



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



“Estudio en la duda. Acción en la fe”

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE MICROCUENCAS COMO
ALTERNATIVA DE DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA
PLANEACIÓN URBANA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

BIOL. VÍCTOR ROBERTO CARBALLO CRUZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA. EUNICE PÉREZ SÁNCHEZ

VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

ABRIL 2017

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE MICROCUENCAS COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA PLANEACIÓN URBANA”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 28 de Marzo de 2017.

AUTORIZO



VÍCTOR ROBERTO CARBALLO CRUZ



UNIVERSIDAD JUÁREZ
 AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
 DIRECCION



MARZO 28 DE 2017

C. VÍCTOR ROBERTO CARBALLO CRUZ
PAS. DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN
AMBIENTAL
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental titulado: **“ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE MICROCUENCAS COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA PLANEACIÓN URBANA”**, asesorado por la Dra. Eunice Pérez Sánchez sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dr. José Ramón Laines Canepa, Dra. Eunice Pérez Sánchez, M. en C. José Luis Valencia Jiménez y M. en C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
 ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ DIRECCION
DIRECTORA

C.c.p.- Expediente del Alumno.
 C.c.p.- Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
 Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: dirección.dacbiol@ujat.mx
 Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques



*Por qué esta magnífica tecnología científica, que
ahorra trabajo y nos hace la vida más fácil, nos
aporta tan poca felicidad?*

*La respuesta es está, simplemente: porque aún
no hemos aprendido a usarla con tino.*

*Los grandes espíritus siempre han encontrado
una violenta oposición de parte de mentes
mediocres*

Albert Einstein



Para Marija y Pilar

*Que entrando a mi mundo lo cambiaron
revolviéndolo todo, que cada momento sea
diferente y el esfuerzo se aligere....*





AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo, es producto de una serie de experiencias y aportaciones de diferentes formas de pensamiento y formación, que con pequeñas o grandes contribuciones y participaciones permitieron la consolidación de la herramienta aquí presentada...y que en el proceso de investigación coadyuvaron en la consolidación de su filosofía científica.

De manera especial, quiero agradecer al impulso y apoyo en la realización del trabajo a la Dra. Eunice Pérez Sánchez, además de su amistad, que aunque tengamos diferentes formaciones y perspectivas, el objetivo es el mismo...la verdad.

Al Ing. Alberto Antonio de León Juárez, quien compartió su bagaje de conocimientos y experiencia en el tema hidrológicos participo activamente en el perfeccionamiento del trabajo.

A los Comité sinodal integrado por el Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dr. José Ramón Laines Caneпа, M. en C. José Luis Valencia Jiménez y M. en C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez, por la revisión y comentarios que enriquecieron la tesis.

A los compañeros Christian, Norma, Adrianita, Claudia, Cristel y Abelardo de la COVINSE de la DACBiol. UJAT (hoy Unidad de Vinculación de Productos y Servicios) por su estímulo y amistad



CONTENIDO

INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	10
OBJETIVOS GENERAL.....	11
OBJETIVOS PARTICULAR.....	11
AREA DE ESTUDIO	12
METODOLOGÍA.....	15
Definición de los componentes de la microcuenca Mazaltepec.....	15
Análisis de la información climatológica.....	16
Datos estadísticos de las precipitaciones	17
Métodos probabilísticos para el cálculo de la lluvia de diseño (Intensidad –Duración –Frecuencia)	17
Estimación de gastos pluviales.	19
Construcción de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	20
Estimación del tiempo de retorno.....	21
Estimación del comportamiento probabilístico de la información de la precipitación pluvial del área.....	22
Calculo del Coeficiente de escurrimiento (Cesc)	22
Tiempo de concentración	24
Estimación del gasto hidrológico de las nanocuenas:	24
Método del hidrograma empírico triangular (HET) para determinación de Precipitaciones en exceso.....	25
Identificación de fuentes de modificación de la dinámica de la microcuenca.	27
Escenario resultante de la modificación de la dinámica de la microcuenca.....	27
RESULTADOS	28
Características de la cuenca.....	28
Información Topográfica de la microcuenca.....	28
PRIMER ESCENARIO (2003).....	29



Curvas intensidad-duración-frecuencia.....	35
Análisis del escenario actual al mes de mayo de 2016	53
SEGUNDO ESCENARIO (Investigación del sitio para identificar obras existentes).....	53
Propuesta de medidas para mitigar las modificaciones a la microcuencia	59
DISCUSIÓN.....	61
CONCLUSIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXO.....	67

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



INTRODUCCION

El desarrollo evolutivo y social de la humanidad, toda vez que el hombre inició el dominio de la agricultura, comenzó la fundación de ciudades y la proliferación de esta en las riberas de ríos, que se empleaban como vías de comunicación, uno de los eventos sociales que ha caracterizado la historia de la civilización desde sus inicios.

Así, Tabasco se ha caracterizado por contar con épocas marcadas por las actividades productivas, de esta manera, la reconversión de grandes extensiones costeras para el desarrollo de la palma de coco, porciones territoriales reconvertidas a la actividad cacaotera, remoción de grandes extensiones de selva tropical para dar paso a la ganadería extensiva y finalmente la bonanza de la industria petrolera (Tudela, 1992)

Sin embargo, la frontera urbana se encuentra supeditada a las diferentes actividades productivas de las regiones, en especial en Tabasco, donde la economía se basa en demanda de recursos agropecuarios e industriales, provocando los diferentes cambios de uso de suelo del territorio y colocando en riesgo los recursos naturales por el desarrollo de infraestructura basado en el progreso económico del Estado.

En esta última fase de desarrollo industrial han generado una demanda vivendística debido a la movilización masiva de individuos de diferentes partes de la república, siendo la ciudad capital de Villahermosa, quien registro el mayor crecimiento poblacional equivalente al 35.13% del total de la población y se ha mantenido el crecimiento de 250,903 de habitantes en 1980 hasta 684,850 en 2015,



que ha provocado una fuerte demanda de vivienda, resultando en un crecimiento desordenado de la ciudad.

De esta manera, Villahermosa es una ciudad modificada en su dinámica hídrica que ha presentado una serie de eventos de inundación, manifestando su momento catastrófico en octubre de 2007, por lo que es necesario rediseñar la ingeniería de los procesos constructivos que favorezca los flujos de agua pluvial y reducir la vulnerabilidad de la población.

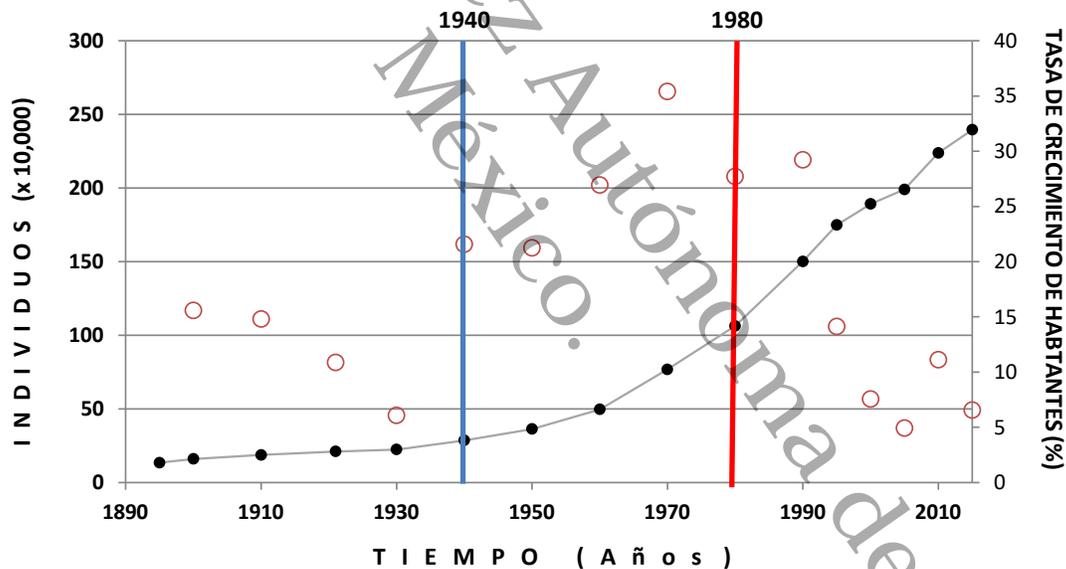
Por lo que el presente trabajo, propone el uso de metodologías ingenieriles hidráulicas para valorar el comportamiento hidrológico de una porción del territorio de acuerdo a la topografía de la unidad de evaluación y con base en la infraestructura instalada establecer escenarios hídricos para con base en esto, establecer medidas de mitigación de la reducción del riesgo de inundación de la población provocados por instalación de obras inadecuadas de acuerdo al sistema hidrológico local.

En este sentido, la unidad propuesta para el estudio es la cuenca, misma que se define como la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, en donde ocurre el agua y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida a través de una red hidrográfica, esta a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas o con una mayor fragmentación ocasionada por obras antrópicas, sin embargo, dentro de clasificación, se pueden identificar unidades topográficas locales que definen el comportamiento hidrológico dentro de la microcuenca, que en el presente trabajo se definirán como nanocuencas.



ANTECEDENTES

El crecimiento poblacional de la ciudad de Villahermosa, de 1980 a 2015, representa un 2.73 veces en 30 años, debido al incremento de una fuerte demanda vivendística y servicios por movilización de individuos de otras entidades (Gráfica No. 1 y 2 con la información censal de INEGI) provocado por el crecimiento económico e industrial del Estado, contando actualmente con un déficit importante de infraestructura de servicios municipales provocados por el desarrollo de proyectos vivendísticos basados en un Programa de Desarrollo Urbano ordenado.

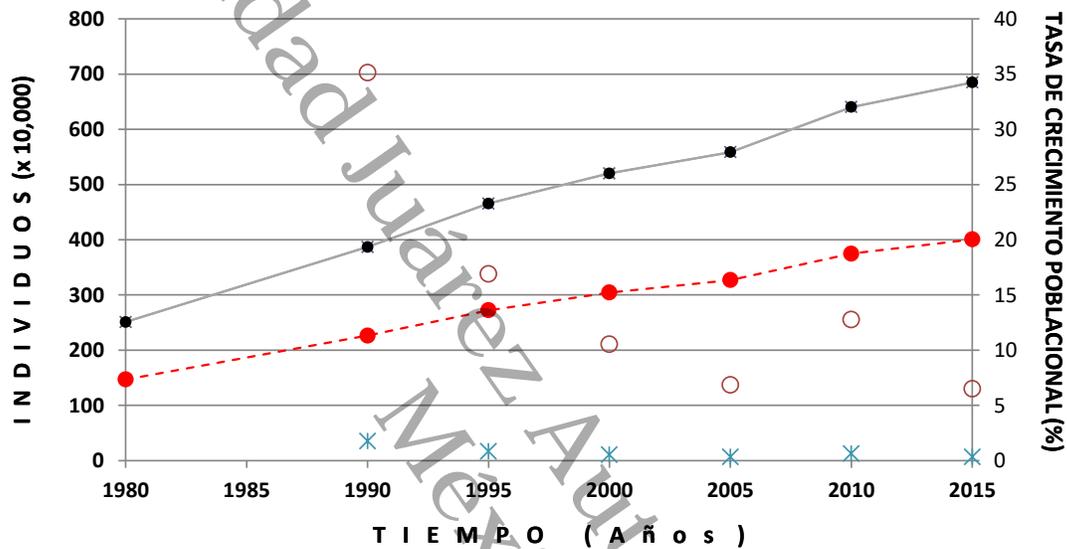


Gráfica 1. Evolución demográfica de la población del estado de Tabasco. 1940 inicio del auge petrolero y 1980 Boom petrolero. (● Población censada, ○ Tasa de crecimiento de habitantes) *Obtención personal.*

El Programa de Desarrollo Urbano (PDU) de la ciudad de Villahermosa, no considero modelos de inundación para regular el crecimiento de la metrópoli, estableciendo un manejo adecuado de los sistemas hidrológicos, induciendo modificaciones potenciales de los escurrimientos superficiales,



provocando retenciones de agua pluvial y consecuentemente, se ha creado una vulnerabilidad a eventos meteorológicos de la población.



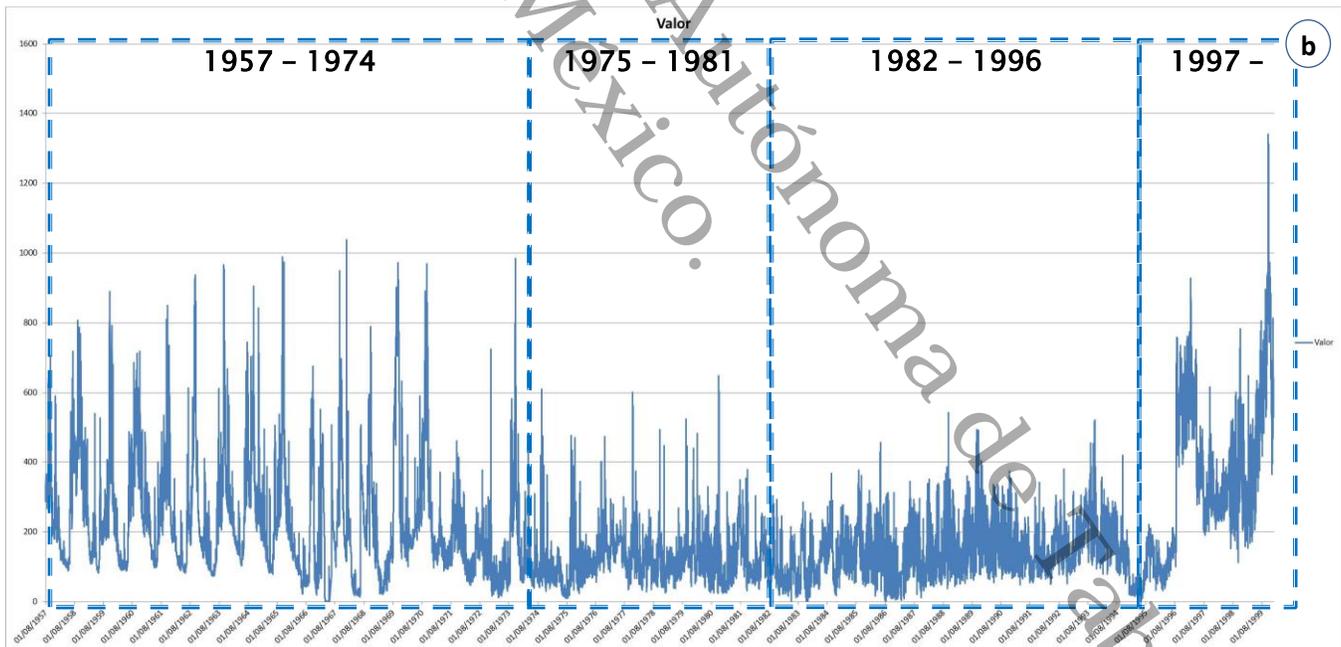
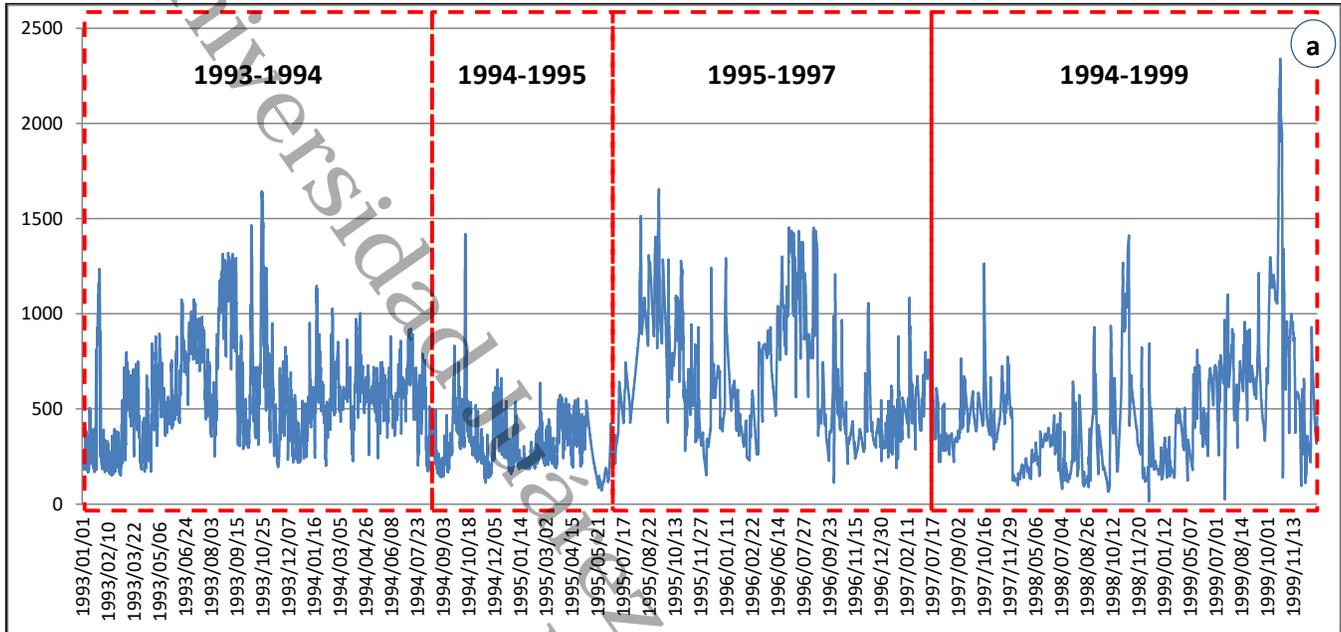
Grafica 2. Evolución demográfica de la población de la ciudad de Villahermosa posterior al Boom petrolero después de 1980. (● Población censada, ● Densidad de Población, o Tasa de crecimiento de habitantes). *Obtención personal*

