Método del Número de curva (NC) (Soil Conservation Service de U.S.A. (1972).

## Resultados y Discusión

### Pruebas de homogeneidad

Las pruebas se realizaron a todas las agrupaciones, eligiendo el método con mayor grado de homogeneidad.

El cuadro 1 muestra los tres métodos de homogeneidad aplicados a cada uno de los métodos de agrupación por cada día realizados para la estación 27028 Jonuta con el fin de poder ser comparados entre sí.

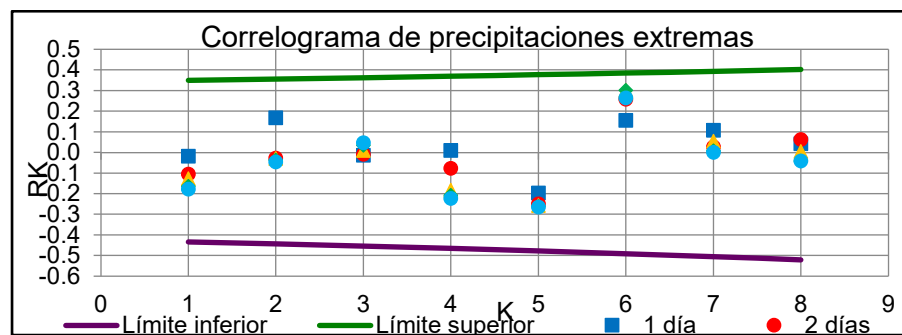
**Cuadro 1.** Resultado de la prueba de homogeneidad estación 27028 Jonuta.

		Helmert		T de Student		Cramer		
Método	Día	$\sqrt{n_j - 1} = 4.89$		$T_{23,0.05} = 2.069$		$T_{23,0.05} = 2.069$		
		S-C	Conclusión	$t_d$	Conclusión	$t_{30}$	$t_{60}$	Conclusión
ILR1	1	4	Homogénea	-2.330	No homogénea	0.861	2.454	No homogénea
	2	4	Homogénea	-1.634	Homogénea	0.321	1.554	Homogénea
	3	0	Homogénea	-1.475	Homogénea	0.007	1.212	Homogénea
	4	4	Homogénea	-1.218	Homogénea	0.213	0.923	Homogénea
	5	4	Homogénea	-1.140	Homogénea	0.188	0.805	Homogénea
ILR2	1	4	Homogénea	-2.641	No homogénea	1.881	2.469	No homogénea
	2	4	Homogénea	-2.366	No homogénea	0.926	2.246	No homogénea
	3	4	Homogénea	-2.069	Homogénea	0.754	1.967	Homogénea
	4	8	No homogénea	-1.933	Homogénea	0.644	1.725	Homogénea
	5	4	Homogénea	-1.652	Homogénea	0.636	1.339	Homogénea
MEX	1	4	Homogénea	-3.070	No homogénea	1.664	2.862	No homogénea
	2	4	Homogénea	-2.457	No homogénea	0.552	2.746	No homogénea
	3	4	Homogénea	-2.134	No homogénea	0.391	2.433	No homogénea
	4	4	Homogénea	-2.069	No homogénea	0.296	2.143	No homogénea
	5	4	Homogénea	-1.783	Homogénea	0.303	1.687	Homogénea
SCS	1	4	Homogénea	-3.026	No homogénea	1.455	3.047	No homogénea
	2	8	No homogénea	-2.348	No homogénea	0.144	3.244	No homogénea
	3	4	Homogénea	-1.891	Homogénea	0.094	2.775	No homogénea
	4	4	Homogénea	-1.832	Homogénea	0.079	2.367	No homogénea
	5	4	Homogénea	-1.554	Homogénea	0.081	1.815	Homogénea

En la elección del método se dio prioridad a T de Student y Cramer, considerando, Helmert como un auxiliar en caso de que fuera necesario por inconsistencias en los primeros métodos, así como empates entre las agrupaciones. Se encontró que ILRI1 tuvo un resultado de no homogeneidad en un día en la prueba de Cramer se rechaza en el 60 por ciento de los valores, ocurriendo lo mismo en T de Student donse el valor absoluto de  $t_a$  fue mayor al límite de 2.069.

### Pruebas de Independencia

Con objeto de demostrar que la muestra está compuesta por variables aleatorias y llevar a cabo un análisis de frecuencias fue necesario aplicar la prueba de independencia a cada agrupación seleccionada por homogeneidad.



**Gráfica 1.** Correlograma de precipitaciones extremas estación 27028 Jonuta.

La tendencia de los valores de un día fue hacia el límite superior y la serie de cinco días hacia el límite inferior. Todos los coeficientes permanecieron dentro de los límites de confianza elaborados al 95 por ciento considerando independiente las series, lo que resultó ser adecuada para el análisis de frecuencias.

### Selección de la función de distribución de probabilidad

Para la selección de la función de distribución de probabilidad acumulada fue necesario estimar el Error Estándar de Ajuste (EEA), proporcionado por AFA v.1.1 y calcular la mayor diferencia absoluta entre la distribución empírica y la distribución teórica para aplicar la prueba de Kolmogorov - Smirnov comparando que estos valores no excedan el límite de 0.26404. Para realizar la prueba se determinaron las probabilidades teóricas usando los parámetros de las funciones de distribuciones.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de la prueba de bondad de ajuste a la funciones de probabilidad de la estación 27028 Jonuta.

**Cuadro 2.** Resultados de las pruebas de bondad de ajuste a las funciones de probabilidad de la estación 27028 Jonuta

Función de Distribución	Parámetros	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días
<b>Normal</b>	<b>EEA</b>	21.058	35.702	34.287	40.747	41.579
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.254	0.238	0.193	0.183	0.188
<b>Log Normal 2</b>	<b>EEA</b>	15.579	28.790	26.927	32.240	32.048
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.139	0.191	0.343	0.407	0.486
<b>Log Normal 3 M</b>	<b>EEA</b>	14.592	22.299	21.000	25.587	25.145
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.168	0.115	0.087	0.083	0.086
<b>Log Normal 3 MV</b>	<b>EEA</b>	12.970	20.751	16.070	23.074	18.932
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.105	0.070	0.070	0.047	0.063
<b>Exponencial 1</b>	<b>EEA</b>	18.572	24.216	30.381	33.990	35.540
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.259	0.282	0.304	0.282	0.297
<b>Exponencial 2 M</b>	<b>EEA</b>	12.655	19.997	18.105	22.686	21.221
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.120	0.110	0.090	0.089	0.094
<b>Exponencial 2 MV</b>	<b>EEA</b>	10.856	21.634	18.699	22.497	21.683
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.117	0.107	0.084	0.094	0.089
<b>Gamma 2 M</b>	<b>EEA</b>	13.925	23.817	22.752	27.471	26.801
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.402	0.482	0.459	0.465	0.450
<b>Gamma 2 MV</b>	<b>EEA</b>	16.741	29.671	28.221	33.820	33.796
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.117	0.107	0.084	0.094	0.089
<b>Gamma 3 M</b>	<b>EEA</b>	13.668	19.985	18.758	23.290	22.274
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.449	0.571	0.576	0.576	0.576
<b>Gamma 3 MV</b>	<b>EEA</b>	20.938	35.430	34.063	40.511	41.305
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.502	0.505	0.497	0.489	0.483
<b>Log Pearson 3 M</b>	<b>EEA</b>	13.083	18.993	17.436	21.752	20.533
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.649	0.419	0.497	0.507	0.517
<b>Log Pearson 3 MV</b>	<b>EEA</b>	15.875	29.451	27.519	32.924	32.745
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.920	0.928	0.929	0.927	0.928
<b>DGVE</b>	<b>EEA</b>	15.824	23.563	22.226	26.923	26.703
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.554	0.559	0.564	0.567	0.569
<b>Gumbel M</b>	<b>EEA</b>	15.066	26.098	24.122	29.264	28.759
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.184	0.167	0.123	0.121	0.120
<b>Gumbel MV</b>	<b>EEA</b>	19.731	34.093	32.258	38.380	39.029
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.162	0.136	0.142	0.130	0.113
<b>Gumbel doble</b>	<b>EEA</b>	6.365	16.871	18.177	16.919	23.069
	$ F_o(X_m)-F(X_m) $	0.099	0.060	0.079	0.082	0.073