Villahermosa se localiza en la región hidrológica del Grijalva-Usumacinta (RH 30) está integrada por tres subregiones (Alto Grijalva, Bajo Grijalva y Usumacinta y una parte de la subregión de Coatzacoalcos) y seis cuencas (Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Grijalva-La Concordia, Grijalva-Villahermosa, Usumacinta, Lacantún y Chixoy) que tienen un escurrimiento natural total anual estimado en 108.6 km^3 , más un escurrimiento proveniente de Guatemala de 38 km^3 , que comparado con el escurrimiento promedio anual del país, que es de 410 km^3 , representa el 30.79% de los escurrimientos totales de México.



Con base en lo anterior, Tabasco se encuentra en un lugar privilegiado por su posición dentro del País, ante esta riqueza hidrológica, se han instalado diversas presas hidroeléctricas a través del recorrido del Río Grijalva en su parte alta y media, sin embargo, aunado a un desordenado desarrollo de vías de comunicación, rectificaciones de los sistema fluviales y hacia el año 2005 la construcción tres subsistema de protección contra inundaciones pluviales denominado Programa Integral de Control de Inundaciones (PICI) desarrollado por la CNA y la entonces Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente (SEDESPA) del gobierno estatal, aunado a las continuas modificaciones en las escorrentías superficiales han provocado desastres como el registrado en el 2007, inundación que fue considerada como el más grave desastre natural enfrentado por el estado en 50 años, segundo evento catastrófico después del sismo de 1985, constituido por la inundación de la planicie tabasqueña por los numerosos ríos que la cruzan, que junto con otras corrientes sobrepasaron sus máximos históricos a causa de fuertes lluvias ocurridas en su territorio y en las zonas altas del vecino estado de Chiapas (Kauffer Michel, 2006).

Como se observa en las gráficas 3a y 3b, se muestra la información histórica de las precipitaciones pluviales en el Estado, se observa que existe modificaciones en los regímenes del tirante del agua de los cuerpos de agua, producto de diferentes obras que han modificado los gastos de los ríos, provocando que no exista un modelo predictivo del comportamiento de los ríos, razón por la cual no es posible contar con programa de planeación para prevención de desastres naturales.



Grafica 3. Registro histórico del gasto pluvial (mm) obtenida de la a) estación Samaria (27039) y b) González (27060). Se enmarcan los cambios en el patrón de lluvias en la información obtenida. (Carballo Cruz, 2014)



Esta crisis se hizo manifiesta el 31 de octubre de 2007 al inundarse la capital del estado Villahermosa, que en conjunto con las zonas rurales y restantes municipios afectados como resultado de la conjunción de eventos meteorológicos y el 80% del territorio del estado resulto afectado. Esta misma situación es provocada por los desarrollos urbanos y ampliación de las fronteras urbanas, que de realizarse de una manera desordenada, provoca estos impactos negativos.

Así, debido a la liberación de los sistemas de información geográfica y las imágenes satelitales, con mejor resolución, ha permitido la inclusión de diferentes programas informáticos dirigidos a la clasificación y análisis de la evolución de procesos en los relieves del territorio.

Con base con estos avances, el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), estos han sido empleados como herramientas para administración de los recursos territoriales con objetivos de planear el uso potencial.

En Cuba, el crecimiento desordenado de las actividades productivas, y la diversificación de la industria, ha registrado diversas afecciones a la salud, razón por la cual, han generado un sistema integrado de desarrollo sostenible de sus actividades basados en la multidisciplinaridad, incorporando elementos cartográficos en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (Suárez Tamayo & Molina Esquivel, 2014). También se han empleado los SIG en la zonificación en la planeación urbana, integrando los indicadores al sistema con la finalidad de un desarrollo ordenado del territorio chileno (Rojas Quezada, Díaz Muñoz, & Jaque Castillo, 2008) o en la planeación sustentable de las ciudades de acuerdo la toponimia de sus construcciones (González, 2011), también en la administración para el cambio de



uso de suelo de zonas forestales (Valencia Hernández & Anaya Acevedo, 2009) o diferentes el ordenamiento y manejo de políticas sustentables en las actividades productivas (Montero, 2011)

Para establecer un desarrollo ordenado de las áreas que componen una cuenca de acuerdo a su vocación se han propuestos diferentes metodologías a partir del empleo de sistemas de información geográfica, como por ejemplo en Polonia, donde se realizó un análisis de cuencas a través del programa MapInfo 11.5, respaldando un análisis Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) para proponer la planeación de actividades de la región de la cuenca del río Klodnica, encontrando una regionalización de los impactos generados (Drag & Zimnol, 2014). De manera robusta, se han desarrollado con modelos de alta resolución, escenarios relacionados con la temperatura y el paisaje urbano como atención a una planeación relacionada al cambio climático (Suzuki-Parker, Kusaka, & Yamagata, 2015 y Shin & Baigorria, 2012), o las variaciones de la temperaturas en las cuencas ribereñas para definir el balance energético de los suelos (Wang, 1993).

Empleando los Sistemas de Información Geográfica, en las actividades productivas, esta herramienta también se ha extrapolado a la planeación de las actividades agrícolas con la finalidad de garantizar el uso adecuado del recurso acuático y tipo de suelos, obteniendo el mejor rendimiento en la producción al no generar un estrés a los cultivos y que no represente un riesgo de contaminación por los agroquímicos por la modificación de las cuencas (Mastrocicco, Colombani, Salemi, & Castaldelli, 2010), aprovechando la relación entre el tipo de suelo y la evapotranspiración con el modelo SEBS (Surface Energy Balance System) (Gokmen, y otros, 2012)



En México, los SIG han empezado a ser incorporados a los análisis cartográficos del territorio nacional, como ejemplo, se encuentra la valoración de los cambios de uso de suelo (Camacho-Sanabria, y otros, 2015), estimación de captura de carbono de bosques d coníferas (Galeana-Pizaña, Ordóñez-Díaz, & Corona-Romero, 2013), estimación de zonas inundables de la cuenca ribereña del río Tuxpan basados en análisis topográfico combinado con modelos hidrológicos (Ellis, Romero, Hernández, Gallo, & Alanís, 2012),

Con todo lo anterior, es necesario evaluar las condiciones ambientales del territorio con la finalidad de proponer un crecimiento de la ciudad basado en la sustentabilidad.



JUSTIFICACIÓN

El desarrollo desordenado de asentamientos humanos y actividades productivas han presionado los diferentes sistemas ambientales, generando modificaciones importantes en el comportamiento de los recursos naturales.

Aunado al desconocimiento de los servicios ambientales de los sistemas naturales, se destruye y minimiza la funcionalidad de estos, colocando en un estatus de vulnerabilidad el desarrollo de actividades y la subsistencia misma de la población, por lo que es necesario definir los polígonos y con base a modelos predictivos, plantear los usos sostenibles de los recursos, y de esta manera proponer una planeación adecuada, donde se definen obras que funcionen como medidas de mitigación en el manejo del territorio.

El crecimiento de infraestructura urbana, bloque los cauces naturales de las escorrentías, provocando una retención de agua, que aunado con el crecimiento urbano desordenado, incrementa la vulnerabilidad de los pobladores, lo que conlleva a pérdidas materiales y económicas importantes.

De esta manera, conocer el comportamiento de las condiciones de los sistemas ambientales permite proponer obras y áreas que funcionen como reservorios en los casos donde eventos extraordinarios meteorológicos disminuir la vulnerabilidad mencionada.

Por tal motivo, se propone a partir de la unidad de nanocuenca, definir el funcionamiento de esta en función de las condiciones climáticas, de esta forma, proponer estrategias de planeación para disminuir los riesgos contra inundaciones.



OBJETIVOS GENERAL

Determinar las modificaciones al comportamiento hidrológico de la microcuenca ocasionada por el desarrollo de infraestructura de manera arbitraria y ocasiona la vulnerabilidad de la población.

OBJETIVOS PARTICULAR

- Analizar la dinámica hídrica del sistema ambiental (microcuenca) considerando los regímenes pluviales de la zona y las nanocuenas que conforma la zona denominada Mazaltepec en el distrito XIII de la ciudad de Villahermosa, Tabasco.
- Identificar las modificaciones con infraestructura urbana del polígono de analizado (microcuenca) y definir los cambios del comportamiento hidráulico de la zona
- Definir las causas de cambio de la dinámica hidráulica de la microcuenca Mazaltepec en el Distrito XIII de la ciudad de Villahermosa, Tabasco.
- Proponer alternativas de mitigar las modificaciones efectuadas en las nanocuenas.



AREA DE ESTUDIO

Tabasco se localiza en la zona del trópico húmedo y pertenece a la Cuenca del Grijalva-Usumacinta, la cual descarga anualmente más de 100 mil millones de metros cúbicos de agua; es la entidad que registra la mayor precipitación anual, que varía de 1 mil 500 milímetros en la costa, hasta más de 3 mil milímetros en el interior; allí la radiación solar penetran con mayor intensidad, lo que provoca que la temperatura se eleve, alcanzando alrededor de 26° C en su media anual, y la temperatura máxima del clima es de 42° C.

En el estado llueve la mayor parte del año, abarcando este periodo, del mes de junio al de marzo. Las lluvias se intensifican en el verano, cuando se dan los grandes aguaceros, mientras que en otoño e invierno se presentan los nortes, que son tormentas acompañadas de fuertes vientos provenientes del Golfo de México. Es en esta época cuando se presentan las inundaciones.

Tabasco es el estado de la República con mayor escurrimiento acuático durante el año, la tercera parte del agua dulce de México, está en Tabasco. El sistema fluvial se constituye con los caudales del río Usumacinta, el más grande de la República, y el río Grijalva, el segundo por su caudal, con numerosos afluentes que desembocan en el Golfo de México.

El volumen medio anual es de 125 mil millones de metros cúbicos, que representan el 35% de las corrientes del país, formando un amplio cauce que inunda grandes áreas y origina en las zonas bajas numerosas lagunas de poca profundidad. En los meses de septiembre y noviembre se alcanza los máximos niveles de agua causando inundaciones tanto por la acumulación de lluvia como por el



desbordamiento de los ríos. Esta situación repercute en el desarrollo económico de la región y es un obstáculo para el pleno aprovechamiento del potencial de las actividades productivas.

La zona de estudio se localiza en el municipio de Centro, Tabasco, en el área denominada Reserva Mazaltepec, en el Distrito XIII definido en el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Villahermosa y Centros Metropolitanos del Municipio de Centro, Tabasco 2008-2030 (H. AYUNTAMIENTO DE CENTRO, 2008). La microcuenca analizada se consigna en el siguiente Tabla 1 de coordenadas.

Tabla 1. Límites de la microcuenca denominada Reserva Mazaltepec, ubicada en el Distrito XIII de la ciudad de Villahermosa, Tabasco (Figura 1)

Vértice	X	Y	Vértice	X	Y
1	502,574.94	1,991,051.21	19	499,000.83	1,988,568.81
2	502,389.01	1,990,900.76	20	499,579.77	1,989,135.94
3	502,423.15	1,990,788.25	21	499,155.81	1,989,484.47
4	502,601.33	1,990,552.50	22	499,512.13	1,989,796.00
5	502,620.51	1,990,375.10	23	499,453.57	1,990,105.92
6	502,583.60	1,990,232.71	24	498,615.73	1,990,103.65
7	502,014.98	1,990,295.16	25	498,847.33	1,990,371.34
8	501,614.35	1,990,281.96	26	498,531.39	1,990,796.65
9	501,497.49	1,990,220.48	27	498,461.22	1,991,077.93
10	501,191.72	1,990,239.41	28	498,863.59	1,991,226.58
11	501,164.67	1,990,382.53	29	499,511.86	1,991,512.14
12	500,909.14	1,990,345.13	30	499,753.76	1,991,926.41
13	500,908.51	1,990,104.68	31	500,124.61	1,992,151.76
14	501,120.89	1,989,009.12	32	500,789.28	1,992,744.39
15	501,246.64	1,988,981.12	33	501,143.58	1,992,588.65
16	501,041.52	1,988,791.62	34	500,825.89	1,992,156.58
17	499,729.57	1,988,713.71	35	501,754.54	1,991,560.56
18	499,200.91	1,988,511.58	36	501,827.04	1,991,418.87

Coordenadas UTM, GSW 84



Figura 1.- Delimitación del polígono de la microcuenca propuesta para efectuar el análisis hidrológico



METODOLOGÍA

Definición de los componentes de la microcuenca Mazaltepec

Se analizó la imagen LiDAR para realizar el Modelo digital de elevación de alta resolución, con una resolución de 5 m, este se obtiene de la nube de puntos ajustada al terreno mediante procesos geodésicos, seleccionando los puntos para la aplicación de una interpolación, eliminando aquellos puntos que no pertenecen al terreno como los reflejados por infraestructura, vegetación y objetos aéreos como nubes o pájaros, de esta manera se puede generar un modelo digital de elevación para realizar los análisis hidrológicos y determinar el comportamiento hidrológico de la escorrentía.