Contando con esta información, se adoptó aquella función que tuviera el menor Error y que a la vez fuera aceptada por la prueba Kolmogorov - Smirnov. Las funciones escogidas para cada uno de los días en las estaciones se resumen en el cuadro 3 después de haber realizado las consideraciones descritas.

Para la estación en estudio se rechazaron las funciones Gamma 2 M, Gamma 3 M, Gamma 3 MV, Log Pearson 3 M, Log Pearson 3 MV y la Distribución General de Valores Extremos para todos los días, la Exponencial 1 para las duraciones dos hasta cinco y la Log Normal 2 para los días tres, cuatro y cinco.

La función Gumbel Doble quedo seleccionada en las agrupaciones para uno, dos y cuatro días por tener menor EEA. Para los días tres y cinco, se escogió la distribución log Normal 3 MV teniendo en cuenta el mismo criterio.

### Curvas Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF)

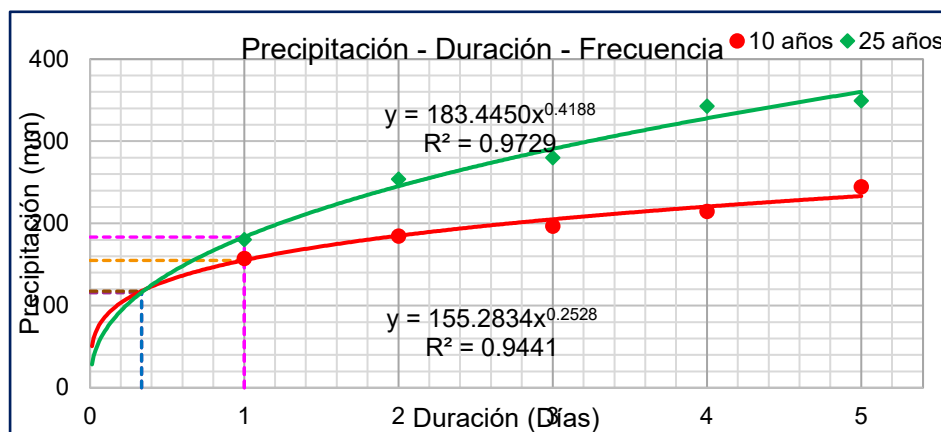
Elaboradas las curvas de PDF fueron determinadas las precipitaciones críticas para los tiempo de retorno de 5, 10, 20 y 25 años utilizando las funciones elegidas en cada secuencia de días consecutivos.

**Cuadro 3.** Precipitaciones para diferentes periodos de retorno estación 27028 Jonuta

Duración	Periodo de retorno			
	5 años	10 años	20 años	25 años
<b>1 día</b>	124.22	157.81	175.57	<b>180.71</b>
<b>2 días</b>	124.35	185.10	238.27	<b>254.22</b>
<b>3 días</b>	145.25	196.83	258.13	<b>280.16</b>
<b>4 días</b>	153.51	214.96	327.42	<b>342.81</b>
<b>5 días</b>	180.22	245.05	322.05	<b>349.71</b>

### Estimación de llluvias de diseño

Las llluvias con las que se calcularon los gastos para el diseño de drenes colectores, se obtuvieron a partir de las curvas de Precipitación - Duración - Frecuencia para periodos de retorno de 25 años. Las láminas para remover fueron estimadas con los tiempos de drenaje del Maíz y Sorgo 24 horas y del Chile 8 horas



**Gráfica 2.** Lluvias de diseño para 8 y 24 horas estación 27028 Jonuta



En las curvas con periodos de retorno de 10, 20 y 25, los coeficientes fueron mayores a 0.95, consideradas por tanto representativas en el comportamiento de las precipitaciones calculadas con las distribuciones.