Los caudales de aportación de agua pluvial en un sistema de drenaje, dependen de múltiples factores, los más importantes son:

- Área de la cuenca
- Longitud del cauce principal
- Pendiente del cauce principal
- Intensidad de la precipitación
- Coeficiente de escurrimiento

Las cuencas urbanas, son cuencas cuyas condiciones se modifican en el tiempo, de manera que las características estadísticas de los escurrimientos no pueden ser determinadas a partir de los registros de estos y se tiene que recurrir a estimar primero; las características estadísticas de las tormentas y



segundo, mediante un modelo de lluvia escurrimiento, determinar las avenidas suponiendo que su probabilidad de ocurrencia es idéntica a la tormenta utilizada para generarla.

Análisis de la información climatológica.

La información recopilada de la estación #27054 Villahermosa (DGE) se analizó ajustándola a las distribuciones de probabilidad que se recomienda utilizar cuando se estudian registros de lluvias; se aplicaron seis distribuciones cuyos resultados se revisaron mediante la aplicación de una prueba de momentos de máxima verosimilitud para determinar a cual se adaptan mejor los valores reales, teniéndose los resultados que se adjuntan en la tabla 2.

Tabla 2. información meteorológica que se empleó en el presente análisis

Estación Climatológica: 27054 Villahermosa (GDE)					
UTM		Coordenadas Geográficas		Periodo de observación	
X	Y	Latitud N	Longitud O		
507,590.49	1,989,821.91	17°59'48.12"N	92°55'41.88"W	1948 - 2015	
Precipitación Máxima Anual (mm/h)					
Año		Año		Año	
1948	164.80	1970	118.20	1992	170.50
1949	111.50	1971	67.80	1993	107.50
1950	59.30	1972	227.00	1994	94.30
1951	124.70	1973	113.20	1995	191.00
1952	111.50	1974	89.70	1997	180.00
1953	98.20	1975	85.30	1998	89.50
1954	90.00	1976	228.00	2000	117.80
1955	224.50	1977	98.50	2001	102.90
1956	94.20	1978	90.50	2002	198.90
1957	200.00	1979	125.60	2003	117.00
1958	92.40	1980	340.00	2004	112.20
1959	187.00	1981	132.50	2005	134.20



Tabla 2. información meteorológica que se empleó en el presente análisis

Estación Climatológica: 27054 Villahermosa (GDE)					
UTM		Coordenadas Geográficas		Periodo de observación	
X	Y	Latitud N	Longitud O		
507,590.49	1,989,821.91	17°59'48.12"N	92°55'41.88"W	1948 - 2015	
Precipitación Máxima Anual (mm/h)					
Año		Año		Año	
1960	135.00	1982	115.70	2006	84.90
1961	80.00	1983	109.50	2007	132.30
1962	65.20	1984	158.80	2008	100.50
1963	121.60	1985	106.60	2009	71.00
1964	128.50	1986	56.90	2010	150.00
1965	133.50	1987	124.10	2011	144.00
1966	101.30	1988	254.40	2012	130.80
1967	174.50	1989	137.20	2013	224.40
1968	111.00	1990	133.50	2014	272.20
1969	92.10	1991	174.50	2015	176.00

Datos estadísticos de las precipitaciones

Métodos probabilísticos para el cálculo de la lluvia de diseño (Intensidad –Duración –Frecuencia)

La metodología empleada para el cálculo de las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) consiste en realizar un análisis de frecuencia de valores máximos de precipitaciones registradas, así como su duración.

Un método adecuado para elegir la lluvia de diseño es la aplicación de las diferentes Funciones de Distribución de Probabilidad y a partir de la función que presente un mejor ajuste de los datos medidos, se podrá seleccionar esta para la extrapolación.



En la estadística existen infinitas funciones de distribución de probabilidad teóricas; pero obviamente no es posible probarlas todas para un problema en particular. Por lo cual es necesario escoger entre esas funciones, las que mejor se adapten al problema bajo análisis.

Una vez conocida la muestra de valores extremos de las Lluvias Máximas en 24 hr se lleva a cabo el análisis para los Períodos de Retorno (T_r) para 2, 5, 10, 20, 50, 100 etc. años, aplicando métodos probabilísticos directos mediante las funciones de probabilidad más usuales en la práctica, y que se mencionan a continuación: Normal, Log normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel, dadas por las funciones de probabilidad siguientes:

$$F(x) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

(Distribución Normal)

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx$$

(Distribución Log-Normal)

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta_1}{\delta_1}\right)} \left(\frac{x-\delta_1}{\delta_1}\right)^{\beta_1-1} dx$$

(Distribución Exponencial)

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

(Distribución Gumbel)



$$F(x) = \frac{1}{\mu \Gamma(\sigma)} \int_0^x \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\sigma-1} e^{(x)/\mu} dx$$

(Distribución Gamma)

$$F(x) = p e^{-e^{-\alpha_1(x-\mu_1)}} + (1-p) e^{-e^{-\alpha_2(x-\mu_2)}}$$

(Distribución doble Gumbel)

La tabla 2 con el registro de máxima precipitación anual, obtenida de la estación meteorológica, se evalúa con estos modelos para determinar el comportamiento de la función probabilística e iniciar el cálculo del comportamiento de las precipitaciones pluviales.

Estimación de gastos pluviales.

Los métodos que se describen a continuación, tienen como finalidad estimar la avenida que producirá una tormenta dada en una cuenca, cuando se cumplan con algunas de las condiciones siguientes:

- El predio y su limitada cuenca en estudio será pavimentada y es relativamente chica; de manera que se considera que no es necesaria la simulación detallada de su funcionamiento mediante modelos matemáticos. Este caso incluye las subcuencas asociadas a un sistema principal de drenaje parcelario.
- La cuenca se drena en forma natural; pero existe un dren que lleva las aguas del lado sur de la carretera hasta el cauce de alivio que se encuentra al norte del predio analizado.



Construcción de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) se construyen por medio puntos representativos de la intensidad media de precipitación para diferentes duraciones, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

Mediante las curvas IDF es posible estimar la intensidad de tormentas intensas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno. La metodología tradicional usada para el cálculo de las curvas IDF consiste básicamente en realizar un análisis de frecuencia a cada una de las series de valores máximos de precipitación obtenidas para cada duración (Pereyra-Díaz, Ochoa-Martínez, & Pérez-Sesma, 2005).

Una vez seleccionada la serie de máximos el siguiente paso consiste en establecer el rango de duraciones para el cual se estimaran las curvas IDF.

Se debe considerar que para cada sitio específico deben determinarse dos familias de curvas una para las duraciones más cortas, entre 5 y 60 o 120 minutos y otra entre 60 o 120 minutos hasta 24 horas e incluso hasta varios días (Campos-Aranda D. F., 2012).

Se utiliza el método de Cheng-Lung Chen (Chen, 1983), quien presentó una fórmula general de intensidad-duración-período de retorno, útil para estimaciones dentro del intervalo de 5 minutos a 24 horas. Para la aplicación de la fórmula de Chen se requiere conocer los cocientes:

$$R = \frac{R_1^T}{R_{24}^T}$$

1) lámina de lluvia-duración

donde:



R_1^T es la precipitación acumulada en una hora y período de retorno

T y R_{24}^T es la precipitación acumulada en 24 horas y período de retorno T .

$$X = \frac{R_t^{100}}{R_t^{10}}$$

2) lámina de lluvia-período de retorno

donde:

R_t^{100} es la precipitación en el tiempo t (minutos) y período de retorno de 100 años

R_t^{10} es la precipitación en el tiempo t (minutos) y período de retorno de 10 años

Estimación del tiempo de retorno

El periodo de retorno (Tr), se define como el número de años promedio en el cual el evento puede ser igualado o excedido cuando menos una vez. Existen diversos autores que han propuesto ecuaciones para estimar el parámetro, en el caso particular se empleó el programa el programa de distribución $Ax+B$, que emplea la ley Weibull como función (Merlos Villegas, 2016), misma que se basa en la ecuación siguiente:

$$Tr = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno

n = Numero de datos de la serie

m = Numero de orden de la serie



Estimación del comportamiento probabilístico de la información de la precipitación pluvial del área

En la estadística existen infinidad de funciones de distribución de probabilidad teóricas para definir el modelo de lluvia en un área determinada; por lo que es necesario hacer ajuste de la información meteorológica para escoger entre estas, las que mejor se adapten al problema bajo análisis.

Una vez conocida la muestra de valores extremos de las Lluvias Máximas en 24 hr se lleva a cabo el análisis para los Períodos de Retorno (T_r) para 2, 5, 10, 20, 50, 100 etc. años, aplicando métodos probabilísticos directos mediante las funciones de probabilidad más usuales en la práctica, y que se mencionan a continuación: Normal, Log normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel, dadas por las funciones de probabilidad siguientes:

La información obtenida de las estaciones climatológicas consistió en el registro de lluvias diario con período de acumulación de 24 hr, mismas que se sometieron al análisis de distribución de acuerdo a los modelos propuestos.

Calculo del Coeficiente de escurrimiento (C_{esc})

La respuesta de los caudales en la cuenca depende de factores como: la pendiente, la geometría del cauce y el escurrimiento. De esta manera, las cuencas conforman un sistema de procesos y respuestas en donde la esorrentía superficial es de los factores más importantes, relacionados con los desastres naturales y daños de las inundaciones.

Este se estima en cada nanocuenca aplicando la metodología de un modelo que permite la estimación del caudal aplicando la información del SIG, para una determinación con mayor precisión con las características físicas de la cuenca, los cauces y las condiciones geométricas (como área y pendiente) de la unidad hidrológica.



Las principales variables o factores físicos y geográficos que influyen en el escurrimiento y caudal estimado incluyen: la precipitación, el uso de suelo, tipo de suelo, tiempo de retraso, pendiente y longitud del cauce. De esta manera, el modelo permite una aproximación para la estimación de la magnitud y distribución del escurrimiento y gastos de caudal en las unidades hidrológicas dentro de la cuenca.

En este caso, se propuesto el método de los Números de Esgurrimiento, que se calcula con la siguiente ecuación:

$$Pe = [P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$$

Para obtener una mejor precisión en los cálculos, se recomienda realizar ajuste de acuerdo a la *Precipitación Antecedente*, para el funcionamiento hidráulico de la porción de territorio a evaluar, mismo que se propone las siguientes penalizaciones al modelo.

Precipitación acumulada 5 días antes				L ₅	
L ₅	<	2.5	Cm.	Hacer corrección "A"	
2.5	<	L ₅	<	5	No hacer corrección
L ₅	>	L ₅	Cm.	Hacer corrección "B"	



Tiempo de concentración

Toda vez que se calcula el coeficiente de escurrimiento, se estima el tiempo de concentración se define como el periodo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Para calcular este tiempo se usaron las siguientes formulas:

1. CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS.

$$T_c = \left[\frac{0.8708 L_c^3}{H} \right]^{0.385}$$

2. KIRPICH.

$$T_c = 0.0663 \cdot \left(\frac{L_c}{\sqrt{H/L_c}} \right)^{0.77}$$

3. TEMEZ.

$$T_c = 0.3 \cdot \left[\frac{L_c}{(H/L_c)^{0.25}} \right]^{0.76}$$

4. U.S. CORPS OF ENGINEERS

$$T_c = 0.3 \left[\frac{L_c}{S^{0.25}} \right]^{0.76}$$

Estimación del gasto hidrológico de las nanocuenas:

Con base en los cálculos realizados hasta el momento, se efectúa la estimación del gasto hidrológico de las nanocuenas y determinar el comportamiento de la microcuenca empleando la formula siguiente:

$$Q = 2.778 * C_{esc} * I * A$$



Donde

- Q = Gasto Hidrológico de la nanocuenca
Cesc = Coeficiente de escurrimiento
I = Intensidad
A = Área

Método del hidrograma empírico triangular (HET) para determinación de Precipitaciones en exceso.

En términos generales, el método del HET consiste en establecer una tormenta de diseño con seis incrementos horarios, uno de 12 horas y otro final de 24 horas; se obtienen las precipitaciones en exceso (Pe) correspondientes, respetando una pérdida mínima por infiltración, según sea el grupo hidrológico de suelos de la cuenca (Campos-Aranda D. F., 2011)

El hidrograma ($Q = f(t)$) resultante de un escurrimiento correspondiente a un volumen unitario (1 cm, mm, plg de lluvia por la cuenca) proveniente de una lluvia con una determinada duración y determinadas características de distribución en la cuenca hidrográfica.

Utilizando la N que define CENAPRED, Se acepta que el Hidrograma de escurrimiento directo es triangular

Con gasto máximo:

$$Q_{max}$$

Tiempo pico igual al tiempo de concentración

$$T_p = T_c$$

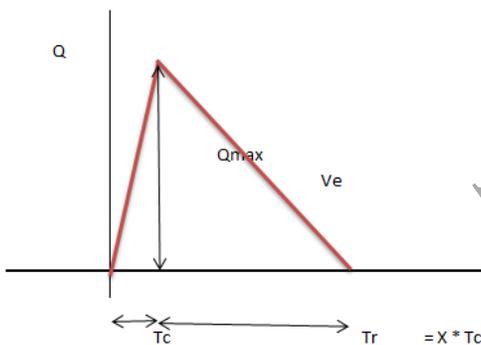


Tiempo de recesión se calculará con:

$$Tr = X * Tc$$

PÁRAMETRO " X " DEL MÉTODO DEL HET

A (KM ²)	X
< 500	1.00
500-5000	1.50
> 5000	2.50



PROCEDIMIENTO

- 1) Calcular Tc
- 2) Obtener las curvas PDT ó IDT
 Se valúa la "P" para la duración D=Tc, para el Tr deseado
- 3) Se calculan los números de escurrimiento del USSCS, la precipitación en exceso Pe, producida en la cuenca para la precipitación P
- 4) Calcular Qmax a partir del Hidrograma triangular se obtiene:
 $Q_{max} = 2 * V_e / (T_c + T_r)$
 Donde:
 Ve = es el volumen de escurrimiento directo

Se basa en el principio de que dicha relación entrada-salida es lineal, es decir, que pueden sumarse linealmente.



Identificación de fuentes de modificación de la dinámica de la microcuenca.

En combinación con la imagen aérea de la microcuenca, se realizó la visita al campo con la finalidad de revisar la infraestructura que existen en la microcuenca y determinar las fuentes del cambio de las escorrentías naturales del área.

Toda vez identificadas las obras, se realizaron los cálculos con la metodología propuesta por Chezy-Manning (Jiménez-Medina, 2015) con la finalidad de valorar el gasto de la obra y estimar los efectos de retención de agua.

Escenario resultante de la modificación de la dinámica de la microcuenca.

Con la imagen LiDAR y los niveles alcanzados de agua, de acuerdo a los cálculos realizados, se realizó la proyección de acuerdo al Modelo Digital de Elevación (MDE), para obtener la imagen con los niveles de inundación alcanzados.



RESULTADOS

Características de la cuenca.

La cuenca concerniente al predio es un terreno sensiblemente plano, con cobertura vegetal, dedicado al pastoreo de ganado vacuno, encontrándose bosque formados por acahuales y algunos árboles como se ilustra en las fotografías.

Son suelos arcillosos de capa muy gruesa e impermeable. El sentido del escurrimiento es hacia el nor-este como se puede observar *in situ*.

La pendiente de la cuenca se obtuvo de la identificación del máximo recorrido del flujo de agua hasta su descarga en el dren principal existente.

Información Topográfica de la microcuenca.

Para conocer las nanocuecas contenidas en la microcuenca y la incidencia de los escurrimientos hacia la salida de la microcuenca en estudio se recurrió al empleo de hojas LiDAR (INEGI) E15A89f4, E15B81d3, E15C19c2 y E15D11a1 que son las que se ilustran a continuación y cuya exactitud es aceptable para estos análisis, esta hoja muestra los relieves y las curvas de nivel, permitiendo localizar el sentido de los escurrimientos y sus lugares de descarga de los mismos (Figura 2).

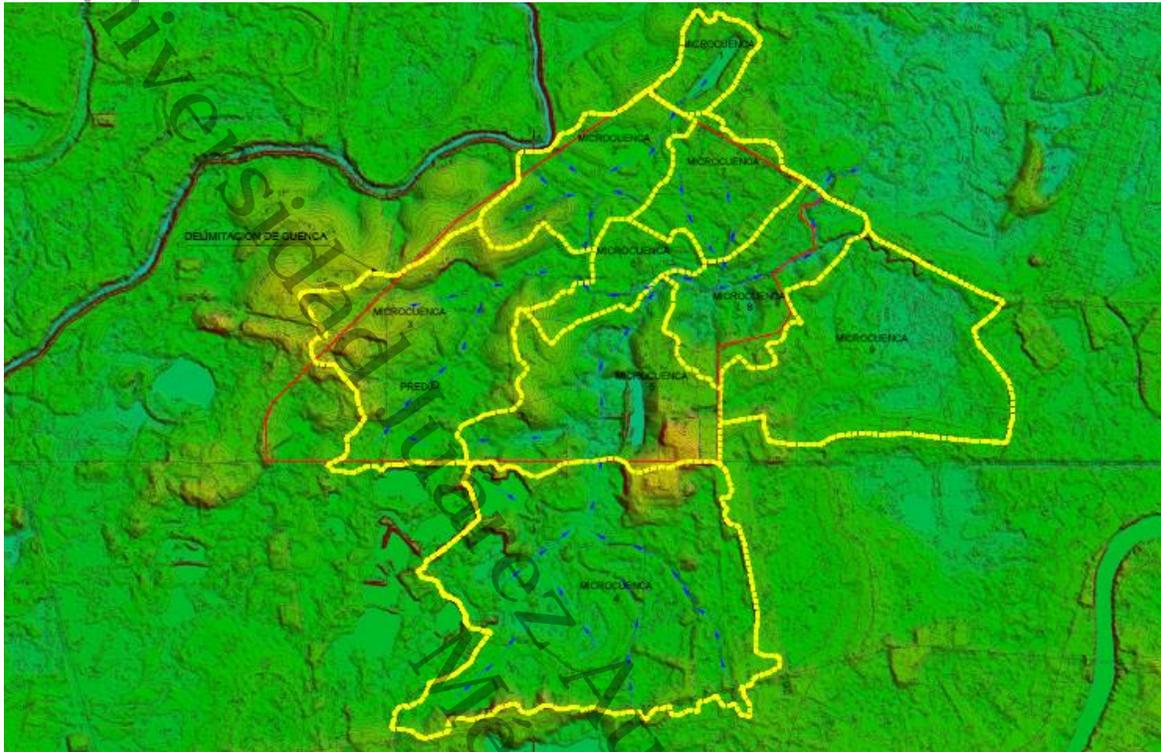


Figura 2.- Delimitación de la microcuenca denominada Mazaltepec, en el distrito XIII de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Se definen parte aguas (línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad) unidades que denominaremos nanocuenclas.

PRIMER ESCENARIO (2003)

En la Figura 3 se muestra de acuerdo al marco histórico la situación que prevalecía en relación con los escurrimientos antes de que se iniciara la modificación de la topografía por los cambios de uso de suelo, intensificando los desarrollos viviendísticos y de la industria.

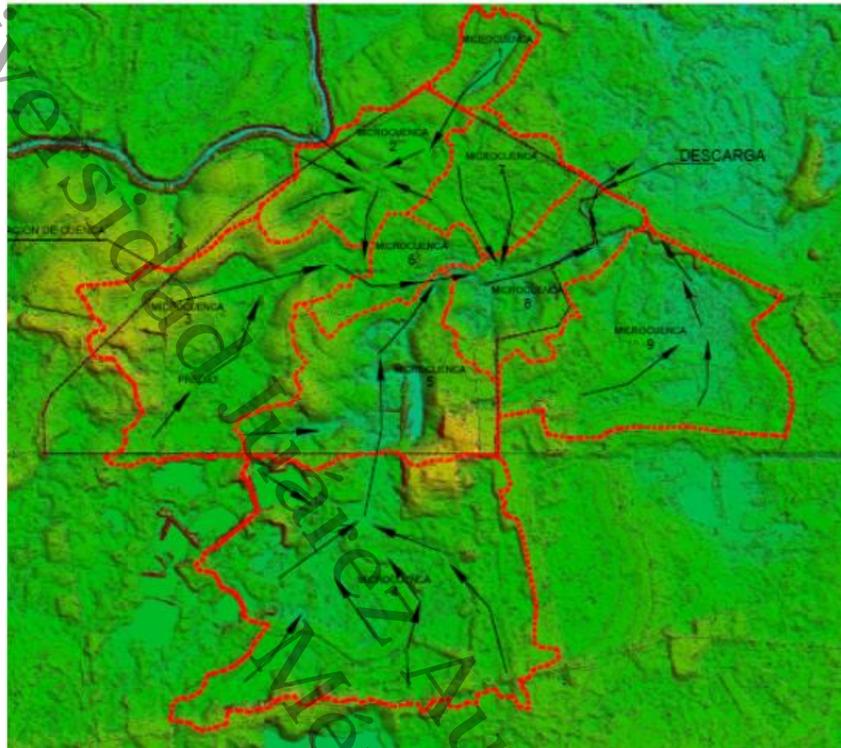


Figura 3.- Delimitación del parte aguas de la cuenca de aportación y sentidos de los escurrimientos

Partiendo de la definición de cuenca, de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la Federación, 1992) que a la letra define las cuencas hidrológicas como

Es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas –aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad-, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboken en el mar. En dicho espacio delimitado por una



diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente.

De esta manera, la cuenca hidrológica, por el desarrollo de infraestructura vial, se ha fraccionado en microcuencas, estas a su vez, se encuentra subdividida en nanocuencas. A partir del análisis topográfico de las coberturas LiDAR, se definieron en nueve nanocuencas la microcuenca denominada Reserva Mazaltepec (Figura 4), misma que a continuación se presentan con sus características en la tabla 3:

Tabla 3. Características místicas de las nanocuencas que integran la microcuenca denominada Mazaltepec, en el Distrito XIII de la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

NANO CUENCA	ÁREA (Ha)	COTA SUPERIOR (m)	COTA INFERIOR (m)	LONGITUD ESCURRIMIENTO (m)	PENDIENTE	PENDIENTE AL MILLAR
1	21.70	6.50	6.00	830.00	0.0006	0.6
2	61.54	6.00	5.30	1,100.00	0.0006	0.6
3	134.64	7.80	6.00	2,170.00	0.0008	0.8
4	246.79	6.40	5.00	2,259.00	0.0006	0.6
5	104.90	7.00	5.50	1,768.00	0.0008	0.8
6	29.55	6.45	6.00	765.00	0.0006	0.6
7	47.12	6.50	6.00	850.00	0.0006	0.6
8	64.31	5.5	4.5	1,683.00	0.0006	0.6
9	137.83	5.8	4.5	2,035.00	0.0006	0.6
TOTAL	848.38					

A partir de esta información, se realizaron los cálculos de captación pluvial y el balance de agua dentro de cada una de ellas, posteriormente se define el funcionamiento hidráulico de las nanocuenas, inicialmente en un ambiente rural (Imagen 2003) y posteriormente la valoración de la infraestructura desarrollada en la zona, con base en ello, determinar las modificaciones para definir las estrategias y minimizar los efectos sobre el sistema hidráulico superficial.

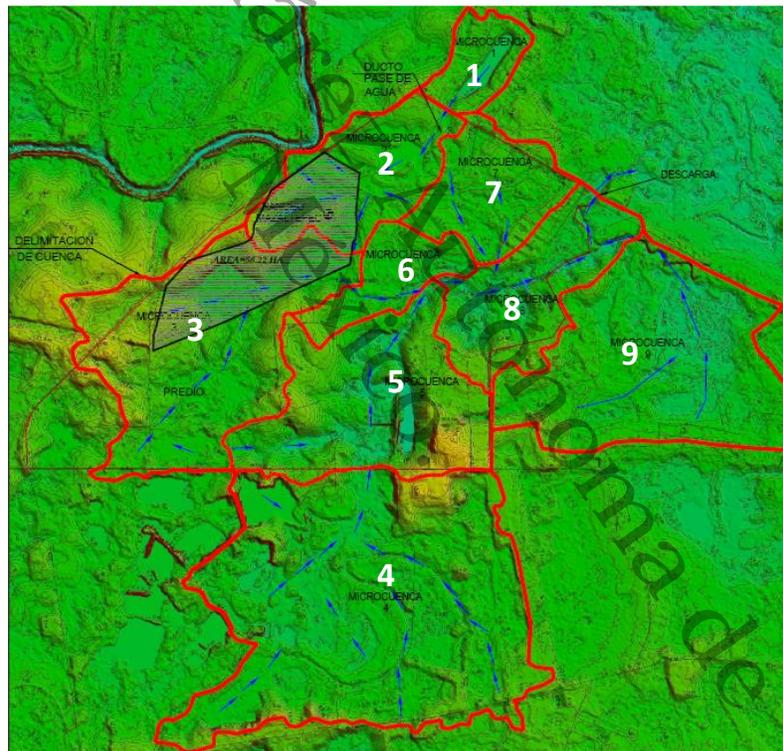


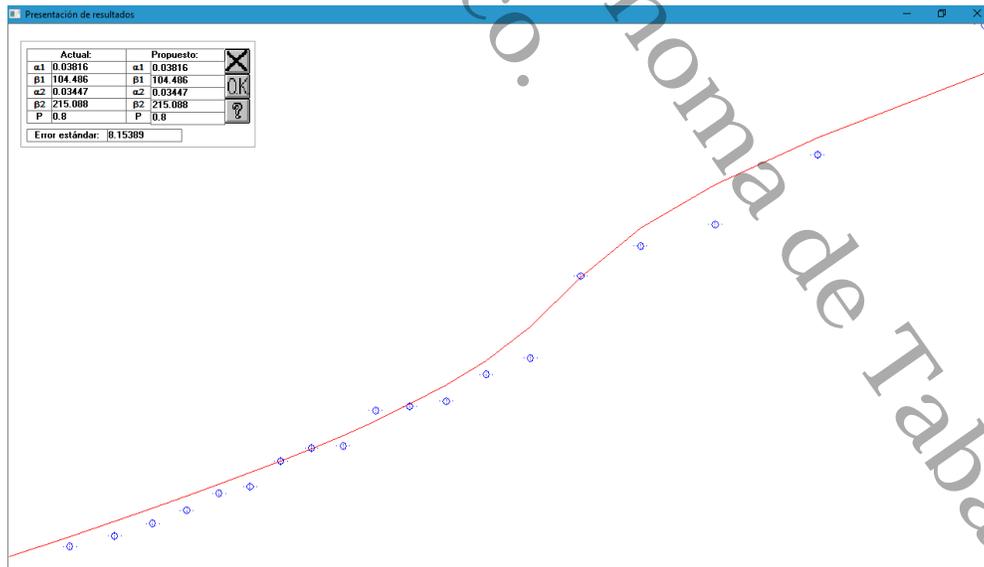
Figura 4. Determinación y ubicación de las nanocuenas de aportación definidas en la microcuenca Mazaltepec, en Villahermosa, Tabasco.

El comportamiento probabilístico de la información de la precipitación pluvial del área se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de errores estándar de los cálculos de los modelos de distribución de la información pluvial analizada

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	16.942		16.942	
Lognormal	11.575	11.700	13.802	16.250
Gumbel	11.407		15.258	
Exponencial	11.835		61.032	
Gamma	12.291	10.989	14.597	9.278
Doble Gumbel	8.154			
Mínimo error estándar: 8.154				
Calculado por la función: Doble Gumbel				

Con base en los resultados obtenidos en los modelos de distribución estadística, el modelo que mejor describe la precipitación pluvial en el área de análisis correspondió a una distribución *Doble Gumbel*, mismo que se muestra en la siguiente gráfica 4:



Grafica 4. Distribución de frecuencia de la información pluvial obtenida y ajustada al modelo doble Gumbel. (Línea roja ajuste del modelo, círculo valores de frecuencia)



La información recopilada de la estación #27054 Villahermosa (DGE) se analizó ajustándola a las distribuciones de probabilidad que se recomienda utilizar cuando se estudian registros de lluvias; se aplicaron seis distribuciones cuyos resultados se revisaron mediante la aplicación de una prueba de momentos de máxima verosimilitud para determinar a cual se adaptan mejor los valores reales, teniéndose los resultados que se adjuntan en la tabla.

Tabla 5. Valores obtenidos de ERRORES ESTÁNDAR en los cálculos del ajuste del modelo de probabilidad

i	Tr	Dato	Calculado	Error ^2	
1	21.00	272.20	254.72	305.42	
2	10.50	224.40	230.57	30.03	
3	7.00	190.90	213.50	213.04	
4	5.25	191.00	197.50	43.27	
5	4.20	100.00	179.39	0.30	
6	3.50	150.00	161.44	130.9	
7	3.00	144.00	149.09	25.9	
8	2.63	134.20	140.15	35.44	
9	2.33	132.30	133.03	0.54	
10	2.10	130.00	127.01	14.4	
11	1.91	117.00	121.69	15.1	
12	1.75	117.00	116.04	0.03	
13	1.62	112.20	112.31	0.01	
14	1.50	102.90	107.97	25.73	
15	1.40	100.50	103.72	10.30	
16	1.31	94.30	99.45	26.51	
17	1.24	09.50	95.02	30.46	
18	1.17	04.90	90.23	20.42	
19	1.11	01.00	04.69	13.63	
20	1.05	71.00	77.30	39.72	
Parámetros estadísticos de la muestra:					
$\mu = 136.445$ $\sigma = 52-795$ $\gamma = 1.111$ $\kappa = 4.194$					
Parámetros de la función Doble Gumbel					
Parámetro	Alfa 1	Beta 1	Alfa 2	Beta 2	p
Valor	0.038156	104.4864	0.034466	215.0883	0.08
Error estándar = 8.154					



En la Tabla 6 se presentan los resultados que se obtuvieron las precipitaciones pluviales potenciales con el análisis de los periodos de retorno (Tr) en el periodo de 2 hasta 10,000 años, así como la intensidad de precipitación en mm/hr.

Tabla 6. Valores obtenidos de Tiempo de Retorno (Tr) de la información de precipitaciones pluviales de la estación climatológica analizada

No.	Tr (Años)	Dato calculado
1	2	124.27
2	5	194.21
3	10	228.69
4	20	253.13
5	50	281.82
6	100	302.53
7	200	322.91
8	500	349.64
9	1,000	369.67
10	2,000	389.69
11	5,000	416.81
12	10,000	453.73

Curvas intensidad-duración-frecuencia

Partiendo de la ecuación propuesta en el método de Cheng-Lung Chen $I_d^{Tr} = \frac{\alpha_{Tr}}{(D + b)^c}$, empleando

los rangos de validez siguiente:



$$5 \leq D \leq 1440$$

$$5 \leq Tr \leq 100$$

Los resultados obtenidos se consignan en la tabla 7.