En la estación 27028 Jonuta, se obtuvo para 24 horas de tiempo de drenaje precipitaciones de 183.45 mm para un periodo de retorno de 25 años. Usando un tiempo de drenaje de 8 horas, se obtuvieron láminas de 115.79 mm.

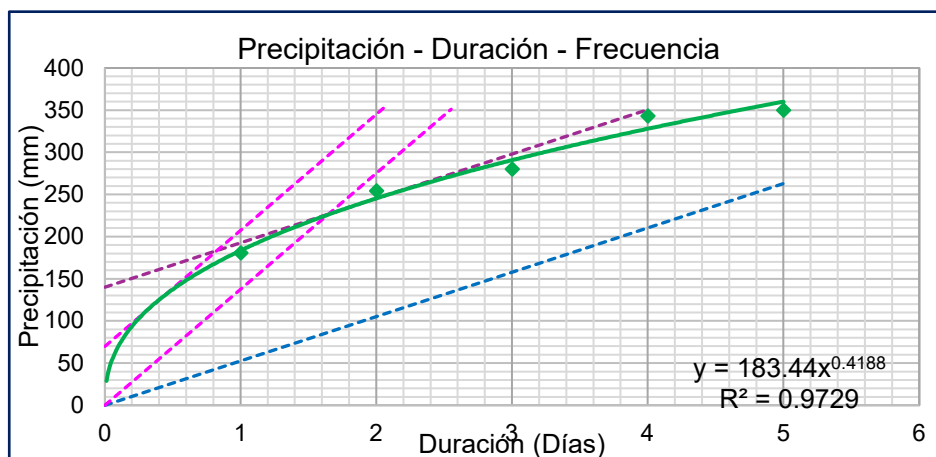
### Cálculo de los gastos de descarga

Las estimaciones de los gastos escurridos se llevaron a cabo mediante diversos métodos para maíz (65 ha.), chile verde (123 ha.) y sorgo (78 ha.), período de retorno de 25 años.

### Método de Kessler y Raad

Se tomó una lámina de 140 mm para los cultivos de Maíz y Sorgo, y de 70 mm para el Chile verde, a partir de las cuales se trazaron las rectas tangentes sobre las curvas.

Como se observa en la Gráfica 3, la recta tangente azul parte de la lámina de riego resultante de los cultivos de Sorgo y Maíz y se obtuvo el hidromódulo de 52.64 mm/día y que equivale a una descarga de  $0.0061 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ . En cuanto a la recta tangente, se obtuvo con la información de la función con periodo de retorno de 25 años y la lámina de riego del cultivo de Chile verde obteniéndose un valor de  $137.75 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ , es decir un gasto unitario de  $1.594 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} / \text{ha}$ .



Gráfica 3. Tangentes sobre la curva con Tr de 25 estación 27028 Jonuta

### Método del Balance Hídrico

Se consideraron como entradas a las precipitaciones obtenidas al calcular las lluvias de diseño, y como salidas la infiltración y la evapotranspiración estimadas bajo las mismas condiciones, usando los tiempos de drenaje dependiendo del cultivo, para poder realizar la suma algebraica de las láminas. La diferencia de la lluvia de diseño con la infiltración y evapotranspiración resultó en una lámina escurrida en el mismo período de tiempo.

En el cuadro 5 se presentan los valores para el gasto obtenidos mediante el método del Balance Hídrico para los cultivos de Maíz, Sorgo y Chile Verde.