Tabla 7. Valores de lluvia máxima y duración con base en el Tiempo de Retorno (Tr) dentro del modelo probabilístico de las precipitaciones pluviales potenciales

Tr	LLUVIA MAXIMA DIARIA (mm) (METODOS PROBABILISTICOS)		P_{24}^{Tr}	Pdiaria*1.13 = P24hrs (mm) (LLUVIA 24 HRS DE DURACION)
10	P_1^{10}	228.69	P_{24}^{10}	258.42
20	P_1^{20}	253.13	P_{24}^{20}	286.04
50	P_1^{50}	281.82	P_{24}^{50}	318.46
100	P_1^{100}	302.53	P_{24}^{100}	341.86

Con base en la información presentada, se espera una precipitación diaria de 228.69 mm en un periodo de retorno de 10 años empleando los métodos probabilísticos y casi 20 mm más en el cálculo de acuerdo a la fórmula propuesta por Cheng-Lung Chen. Esta diferencia crece exponencialmente al momento de emplear el periodo de retorno a 100 años.

$$R = \frac{P_{1Tr}}{P_{24Tr}}$$

Posteriormente se calculó el factor $R = \frac{P_{1Tr}}{P_{24Tr}}$ para determinar la intensidad de la precipitación y el

$$F = \frac{P_{24^{100}}}{P_{24^{10}}}, \text{ obteniendo los siguientes resultados para los diferentes } Tr :$$



Tabla 8. Valores curvas de isoyetas de intensidad de precipitación con base en el Tiempo de Retorno (Tr)

	P_1^T (mm/h)	Tr	FACTOR R	FACTOR F
P_1^{10}	85	10.00	0.3289	1.3229
P_1^{20}	96	20.00	0.3356	
P_1^{50}	110	50.00	0.3846	
P_1^{100}	120	100.00	0.3768	
			0.3565	

Con base en la R, se determinan las ecuaciones a, b y c de las formulas modificadas, obteniendo los siguientes resultados:

$$a = 21.03453 - 186.4683 * R + 825.4915 * R^2 - 1084.846 * R^3 + 524.06 * R^4$$

$$b = 3.487775 - 68.13976 * R + 389.4625 * R^2 - 612.4041 * R^3 + 315.8721 * R^4$$

$$c = 0.2677553 + 0.9481759 * R + 2.109415 * R^2 - 4.827012 * R^3 + 2.459584 * R^4$$

$R_{promedio}$	P_1^{10}	F	a	b	c
0.3565	85.00	1.3229	18.783	6.048	0.695

A partir de estos valores se calcula la intensidad de precipitación pluvial de la estación meteorológica evaluada, obteniendo los siguientes resultados:



Tabla 9. Valores de intensidad de la precipitación (mm/hr) estación Villahermosa (DGE)

Tr (AÑOS)	DURACIÓN (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	180	240	1,440.
2	232.88	179.67	148.81	128.32	102.39	80.40	67.22	55.93	48.37	42.90	32.73	26.95	7.87
5	271.53	209.48	173.50	149.61	119.38	93.74	78.37	65.21	56.403	50.02	38.16	31.42	9.18
10	300.76	232.04	192.18	165.72	132.23	103.8	86.81	72.24	62.475	55.40	42.27	34.81	10.16
20	329.99	254.59	210.86	181.83	145.08	113.99	95.25	79.26	68.548	60.79	46.38	38.19	11.15
25	339.40	261.85	216.87	187.02	149.22	117.17	97.97	81.52	70.503	62.52	47.70	39.28	11.47
50	368.64	284.40	235.55	203.12	162.07	127.27	106.41	88.54	76.575	67.91	51.81	42.66	12.46
100	397.87	306.96	254.23	219.23	174.93	137.36	114.84	95.56	82.648	73.29	55.92	46.05	13.45
200	427.11	329.51	272.91	235.34	187.78	147.45	123.28	102.58	88.72	78.68	60.03	49.43	14.44
1000	494.98	381.88	316.28	272.74	217.62	170.89	142.8	118.89	102.82	91.18	69.57	57.29	16.73

Adicionalmente se calcula la altura de estas precipitaciones (Tabla 10):

Tabla 10. Valores altura de la precipitación (mm) estación Villahermosa (dge)

Tr (AÑOS)	DURACIÓN (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	180	240	1440
2	19.4	29.95	37.20	42.77	51.20	60.30	67.22	74.58	80.63	85.81	98.20	107.82	188.96
5	22.6	34.91	43.38	49.87	59.69	70.31	78.38	86.96	94.00	100.04	114.50	125.71	220.32
10	25.0	38.67	48.05	55.24	66.12	77.88	86.82	96.32	104.13	110.82	126.82	139.25	244.04
20	27.5	42.43	52.72	60.61	72.54	85.45	95.26	105.68	114.25	121.59	139.15	152.78	267.76
25	28.2	43.64	54.22	62.34	74.61	87.88	97.97	108.70	117.50	125.05	143.12	157.14	275.40
50	30.7	47.40	58.89	67.71	81.04	95.45	106.41	118.06	127.63	135.82	155.44	170.67	299.12
100	33.1	51.16	63.56	73.08	87.46	103.02	114.85	127.42	137.75	146.60	167.77	184.21	322.84
200	35.5	54.92	68.23	78.45	93.89	110.59	123.29	136.78	147.87	157.37	180.10	197.74	346.56
1000	41.2	63.65	79.07	90.92	108.81	128.17	142.88	158.52	171.37	182.38	208.72	229.16	401.63

Al comparar los resultados con otros trabajos relacionados en el Estado, encontramos los siguientes valores (Tabla 11):



Tabla 11 Parámetros de las seis curvas IDF estimadas con la fórmula de Cken, según el procedimiento regional desarrollado.

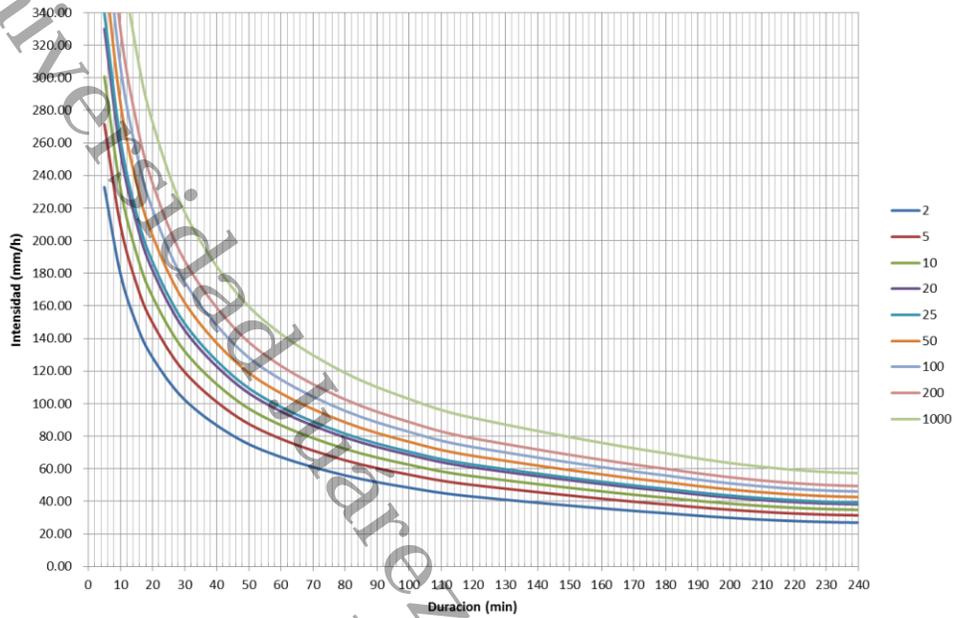
Estación pluviométrica	FDP para estimar P_{D}^{Tr}	Ec. para estimar P_{h}^{Tr}	P_1^{10} (mm)	R_{adop}	F	a	b	c
Villahermosa	LOG	(1)	76.8	0.330	1,4466	16,554	5.102	0.664
Pueblo Nuevo	GVE	(2)	85.1	0.390	1,5194	21,643	7.139	0.728
Boca del Cerro	LP3	(3)	85.2	0.425	1.3862	24.958	8.333	0.764
Jalpa de Méndez	LP3	(1)	75.0	0.340	1.3093	17,339	5.435	0.675
Dos Patrias	GVE	(2)	103.8	0.360	1.3998	18.988	6.111	0.696
Teapa	LOG	(3)	105.4	0.421	1,4184	24,570	8.199	0.760
27054 Villahermosa (GDE)	Doble Gumbel		85.00	0.3565	1.3229	18.783	6.048	0.695

Función de distribución de probabilidades; LOG, logística generalizada; GVE, general de valores extremos; LP3, Log-Pearson tipo III

Fuente: Daniel F. Campos- Aranda

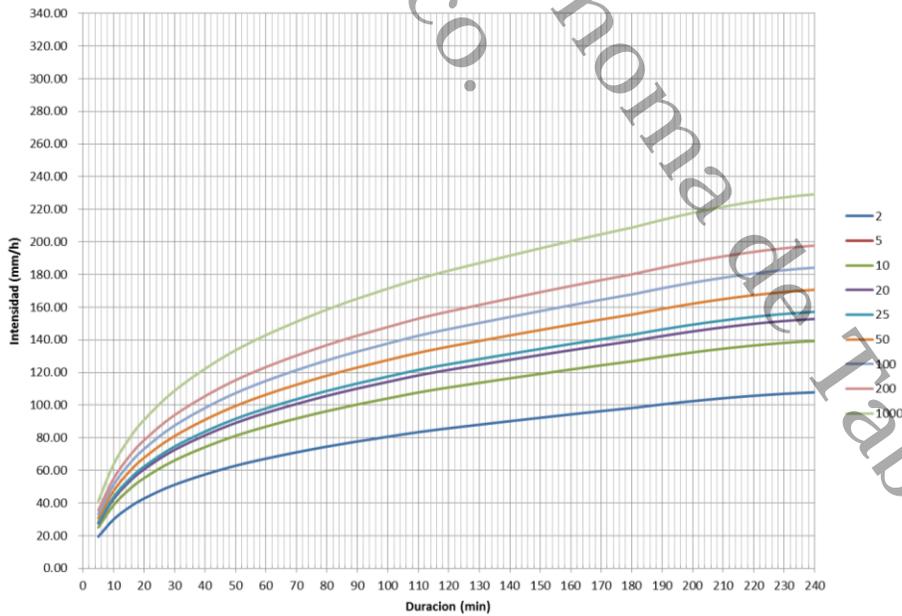
Como se observa en la tabla anterior, los valores obtenidos con el modelo Doble Gumbel, se aproxima a los calculados con otros modelos a las diferentes estaciones del Estado.

Con base en la información obtenida hasta el momento, se calculan las curvas de Intensidad-Duración y Periodo de retorno para la estación meteorológica seleccionada para la valoración de las precipitaciones potenciales (Grafica 4).



Grafica 4. Curvas de los periodos de retorno de la precipitación pluvial (mm) de la duración e intensidad por años valorados.

Así como las alturas de precipitación (Grafica 5):



Grafica 5. Curvas de los periodos de retorno con relación a la altura de la precipitación pluvial (mm) de la duración e intensidad por años valorados.



Toda vez estimado la Intensidad, Duración, Frecuencia, a diferentes de tiempos de retorno (Tr), se procede al cálculo del comportamiento de la precipitación dentro de las nanocuenas de acuerdo a sus condiciones.

Con base en estos cálculos, se realizó el cálculo del Coeficiente de escurrimiento con la corrección A y B, mismas que se consignan a continuación:

N	CORRECCIÓN	
	"A"	"B"
0	0	0
10	4	22
20	9	37
30	15	50
40	22	60
50	31	70
60	40	78
70	51	85
80	63	91
90	78	96
100	100	100

Otro parámetro a considerar es la *Infiltración* por lo cual se introducen los valores propuestos en la tabla de siguiente para mejorar la precisión.



Tabla 11 Valores empleados en la estimación de la infiltración en las nanocuenas que integran la microcuenca denominada Mazaltepec, en Villahermosa, Tabasco.

Uso de la tierra y Cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno,		TIPO DE SUELO			
		en	%	A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	—		77	86	91	94
cultivos en zurco	Surcos rectos	>	1	72	81	88	91
	Surcos rectos	<	1	67	78	85	89
	Contorneo	>	1	70	79	84	88
	Contorneo	<	1	65	75	82	86
	Terrazas	>	1	66	74	80	82
	Terrazas	<	1	62	71	78	81
Pastizales		>	1	68	79	86	89
Pastizales		<	1	39	61	74	80
Pradera permanente		<	1	30	58	71	78
Bosques Naturales							
Muy ralo				56	75	86	91
ralo				46	68	78	84
normal				36	60	70	77
espeso				26	52	62	69
muy espeso				15	44	54	61
Caminos							
De terracería				72	82	87	89
Con superficie dura				74	84	90	92
TIPO DE SUELO	TEXTURA DEL SUELO						
A	Arenas con poco limo y arcilla; suelos muy permeables						
B	Arenas finas y limos						
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenidos de arcilla						
D	Arcilla en grandes cantidades; suelos poco profundos con sub horizontes de roca sana; suelos muy impermeables						



Con estas correcciones se evaluó el factor de Ecurrimiento por cada nanocuenca, que se presentan a continuación:

Resumen de resultados de los parámetros de escurrimiento de las nanocuenca del área conocida como RESERVA MAZALTEPEC, en el municipio del Centro, Tabasco ($T_r = 100$ años)										
N A N O C U E N C A S										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ÁREA DE LA NANOCUENCA (Ha)		21.70	61.54	134.64	246.79	104.90	29.55	47.12	64.31	137.83
PASTIZALES (%)		70	70	70	70	70	70	70	70	70
BOSQUES RALOS (%)		30	30	30	30	30	30	30	30	30
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%.)		C	C	C	C	C	C	C	C	C
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA TORMENTA CON DURACIÓN DE:	Tc=	1.03 hr 61.89'	1.25 hr 75.58'	1.99 hr 119.82	2.24 hr 134.86'	1.67 hr 100.17'	0.97 hr 58.54'	1.05 hr 63.46'	1.77 hr 106.70'	2.06 hr 123.66'
Hp de diseño (mm)	Hp=	116.17	124.85	146.52	152.48	137.83	113.81	117.24	140.85	148.09
intensidad de la precipitación (mm/h)	Ip=	112.61	99.12	73.37	67.83	82.55	116.64	110.84	79.20	71.85
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR (Lluvia 5 días anteriores en mm)	LL₅ =	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00
SOLUCION:										
DE ACUERDO CON LA TABLA DE SUELO ES:										
LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3	TIPO	C	C	C	C	C	C	C	C	C
PASTIZALES (viene en la tabla)	N₇₀	74	74	74	74	74	74	74	74	74
BOSQUES RALOS (viene en la tabla)	N₃₀	78	78	78	78	78	78	78	78	78
VALOR DE N MEDIO:										
SE CALCULA REDONDEANDO	Ñ	75.20	75.20	75.20	75.20	75.20	75.20	75.20	75.20	75.20
DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:										
EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE (>5.0 cm)	LL₅=	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
SEGÚN CORRECCIÓN "B"										
PARA (corrección)	N									
ANTERIOR	70	85	85	85	85	85	85	85	85	85
POSTERIOR	80	91	91	91	91	91	91	91	91	91
DIFERENCIA	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6
A UNITARIO	0.6									
	N corregido=	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12
datos:										
Hp de diseño (mm)		116.17	124.88	146.52	152.48	137.83	113.81	117.24	140.85	148.09
Hp de diseño (cm)		11.62	12.49	14.65	15.25	13.78	11.38	11.72	14.09	14.81
$Pe = [P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$										
NUMERADOR										



Resumen de resultados de los parámetros de escurrimiento de las nanocuenas del área conocida como RESERVA MAZALTEPEC, en el municipio del Centro, Tabasco ($Tr = 100$ años)

		N A N O C U E N C A S								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1ER TERMINO= P		11.62	12.49	14.65	15.25	13.78	11.38	11.72	14.09	14.81
2DO TERMINO= 508/N		5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76
3ER TÉRMINO		5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
numerador ²		119.51	139.31	195.08	212.08	171.56	114.41	121.86	179.56	199.49
DENOMINADOR										
1ER TERMINO= P		11.62	12.49	12.49	12.49	12.49	12.49	12.49	12.49	12.49
2DO TERMINO=2032/N		23.06	23.06	23.06	23.06	23.06	23.06	23.06	23.06	23.06
TERCER TERMINO		-20.32	-20.32	-20.32	-20.32	-20.32	-20.32	-20.32	-20.32	-20.32
denominador =		14.36	15.23	17.39	17.99	16.52	14.12	14.46	16.82	17.55
COCIENTE (cm)	Pe =	8.32	9.15	11.22	11.79	10.38	8.10	8.43	10.67	11.37
el coeficiente de escurrimiento es:										
Cesc [volumen de escurrimiento directo (Ved)/ volumen llovido(VII)]										
Cesc = Pe*Ac/P*Ac = Pe/P										
Cesc		0.72	0.74	0.77	0.77	0.75	0.71	0.72	0.76	0.77

El período de retorno o intervalo de recurrencia (en años), se define como el número de años en que en promedio, se presenta un evento y se calcula como:

$$T_r = \frac{1}{P(x)}$$

Donde $P(x)$ representa la probabilidad de ocurrencia de un evento mayor o igual a x . El período de retorno no es un intervalo fijo de ocurrencia de un evento, sino el promedio de los intervalos de recurrencia.

La ecuación anterior y varias de las expresiones básicas de probabilidad permiten hacer las deducciones siguientes:

- 1) La probabilidad de que un evento $X \geq x$ ocurra en algún año es



$$P(x) = \frac{1}{T_r}$$

2) La probabilidad de que un evento x no ocurra en algún año

$$Q(x) = 1 - P(x) = 1 - \frac{1}{T_r}$$

3) La probabilidad de que x no ocurra durante n años sucesivos:

$$Q_1(x) \times Q_2(x) \times \dots \times Q_n(x) = \{Q(x)\}^n = \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

4) La probabilidad R , llamada riesgo, de que x ocurra al menos una vez durante n años sucesivos o vida útil es:

$$R = 1 - \{Q(x)\}^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

En hidrología, normalmente se prefiere trabajar con periodos de retorno en lugar de probabilidades, pues es un concepto que resulta fácil de manejar ya que tiene las mismas unidades (tiempo) que la vida útil de la obra.



Los resultados del tiempo de concentración (T_c) de agua en la nanocuenca se encontraron los siguientes tiempos de acuerdo a las características de la morfología de las cuencas de acuerdo a las fórmulas de *California Highways and Public Works*, *Kirpich*, *Temez* y *U.S. Corps of Engineers*

Nanocuenca	Características	Tiempo de concentración (T_c)	
1	A= 0.217 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	0.998
	21.70 Ha	KIRPICH	0.998
	Lc= 0.830 Km	TEMEZ	1.065
	H= 0.500 m	U.S. CORPS OF ENGINEERS	1.065
	0.0005 km	Promedio	1.032 Hr
2	A= 0.615 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	1.214
	61.54 Ha	KIRPICH	1.213
	Lc= 1.100 Km	TEMEZ	1.306
	H= 0.700 m	U.S. CORPS OF ENGINEERS	1.306
	0.0007 km	Promedio	1.260 Hr
3	A= 1.346 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	1.891
	134.64 Ha	KIRPICH	1.890
	Lc= 2.170 Km	TEMEZ	2.104
	H= 1.700 m	U.S. CORPS OF ENGINEERS	2.104
	0.0017 km	Promedio	1.997 Hr
4	A= 2.468 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	2.197
	246.79 Ha	KIRPICH	2.195
	Lc= 2.259 Km	TEMEZ	2.300
	H= 1.300 m	U.S. CORPS OF ENGINEERS	2.300
	0.0013 km	Promedio	2.248 Hr
S= 0.0006			



Nanocuenca	Características	Tiempo de concentración (Tc)	
5	A= 1.049 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	1.566
	104.90 Ha	KIRPICH	1.565
	Lc= 1.768 Km	TEMEZ	2.773
	H= 1.500 m	U.S. CORPS OF ENGENIEERS	1.773
	0.0015 km		
	S= 0.0008	Promedio	1.670 Hr
6	A= 0.296 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	0.946
	29.55 Ha	KIRPICH	0.945
	Lc= 0.765 Km	TEMEZ	1.006
	H= 0.450 m	U.S. CORPS OF ENGENIEERS	1.006
	0.0005 km		
	S= 0.0006	Promedio	0.976 Hr
7	A= 0.471 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	1.026
	47.12 Ha	KIRPICH	1.025
	Lc= 0.850 Km	TEMEZ	1.090
	H= 0.500 m	U.S. CORPS OF ENGENIEERS	1.090
	0.0005 km		
	S= 0.0006	Promedio	1.058 Hr
8	A= 0.643 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	1.730
	64.31 Ha	KIRPICH	1.728
	Lc= 1.683 Km	TEMEZ	2.828
	H= 1.000 m	U.S. CORPS OF ENGENIEERS	1.828
	0.0010 km		
	S= 0.0006	Promedio	1.778 Hr
9	A= 1.378 Km ²	CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS	2.009
	137.83 Ha	KIRPICH	2.007
	Lc= 2.035 Km	TEMEZ	2.115
	H= 1.20 m	U.S. CORPS OF ENGENIEERS	2.115
	0.0012 km		
	S= 0.0006	Promedio	2.061 Hr



Los Gastos hidrológicos de las nanocuencas se presenta en la tabla siguiente, donde se estima un total de captura de agua pluvial y escurrimiento de la microcuenca Mazaltepec un total de 141.06 m³/s, que es enviado hacia el distrito XII (Zona conurbada con Nacajuca Tab.

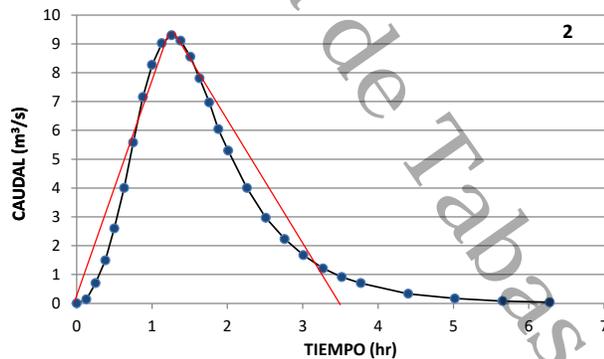
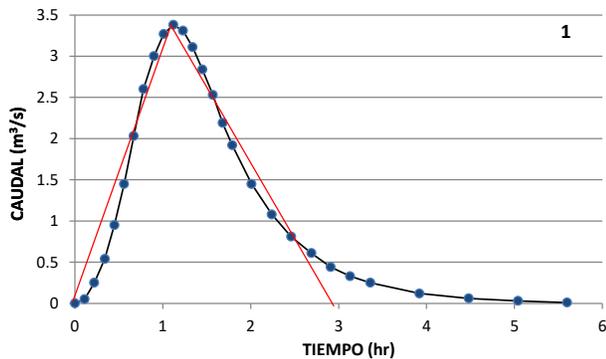
Resumen de resultados de los gastos de las nanocuencas del área conocida como RESERVA MAZALTEPEC, en el municipio del Centro, Tabasco (Tr = 100 años)

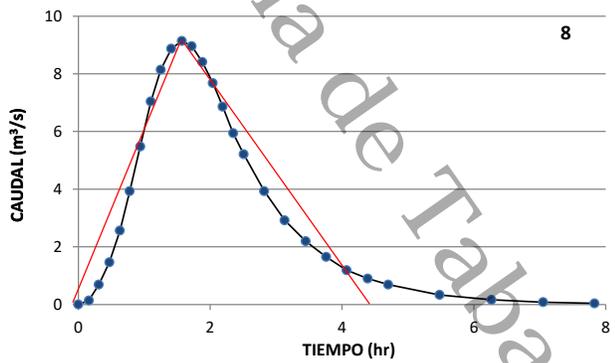
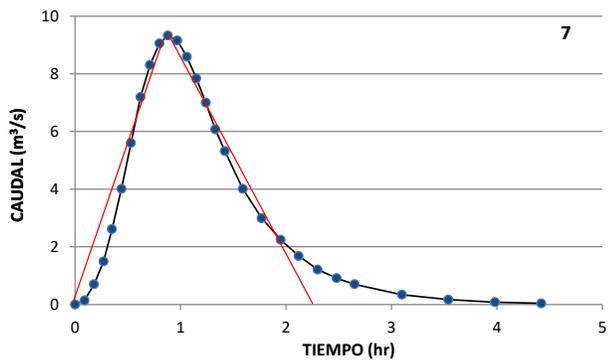
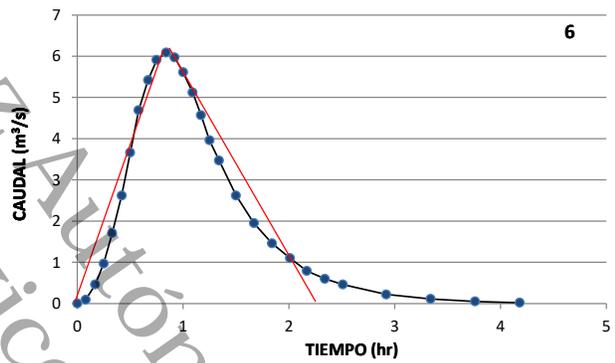
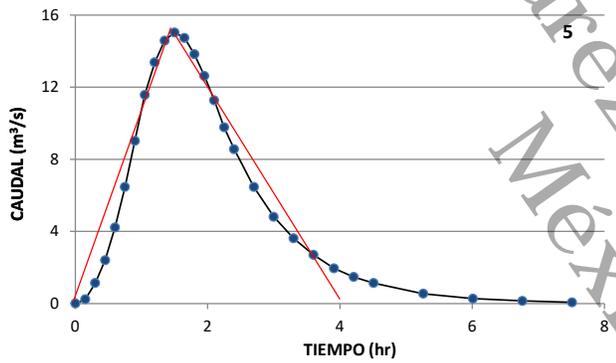
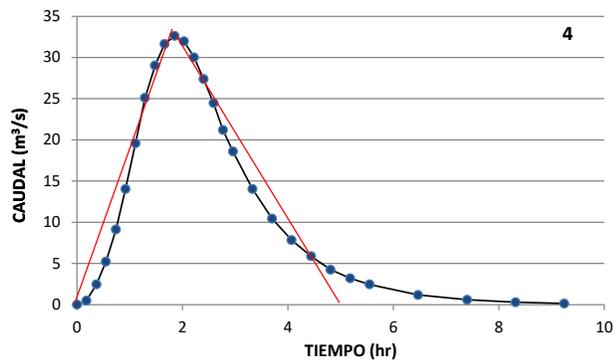
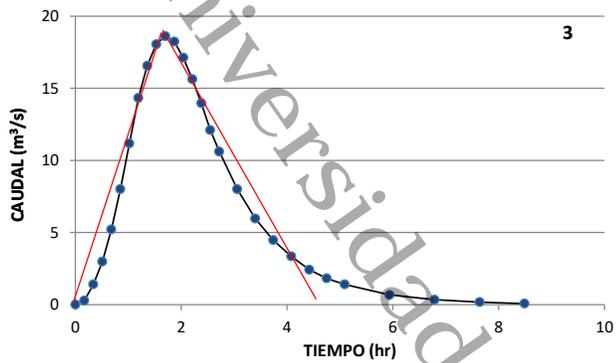
	NANOCUENCAS								
$Q = 2.778 * Cesc * I * A$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cesc	0.72	0.74	0.77	0.77	0.75	0.71	0.72	0.76	0.77
Duración (min)	61.90	75.59	119.12	134.87	100.17	58.55	63.46	106.70	123.66
I (mm/H)	112.61	99.13	73.37	67.83	82.56	116.64	110.84	79.20	71.85
A (Ha)	21.70	61.54	134.64	246.79	104.90	29.55	47.12	64.31	137.83
Q (m ³ /s)	4.86	12.42	21.01	35.56	18.12	6.82	10.43	10.72	21.12
Q total de microcuenca	141.06 m³/s								

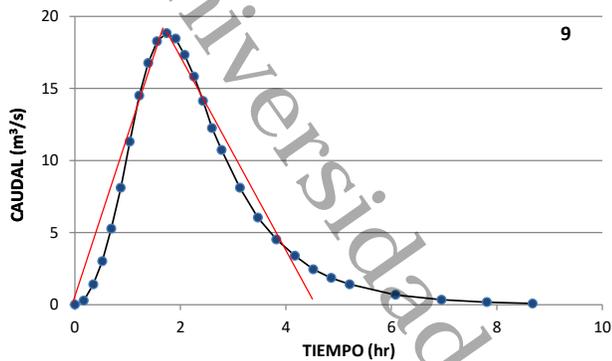
Los resultados del Hidrograma Empírico Triangular (HET), se presenta a continuación dando un total de 144.02 m³/s. de captura pluvial de la microcuenca Mazaltepec.



Resumen de resultados de los gastos de las nanocuenas del área conocida como RESERVA MAZALTEPEC, en el municipio del Centro, Tabasco ($Tr = 100$ años)									
	N A N O C U E N C A S								
$Q = 2.778 * Cesc * I * A$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pendiente (S)	0.0006	0.0006	0.0008	0.0006	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
Área de la cuenca (A) Km ²	0.22	0.62	1.35	2.47	1.05	0.30	0.47	0.64	1.38
Longitud de cauce principal (L) m	830.0	1,100.0	2,170.0	2,259.0	1,768.0	765.0	850.0	1,683.0	2,035.5
Pendiente de la cuenca (Sc)	0.0006	0.0006	0.0008	0.0006	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
Numero de escurrimiento (N)	88	88	88	88	88	88	88	88	88
Vegetación dominante		Áreas verdes	Pastizal	Pastizal	Pastizal	Pastizal	Pastizal	Pastizal	Pastizal
Tiempo de concentración =	$0.000325 * L^{0.77} / S^{0.387}$								
TC (Hr)	1.00	1.24	1.88	2.16	1.60	0.94	1.02	1.72	2.00
De las curvas de IDT									
Precipitación para $d=TC$ (mm)	114.85	124.25	143.45	150.49	135.89	112.21	115.63	139.34	146.48
PE (Precipitación en exceso) =	$[p - (5080/N) + 50.80]^2 / [P + (20320/N) - 203.2]$								
PE (mm)	81.70	90.58	108.90	115.66	101.66	79.22	82.44	104.96	111.80
Volumen de escurrimiento directo	$= Pe * A$								
Ve (m ³)	17,729.26	55,743.61	146,616.90	285,433.85	106,640.71	23,409.64	38,843.78	67,498.46	154,098.87
Obtención de Tre									
Debido a que el área es <500 Km ²	$X = 1.00$								
Tre = $X * Tc$ (seg)	3,599.88	4,471.67	6,754.14	7,782.39	5,768.43	3,380.78	3,666.49	6,204.15	7,182.45
Ve = $Qpico * Tbase / 2$									
(Tc + Tr) [seg]	7,199.76	8,943.35	13,508.28	15,564.78	11,536.86	6,761.56	7,332.97	12,408.30	14,364.90
Qmax = $2 * Ve / (Tc + Tr)$ (m ³ /s)	4.92	12.47	21.71	36.68	18.49	6.92	10.50	10.88	21.45
Q total de microcuenca	144.02								







A continuación se presenta un resumen de gastos de salida de las nanocuenas de acuerdo a los cálculos realizados.