**Cuadro 4.** Gastos calculados por el método del Balance Hídrico para Maíz, Sorgo y Chile verde

Estación	Cultivo	Tiempo de drenaje (h)	Lluvia de diseño (mm/td)	Infiltración (mm/td)	Etp (mm/td)	Escurrimiento (mm)	C de Esc (Lps/ha)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
27028 Jonuta	Maíz	24.0	183.45	120.00	1.01	62.44	14.69	<b>0.682</b>
	Sorgo	24.0	183.45	120.00	0.45	62.99	14.78	<b>0.686</b>
	Chile	8.0	117.73	40.00	0.46	75.34	41.19	<b>1.912</b>

Al observar los gastos de los cultivos de la estación 27028, se puede confirmar que los valores para el maíz son menores al sorgo solo por decimales pese a tener las mismas precipitaciones, esto debido a su evapotranspiración considerado con diferente coeficiente de cultivo (Kc), mientras que para el chile los gastos fueron aún mayores esto porque su Kc es menor.

### Método del número de curva

**Cuadro 5.** Gastos calculados por el método del Número de Curva para Maíz, Sorgo y Chile verde

Estación	Cultivo	NC	Prec (mm)	Esc (mm)	Td (h)	C (Lps/h)	Q (lps)	Q (m <sup>3</sup> /s)
27028 Jonuta	Maíz	89	183.45	150.50	24	28.95	1343.91	<b>1.344</b>
	Sorgo	87	183.45	144.64	24	28.00	1299.84	<b>1.300</b>
	Chile	89	117.63	86.86	8	46.79	2171.66	<b>2.172</b>

Los gastos escurridos siguieron la misma tendencia a los anteriores métodos, encontrándose los valores mayores en chile verde (1.344 m<sup>3</sup>/s). y menor en maíz y sorgo (1.344 m<sup>3</sup>/s).

## Método Racional

Para este método se tomaron las características del terreno cultivado con pendiente del 0 - 5% y textura franco-arcillosa.

**Cuadro 6.** Gastos calculados por el método racional para Maíz, Sorgo y Chile verde

Estación	Cultivo	Td (h)	Prec (mm/td)	I (mm/h)	C	Gasto (m3/s)
27028 Jonuta	Maíz	24	183.45	7.64	0.6	<b>1.062</b>
	Sorgo	24	183.45	7.64	0.6	<b>1.062</b>
	Chile	8	117.63	14.40	0.6	<b>2.010</b>

Este método fue semejante al número de curva siendo la principal diferencia el método racional se muestran caudales similares en maíz y sorgo, el único parámetro usado es C con valor de 0.5 en todos los casos, contrario al número de curvas donde se consideran valores de NC distintos.

En el Cuadro 7, se presentan los resultados de los escurrimientos estimados por los diferentes métodos para los cultivos de maíz, sorgo y chile.

**Cuadro 7.** Gastos de escurrimiento.

Estación	Cultivo	Método (Gasto m <sup>3</sup> /s)				
		Kessler y Raad	Balance hídrico	NC	McMath	Racional
27028 Jonuta	Maíz	0.609	0.682	1.344	0.149	<b>1.062</b>
	Sorgo	0.609	0.682	1.300	0.149	<b>1.062</b>
	Chile Verde	1.594	1.912	2.172	0.355	<b>2.010</b>

## Selección del Método de Cálculo del Gasto

Se construyeron las gráficas que representan los gastos calculados en cada uno de los cultivos con los distintos métodos para poderlos comparar entre ellos.

En el Cuadro 7, se presentan los resultados de los escurrimientos estimados por los diferentes métodos para los cultivos de maíz, sorgo y chile. La fórmula de McMath se descartó por presentar valores muy bajos, Kessler y Raad, presenta un gran rango de variación, en el caso del Chile verde. El método racional, número de curva y balance hídrico muestran semejanzas en gastos a remover en los cultivos. Se consideró como mejor opción el número de curva por considerar variables agronómicas y gasto mayores a los demás métodos, asegurando de esta manera secciones hidráulicas eficientes para evacuar lluvias extremas para periodos de retorno de 25 años.