		ÁREA (Ha)	GASTO (Q) m ³ /s			
			USA SCS CON N	CENAPRED HET	THU	PROMEDIO
NANOCUENCA	1	21.70	4.86	4.92	3.38	4.39
	2	61.54	12.42	12.47	9.30	11.39
	3	134.64	21.01	21.71	18.61	20.44
	4	246.79	35.96	36.68	32.61	35.08
	5	104.9	18.12	18.49	15.03	17.21
	6	29.55	6.82	6.92	6.09	6.61
	7	47.12	10.43	10.59	9.33	10.12
	8	64.31	10.72	10.88	9.14	10.25
	9	137.83	21.12	21.45	18.83	20.47
TOTAL		848.38	141.46	144.11	122.32	135.96

Como puede observarse el gasto esperado máximo es, considerando el promedio de cada nanocuenca y con los tres sistemas empleados para la estimación de captura/aportes de cada una, es de $135.96 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto es considerando la totalidad de la cuenca y el escenario natural sin desarrollo de infraestructura (Escenario rural).

De esta manera, considerando la microcuenca, cuenta con un canal que conecta las nanocuecnas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, posteriormente, las nanocuecnas 8 y 9 se conectan para en un solo canal salir a la microcuenca ubicada al NE (Correspondiente al Distrito XII (Saloya - Zona conurbada Nacajuca) como se muestra en la siguiente imagen.

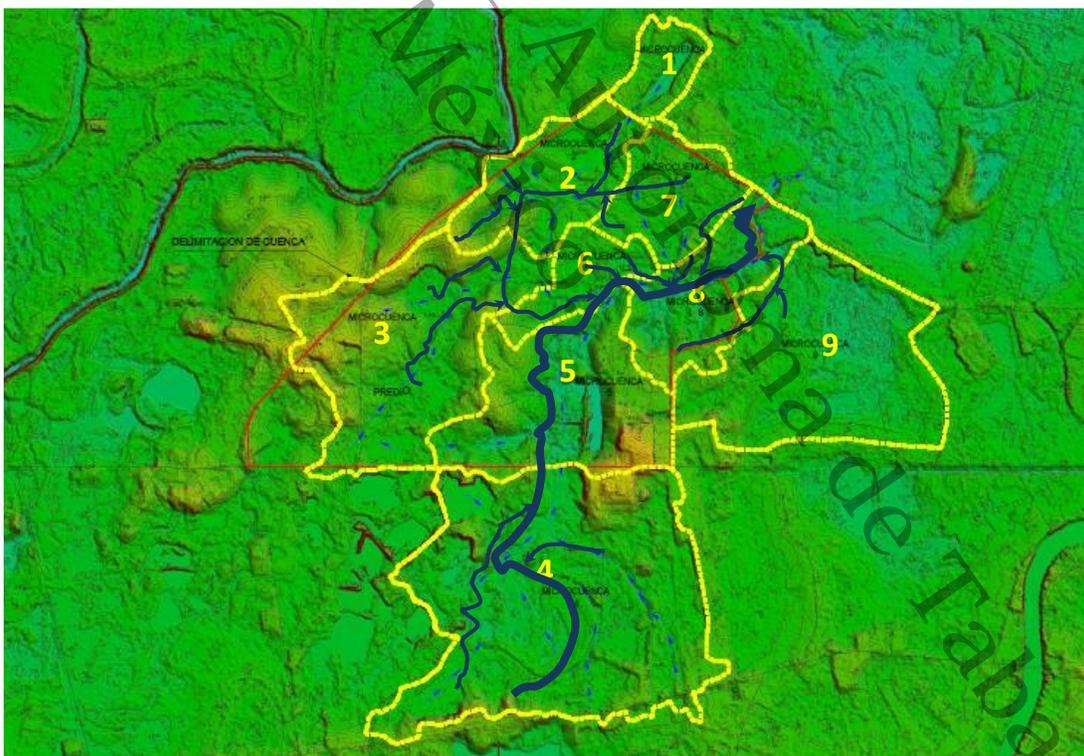


Figura 5.- Delimitación de las nanocuecnas y sentidos de los escurrimientos identificados en la microcuenca Mazaltepec, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

Análisis del escenario actual al mes de mayo de 2016

SEGUNDO ESCENARIO (Investigación del sitio para identificar obras existentes).

En la imagen siguiente se muestra la situación actual en relación con los desarrollos existentes y que han modificado el sentido de los escurrimientos.



Figura 6.- Escurrimiento pluvial natural por medio de drenes de la microcuenca Mazaltepec, Villahermosa, Centro, Tabasco.

Como se observa *in situ* se encuentra un ducto de concreto rectangular a medio construir que de acuerdo a los sellos fuera cancelado por la CONAGUA en las coordenadas 500,623.29; 1'991,212.93 y 500,644.24; 1'991,163.64, es de entenderse que con este ducto (Imagen 1) la empresa propietaria del desarrollo

inmobiliario “Valle del Jaguar” pretendió devolver el sentido del escurrimiento inicial debido a la construcción de la vialidad de ingreso al fraccionamiento que ocasiono una retención de agua que se refleja en los predios localizados aguas arriba, sin embargo, al no concluirlo se manifiesta ahí una retención.



Figura 7. Ducto Pluvial clausurado por CONAGUA ubicado en el Fraccionamiento en construcción “Valle del Jaguar”, en la microcuenca Mazaltepec Distrito XII (Loma de Caballo). Dimensiones interiores 4.00 de ancho y 1.10 de altura

Con base con el patrón hidrológico superficial del área de la microcuenca, las áreas afectadas por la retención de agua y como compensación se construyó el ducto de concreto y de la alcantarilla instalada entre las coordenadas 500,736.06;1’991,160.36 y 500,760.90; 1’991,148.95 inmediatamente después en la trayectoria del dren.



Figura 8. Ducto Pluvial clausurado ubicado en el Fraccionamiento en construcción “Valle del Jaguar”, en la microcuenca Mazaltepec Distrito XII (Loma de Caballo). Dimensiones interiores 1.60 de diámetro.

Las nanocuenca 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se verán afectadas por la retención de agua provocada por la construcción de infraestructura sin considerar las condiciones hidráulicas de la microcuenca cuyo gasto a considerar en estas obras debe ser de $105.24 \text{ m}^3/\text{s}$ y se consigna los gastos de las nanocuenca que debe pasar por la zona mostrada.



GASTOS DE SALIDA	ÁREA (Ha)	GASTO (Q) m ³ /s				
		USA SCS CON N	CENAPRED HET	THU	RESUMEN	
MICROCUCIENCA	1	21.70	4.86	4.92	3.38	4.39
	2	61.54	12.42	12.47	9.30	11.39
	3	134.64	21.01	21.71	18.61	20.44
	4	246.79	35.96	36.68	32.61	35.08
	5	104.9	18.12	18.49	15.03	17.21
	6	29.55	6.82	6.92	6.09	6.61
	7	47.12	10.43	10.59	9.33	10.12
TOTAL	646.24					105.24

De esta manera, de acuerdo con la ecuación propuesta de Chezy-Manning, se obtiene que la alcantarilla de concreto de 4.00 x 1.10 m, tiene la capacidad de conducir 14.76 m³/s, misma que queda por debajo del gasto de 105.24 m³/s que aportan las nanocucienca, lo que provocaría una retención e inundación de los terrenos que ocupan estas zonas.

ECUACIÓN CHEZY-MANNING			
CANALES NO CIRCULARES		CANALES CIRCULARES	
Profundidad del canal	1.10 m	Profundidad del flujo	1.50 m
Pendiente	0	Diámetro del canal	1.52 m
Ancho del fondo del canal	4.00 m		
Coficiente de Manning	0.015	Coficiente de Manning	0.013
Pendiente del canal	0.004	Pendiente del canal	0.0005
RESULTADOS			



ECUACIÓN CHEZY-MANNING			
CANALES NO CIRCULARES		CANALES CIRCULARES	
Caudal a conducir	14.76 m ³ /s	Caudal a conducir	1.73 m ³ /s
Velocidad del flujo	3.35 m/s	Velocidad del flujo	0.95 m/s
Área del flujo	4.40 m ²	Área del flujo	1.81 m ²
Perímetro mojado del flujo	6.20 m	Perímetro mojado del flujo	4.40 m
Radio hidráulico del flujo	0.71 m	Radio hidráulico del flujo	0.41 m
Ancho de la superficie del flujo	4.00 m	Ancho de la superficie del flujo	0.37 m
NUMERO DE FROUDE	1.022121	NUMERO DE FROUDE	0.138

De la misma forma, la alcantarilla de 1.60 m de diámetro, colocada a continuación de esta estructura, tiene una capacidad de conducción de 1.73 m³/s, de la misma manera, se encuentra por debajo del aporte de 14.76 m³/s, por lo que se agudiza la retención provocada por estas obras hidráulicas.

Con lo anterior, se demuestra que el desconocimiento del comportamiento hidráulico de la microcuenca, ocasiona cambios drásticos en el uso actual y potencial del suelo.

Otro punto de interés se localiza en la salida de la microcuenca para continuar el flujo hacia la adyacente, debido a que la construcción de la Avenida Bicentenario (Prolongación de Avenida Usumacinta) se localizan en la coordenada X=501,514.50; Y=1'991,696.10 tres alcantarillas de 60' de diámetro y son las que debieran permitir la evacuación del gasto total calculado o esperado para el periodo de retorno estudiado.



Figura 9 Ductos Pluvial ubicado en la vialidad Avenida Bicentenario (Prolongación de Paseo Usumacinta), que provoca la retención de la microcuenca Mazaltepec Distrito XIII (Loma de Caballo). Dimensiones interiores de cada tubo es de 1.60 de diámetro.

De esta manera, al multiplicar el flujo $1.73\text{m}^3/\text{s}$ da un flujo total de $5.19\text{ m}^3/\text{s}$, cantidad que se encuentra por debajo de los $135.96\text{ m}^3/\text{s}$ que capta y desaloja la microcuenca, que representa un 2.82% del total de agua captada, lo que provoca una modificación de la inundación de la microcuenca, dando por resultado un tiempo mayor de residencia del agua pluvial, quedando un escenario que se muestra en la siguiente imagen.

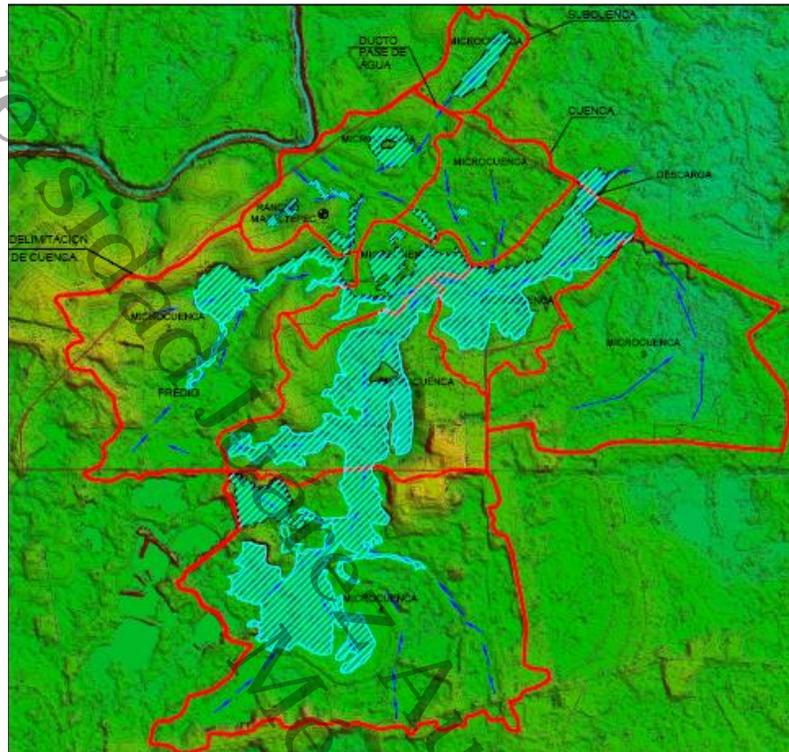


Figura 10. Escenario estimado provocado por la retención de estructuras hidráulicas insuficientes, obsérvese la pérdida potencial del 35% de suelos aproximadamente, poniendo en riesgo el mismo fraccionamiento “Valle del Jaguar”.

Propuesta de medidas para mitigar las modificaciones a la microcuenca

Una primera infraestructura ubicada que obstruye los flujos de agua pluvial son tres tubos de concretos localizados debajo de la Avenida Bicentenario. La dimensión de estos es de 1.6 m de diámetro, con los cálculos realizados, deberá sustituirse con un puente que tenga un área de 16 m de longitud y 1.6 m de alto (Puente sobre la Avenida Bicentenario), este tendría una capacidad de 130.76 m³/s que garantiza el paso del 96.17% del agua pluvial captada por la microcuenca, esto garantizaría que el flujo de agua se mantendría equilibrado y no causaría cambios significativos en los regímenes hidrológicos de la microcuenca y los costos de inversión serían moderados.



Sin embargo, es necesario definir las microcuencas adyacente y perteneces la Distrito XII (Zona conurbada Nacajuca), debido a que ese volumen de agua podrá generar cambios en esta microcuenca que ha sido modificada por diversos desarrollos urbanos. Por lo que este análisis debe prolongarse el sistema envolvente.

Por su parte la alcantarilla de concreto colocada por el desarrollo inmobiliario “Valle del Jaguar” de 4.00 x 1.10 m, con capacidad de conducir 14.76 m³/s, misma que queda por debajo del gasto de 105.24 m³/s, debe ser remplazada por una estructura de 14 x 1.5 m, lo que permite el gasto de 101.94 m³/s, que representa 96.86% del agua de lluvia captada.

Y con la finalidad de captar agua pluvial extraordinaria, y evitar vulnerabilidad a la microcuenca, se recomienda que en la nanocuenca 4 se prohíba el desarrollo de infraestructura, para que funcione como un vaso regulador natural, con el propósito de amortiguar exceso de lluvia y además sirva de reservorio de especies que se encuentran de manera natural en el área.

Fomentando en esta zona procesos de reforestación con especies nativas y reactivar los servicios ambientales que ofrecería este humedal natural.



DISCUSIÓN

El empleo de herramientas digitales han mostrado su potencial en la descripción, clasificación y evolución de modificaciones de los sistemas ambientales y permitido el manejo de los recursos naturales.

Aunque Suárez Tamayo y Molina Esquivel (2014) la emplearon para valorar y desarrollar la vocación de una zona industrial y Rojas Quezada *et al* (2008) para el desarrollo urbano, las características urbanas era diferentes a las presentadas en la planicie tabasqueña, por lo que el presente estudio se basó en el comportamiento hídrico, donde se observa desde la construcción de la prolongación del Paseo Usumacinta (Avenida Bicentenario), interrumpe los flujos superficiales formados por las precipitaciones pluviales y provoca una retención de estas que son captadas por la microcuenca denominada Mazaltepec ubicada en el Distrito XIII de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Esta modificación potencialmente podría afectar la zona industrial que se localiza al margen de la carretera Federal No. 180 en el tramo Villahermosa-Cárdenas. Esta reducción de flujos representa casi un 96.18%.

Para evitar la retención, se tendría que modificar los tres tubos de concreto de 1.60 m de diámetro por un área de 16 m de longitud y 1.6 m de alto (Puente sobre la Avenida Bicentenario), esto garantizaría que el flujo de agua se mantendría equilibrado y no causaría cambios en los regímenes hidrológicos de la microcuenca.

Por su parte, Montero (2011) propone medidas sustentables, parte del conocimiento previo de la vocación del suelo, de esta manera, como se observa a través del presente análisis hídrico, la instalación



de infraestructura hidráulica sin el conocimiento previo del comportamiento de las escorrentías superficiales ocasiona retención con modificaciones fuertes en las microcuencas, perdiendo suelo potencialmente apto para diferentes actividades, colocando un grado de vulnerabilidad las inversiones efectuadas.

Si bien cuenta con sus respectivas autorizaciones, no se realizó un diseño del fraccionamiento “Valle del Jaguar” de acuerdo a las nanocuenas, estrangulando con una alcantarilla cuadrada de 4.00 x 1.10 m en un 14.02%, por lo que se debe ser remplazada por una estructura de 14 x 1.5 m, al mismo tiempo se debe retirar la tubería de 1.60 m, permitiendo que los flujos se mantengan y evitar la inundación de las nanocuenas y reducir la vulnerabilidad de la obra que se encuentra en desarrollo.

Con estas medidas preventivas, que se visualizan con un sencillo análisis hídrico como el desarrollado en el presente trabajo, se evitan las modificaciones de las escorrentías y permite la funcionalidad natural de la topografía de la cuenca.

Como es el caso del fraccionamiento “Valle del Jaguar”, quien obstruyendo los canales naturales de escurrimiento de las nanocuenas, colocaron dos sistemas de drenaje (Rectangular de 4.00 x 1.10 m y 1.60 m de diámetro) coloca en riesgo las casas construidas y pone en riesgo la inversión de los potenciales habitantes, así como la pérdida de áreas libre de inundación con potencial para el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa.



CONCLUSIONES

Desafortunadamente el crecimiento de la frontera urbana es una actividad que cambia continuamente el paisaje, además de ser un detonador de problemas sociales por la demanda de servicios para un confort de los habitantes de los asentamientos humanos (Heinrichs, Nuissl, & Rodríguez Seeger, 2009).

Uno de los problemas de las ciudades, además de las colonización de nuevas áreas de expansión urbana, la concentración de áreas de desarrollo en áreas urbanas de mayor concentración y la optimización de la disponibilidad de los servicios en metrópolis (Méndez, Michelini, Prada, & Tébar, 2012), en los asentamientos en las bases de la región hidrológica de mayor importancia en México como es la Grijalva-Usumacinta se agrega la vulnerabilidad por los potenciales eventos de inundación hace necesario el desarrollo de metodologías de planeación acorde a las condiciones de la región.

En este sentido, proponer en la planeación del uso de suelo de los municipios basados en modelos hidrológicos para la disminución de riesgo con la definición de la vocación de los usos de suelo, y en caso necesario, proponer medidas que permitan el desarrollo sustentable de las áreas potenciales de desarrollo de actividades es el objetivo principal del presente trabajo.

Es recomendable que al momento de desarrollar el modelo de planeación urbana de la ciudad de Villahermosa, se emplean modelos hidrológicos para conocer la vocación natural de suelo y proponer las medidas de prevención de riesgos por inundación, reduciendo con estas acciones la vulnerabilidad de las actividades desarrolladas en las diferentes cuencas que conforman el municipio del Centro.



Se recomienda este ejercicio en el estado de Tabasco por el riesgo latente por ser moldeado por la región hidrológica más importante de México.

En este sentido, se ha demostrado que la instalación de infraestructura hidráulica, en el desarrollo de obras tales como vialidades o fraccionamientos, sin el conocimiento del comportamiento se modifican los terrenos y se pierde áreas para el desarrollo de diferentes actividades por la retención de agua producto de la precipitación pluvial, provoca la generación de nuevas áreas de inundación, obligando a la aplicación de medidas económicamente de alto valor y baja eficiencia como la colocación de bombas (cárcamos) que con el tiempo requiere mantenimientos y generación de diferentes problemas, perdiendo de vista la sustentabilidad.

Si bien la Agenda 21, propone alternativas para el desarrollo sustentable de las ciudades, debe satisfacer las necesidades económicas, sociales y ecológicas en forma conjunta para el desarrollo de las ciudades, debe iniciar con una planeación en el uso de suelo principalmente en la definición de las vocaciones naturales (Barton, 2006).

Por tal motivo, el empleo de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) acoplados con modelos hidrológicos básicos, permite valorar el comportamiento de los procesos hidrológicos de las cuencas, en áreas puntuales denominadas en el presente trabajo como nanocuenas y que permite una planeación segura para el desarrollo de actividades productivas, esta medida, se haría extensiva para el desarrollo de las diferentes actividades productivas además de las de infraestructura urbana, debido a que permitirá un manejo adecuado del recurso hídrico presente en las cuencas del bajo Grijalva, en un contexto de sustentabilidad y disminución de la vulnerabilidad de la población.



BIBLIOGRAFÍA

- Barton, J. R. (2006). Sustentabilidad urbana como planificación estratégica. *Eure*, XXXII(96), 27-45.
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan Pérez, J. I., Pineda Jaimes, N. B., Cadena Vargas, E. G., Bravo Peña, L. C., & Sánchez López, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112.
- Campos-Aranda, D. F. (2011). Identificación del número N mediante el método del HUT, en siete cuencas del alto río Grijalva, México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XII(3), 269-276.
- Campos-Aranda, D. F. (2012). Relación y estimación de predicciones de lluvia horaria-diaria en dos zonas geográficas de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, III(2), 141-152.
- Carballo Cruz, V. R. (2014). En 2. CCGSS (Ed.), *Taller de Información Geo-espacial, fortaleciendo la conectividad en el Sureste*. Villahermosa, Tabasco.
- Chen, C. (1983). Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of the Hydraulics Division* 1603-ASCE, 109(12), 1603-1621.
- Diario Oficial de la Federación. (1992). *Ley de Aguas Nacionales* (11 Agosto de 2014 ed.). Mexico, D.F.: H. Camara de Diputados.
- Drag, M., & Zimnol, J. (2014). The Evaluation of the State of Environment under a Strong Human Impact on the Basis of SWOT Analysis. *International Conference of Computational methods in Science and Engenering*, (págs. 281-284).
- Ellis, E. A., Romero, J. A., Hernández, I. U., Gallo, C. A., & Alanís, J. A. (2012). Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(1), 7-28.
- Galeana-Pizaña, J. M., Ordóñez-Díaz, J. A., & Corona-Romero, N. (2013). Estimación de contenido de carbono en la cuenca del río Magdalena, México. *Madera y Bosques*, 19(1), 53-69.
- Gokmen, M., Vekerdy, Z., Verhoef, A., Verhoef, W., Batelaan, O., & van der Tol, C. (2012). Integration of soil moisture in SEBS for improving evapotranspiration estimation under water stress conditions. *Remote Sensing of Environment*, 121, 261-274.
- González, D. (2011). Uso de suelo y ambiente interior. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXII(2), 9-15.
- H. AYUNTAMIENTO DE CENTRO. (2008). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Villahermosa y Centros Metropolitanos del Municipio de Centro, Tabasco 2008-2030*. Villahermosa: H. Ayuntamiento de Centro.



- HEINRICH, D., NUISSL, H., & RODRÍGUEZ SEEGER, C. (2009). Dispersión urbana y nuevos desafíos para la gobernanza (metropolitana) en América Latina: el caso de Santiago DE CHILE. *Eure*, XXXV(104), 29-46.
- Jiménez-Medina, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI(3), 33-38.
- Kauffer Michel, E. F. (2006). El agua en la frontera sur de México: una aproximación a la problemática de las cuencas compartidas con Guatemala y Belice. *Boletín del Archivo Histórico del Agua*(32), 22-29.
- Mastrocico, M., Colombani, N., Salemi, E., & Castaldelli, G. (2010). Numerical assessment of effective evapotranspiration from maize plots to estimate groundwater recharge in lowlands. *Agricultural Water Management*, 97, 1389–1398.
- Méndez, R., Michelini, J. J., Prada, J., & Tébar, J. (2012). Economía creativa y desarrollo urbano en España: una aproximación a sus lógicas espaciales. *EURE*, 38(113), 5-32.
- Merlos Villegas, F. (2016). *MANUAL DE USUARIO FINAL PROGRAMA DE FUNCIONES DE DISTRIBUCION Ax+B VERSIÓN 1.15*.
- Montero, M. C. (2011). Usos del suelo en la ciudad de Río Cuarto: sector sur. *Huellas*, 15, 166-179.
- Pereyra-Díaz, D., Ochoa-Martínez, C. A., & Pérez-Sesma, J. A. (2005). Ecuaciones de lluvia intensa generalizada para obtener precipitaciones máximas de corta duración. *GEOS*, 25(2), 340-351.
- Rojas Quezada, C., Díaz Muñoz, M. A., & Jaque Castillo, E. (2008). SOSTENIBILIDAD URBANA. Tome: UNA PROPUESTA PARA EVALUAR LOS PLANES REGULADORES CHILENOS. *URBANO*, 17, 26-35.
- Shin, D. W., & Baigorria, G. A. (2012). Potential influence of land development patterns on regional climate: a summer case study in the Central Florida. *Natural Hazards*, 62(3).
- Suárez Tamayo, S., & Molina Esquivel, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 357-363.
- Suzuki-Parker, A., Kusaka, H., & Yamagata, Y. (2015). Assessment of the Impact of Metropolitan-Scale Urban Planning Scenarios on the Moist Thermal Environment under Global Warming: A Study of the Tokyo Metropolitan Area Using Regional Climate Modeling. *Advances in Meteorology*, 11.
- Tudela, F. (1992). *La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco, proyecto integrado del Golfo*. El Colegio de México.
- Valencia Hernández, G. M., & Anaya Acevedo, J. A. (2009). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER CON IMÁGENES IKONOS. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 39-52.
- Wang, H. (1993). *AN AREAL SURFACE ENERGY BALANCE MODEL*. Thesis, Memorial University of Newfoundland, Department of Geography.



ANEXO

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 1

PASTIZALES 70%
 BOSQUES RALOS 30%
 CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%:) C
 CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:
 TORMENTA CON DURACIÓN DE: Tc= 1.0316 hr 61.8962 minutos
 Hp de diseño Hp= 116.1700 mm tr=100 años
 intensidad de la precipitación lp= 112.6120 mm/h
 PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR LL_s = 89.0000 MM lluvia 5 días anteriores
SOLUCION:
 DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3 TIPO C
 PASTIZALES N₇₀ = 74 VIENE DE LA TABLA
 BOSQUES RALOS N₃₀ = 78 VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:
 SE CALCULA REDONDEANDO Ñ = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:
 EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE SEGÚN CORRECCIÓN "B" LL_s = 8.90 >5.0 CMS

PARA:	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:
 Hp de diseño = 11.62 cm
 Pe = [P - (508/N) + 5.08]² / [P+(2032/N)-20.32]
 COCIENTE = Pe= 8.32 cm

el coeficiente de escurrimiento es:
 Cesc = volúmen de escurrimiento directo (Ved)/ volumen llovido(VII)
 Cesc = Pe*Ac/P*Ac = Pe/P
Cesc = 0.72 OK

GASTO DE SALIDA
 Tr= 100 AÑOS
 duración 61.90 minutos
 Q= 2.778*C*I*A
 C= 0.72
 I= 112.612 mm/h
 A= 21.70 Has
 Q= 4,864.58 lps
 Q= 4.86 M³/S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 2

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%.)		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	T _c =	1.2598 hr	75.5870532 minutos
Hp de diseño	Hp=	124.8800 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	99.1260 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LL _s =	89.0000 MM	lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3 TIPO C

PASTIZALES	N ₇₀ =	74	VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₃₀ =	78	VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:

SE CALCULA REDONDEANDO $\bar{N} = 75.20$

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:

EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE $LL_s = 8.90 > 5.0 \text{ CMS}$

SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:

	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:

Hp de diseño	=	12.49 cm
Pe	=	$[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$
COCIENTE = Pe	=	9.15 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved)/ volúmen llovido(VII)
Cesc	=	$Pe * Ac / P * Ac = Pe / P$
Cesc	=	0.73 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=	tr=100 años	AÑOS
duración		75.59 minutos
Q=	$2.778 * C * I * A$	
C=	0.73	
I=	99.13 mm/h	
A=	61.54 Has	
Q=	12,415.14 lps	
Q=	12.42 M ³ /S	



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 3

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%):			
		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	Tc=	1.997 hr	119.82 minutos
Hp de diseño	Hp=	146.52 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	73.371 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LL _s =	89.00 MM	lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3	TIPO	C
PASTIZALES	N ₇₀ =	74 VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₃₀ =	78 VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:		
SE CALCULA	REDONDEANDO	N = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:
 EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE
 SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12
	N corregido=	88.12

datos:

Hp de diseño	=	14.65 cm
Pe	=	$[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$
COCIENTE = Pe=	=	11.22 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved)/ volumen llovido(VII)
Cesc	=	Pe*Ac/P*Ac = Pe/P
Cesc	=	0.77 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=	100 AÑOS
duración	119.82 minutos
Q=	2.778*C*I*A
C=	0.77
I=	73.37 mm/h
A=	134.64 Has
Q=	21,009.34 lps
Q=	21.01 M ³ /S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 4

PASTIZALES = 70%

BOSQUES RALOS = 30%

CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%): C

CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:

TORMENTA CON Tc= 2.24781479 hr 134.869 minutos

Hp de diseño Hp= 152.48 mm tr=100 años

intensidad de la precipitación Ip= 67.833 mm/h

PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR LLs = 89.00 MM lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3 TIPO C

PASTIZALES N₇₀ = 74 VIENE DE LA TABLA

BOSQUES RALOS N₃₀ = 78 VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:

SE CALCULA REDONDEANDO Ñ = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:

EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE LLs = 8.90 >5.0 CMS

SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:

	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:

Hp de diseño = 15.25 cm

Pe = $[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$

COCIENTE = Pe = 11.79 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc = volumen de escurrimiento directo (Ved)/ volumen llvido (VII)

Cesc = $Pe * Ac / P * Ac = Pe / P$

Cesc = 0.77 OK

GASTO DE SALIDA

Tr= 100 AÑOS

duración 134.87 minutos

Q= 2.778 * C * I * A

C= 0.77

I= 67.83 mm/h

A= 246.79 Has

Q= 35,960.66 lps

Q= 35.96 M³/S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 5

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%:)		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	Tc=	1.670 hr	100.171939 minutos
Hp de diseño	Hp=	137.830 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	