## Diseño Hidráulico de Drenes Colectores

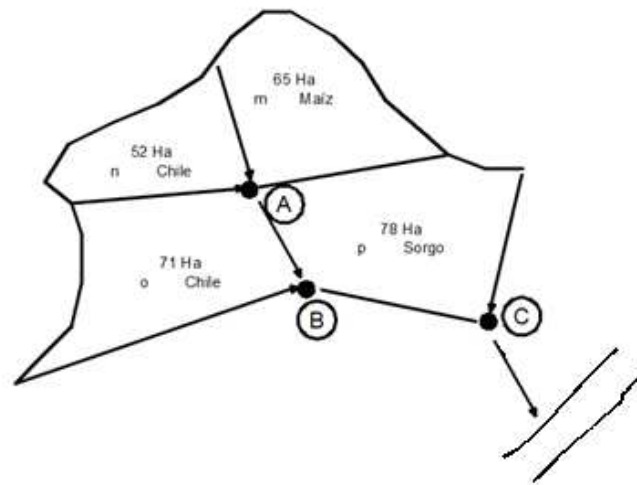
En el Cuadro 8, se presenta el gasto de diseño para los drenes colectores, obtenidos a partir el método de NC, además de incluir los escurrimientos superficiales.

**Cuadro 8.** Escurrimientos superficiales y descargas de diseño (Q) por el método del NC.

Cultivos	NC	Td (h)	LLd (mm)	E (mm)	Cd	Área (Ha)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Maíz	89	24	183.44	150.49	30.01	65	<b>0.9727</b>
Sorgo	89	24	183.44	144.63	29.02	78	<b>1.095</b>
Chile	89	8	115.74	85.07	47.70	52	<b>1.28</b>
Chile	89	8	115.74	85.07	47.70	68	<b>1.66</b>

NC= Numero de curvas; Td= Tiempo de drenaje; Lld= Lluvias de diseño; E= Escurrimiento; Q= Gasto

La Figura 2, se presenta un esquema de las distribuciones de los cultivos, drenes colectores e intercesiones de drenes aguas abajo A, B y C en los terrenos del



municipio de Jonuta, Tabasco.

**Figura 2.** Distribución de los drenes colectores.

El gasto que conducirá cada dren colector se presenta en el Cuadro 9, para cada uno de los cultivos.

Cultivo	Dren	Qd (m <sup>3</sup> /s)	I	n	S (m/m)	b (m)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	T (m)	P (m)	V (m/s)	Qc (m <sup>3</sup> /s)
Maíz	m	0.9727	1.5:1	0.027	0.0001	1.38	1.14	3.53	4.80	5.50	0.28	<b>0.97</b>

Sorgo	P	1.095	1.5:1	0.027	0.0001	1.44	1.19	3.86	5.02	5.75	0.28	<b>1.10</b>
Chile	n	1.28	1.5:1	0.027	0.0001	1.53	1.27	4.34	5.33	6.09	0.30	<b>1.28</b>
Chile	o	1.66	1.5:1	0.027	0.0001	1.69	1.39	5.27	5.87	6.72	0.32	<b>1.61</b>
Regla 20-40	A	2.2565	1.5:1	0.027	0.0001	1.89	1.56	6.63	6.59	7.53	0.34	<b>2.26</b>
	B	3.8607	1.5:1	0.027	0.0001	2.32	1.91	9.92	8.06	9.22	0.39	<b>3.86</b>
	C	4.5579	1.5:1	0.027	0.0001	2.47	2.04	11.24	8.57	9.81	0.41	<b>4.56</b>

**Cuadro 9.** Secciones Hidráulicas de los drenes colectores.

Qd= Descarga de diseño; l= Talud de pared; S= Infiltración; y=tirante hidráulico; A= Área hidráulica; T= Espejo de agua; P= Perímetro mojado; V= velocidad de flujo; Qc= descarga calculada.

## Conclusiones

De cinco métodos aplicados para estimar los flujos superficiales, el método de Número de Curva fue seleccionado para diseñar las secciones hidráulicas de los drenes colectores, por considerar aspectos hidrológicos, edáficos y agronómicos del área de estudio.

Se determinó que los escurrimientos superficiales por hectárea a evacuar de los cultivos fueron:  $0.97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  maíz;  $1.10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sorgo;  $1.28$  y  $1.61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  chile para 52 y 68 jjiHa respectivamente

## Referencias

- Aguilera, C.M., Martínez, E. R. (1996). Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera (1<sup>a</sup> ed.). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- ASCE, 1996. Hydrology Handbook 2ed. American Society of Civil Engineers. New York, EE. UU. 769 p
- Batista M., J. (1983). Escurrimiento superficial. Corporación de Desarrollo del Valle de San Francisco (CODEVASF). Brasilia, Brasil
- Bernardo, S., Alves, S.A., Chantuni, M. (2011). Manual de Irrigação (8va edición). Universidad Federal de Vicosa. Editorial UFV. Brasil

CENAPRED, 2013. Información de actividades. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación. SEGOB

NAFED, 2015. Síntesis Nacional para el Desarrollo de las comunidades. Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. [www.inafed.go](http://www.inafed.go)

Chow, V. T., Maidment, D. R., y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana

Hargraves, G.H. and Z.A. Samani 1985, reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *am. soc. agric. eng.* 1 (2) 96-99

Dieleman, P.J., Westcot, D.W. et.al. (1985) Elementos para el Proyecto de Drenajes. FAO. Roma.

DOORENBOS, J.; PRUITT W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO,1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

Grassi, C.J. (1966). Variación de la evapotranspiración Relativa Durante el Ciclo Vegetativo de los Cultivos. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

Gómez, M. J. F. et. al. (2010). Manual de análisis de frecuencias en hidrología. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Primera edición. México.

Instituto Nacional para el Federalismo (INAFED). (2010). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, estado de Tabasco. Obtenido de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM27tabasco/index.html>. Recuperado el 8 de agosto de 2016.

González-Villela, R., Montero, M. M., & Santana, S. J. (2018). Effects of climate change on the environmental flows in the Conchos River (Chihuahua, México). *Journal of Ecohydrology & Hydrobiology*. doi: 10.1016/j.ecohyd.2018.10.004

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1997). Cuaderno estadístico municipal, Macuspana Estado de Tabasco.

Jackson R.D., Regionato R., Idso S., 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evolution water requirements. *Water Resour.*, 13: 651-656

Martínez, B. J. (1986). Drenaje Agrícola (Volumen I). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.

Norero, S. A. (1977). Evaporación y transpiración, Capítulo 4. Preparado para el curso de conservación de aguas y tierras. Centro Interamericano de Desarrollo Integral del Agua y Tierra CIDIA. Mérida, Venezuela.

Ortiz, S.C.A. (2011). Elementos de Agrometeorología Cuantitativa Con Aplicaciones en la República Mexicana (2a ed.). Texcoco, Estado de México.

Perez Morales, G. B., & Rodríguez Castro, A. (2009). *Apuntes de hidrología superficial*. Pizarro, F. (2002). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2a. ed. Agrícola Española. España.

Pizarro, T. R. (2007). Evaluación de métodos hidrológicos para la competición de datos faltantes de precipitación en estaciones pluviográfica de la VII región de Maule Chile. Universidad de Tacala. Chile.

Palacios O.L.V., Y.N. Nikolski, C.S. Landeros.J.L. Pimentel, C.A. Ramírez. (1993). Manual de drenaje parcelario de distritos de riego. CP-IMTA, Cuernavaca, México.

Rojas, M. (2002). Diseño de drenaje superficial local. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación. Chapingo, Estado de México, México

Thornthwaite, C. W and Matter, J.R. 1994. Insteuctions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. Climatology. 10(3): 185-311

Villón, B.M., (2007). Drenaje (1a ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica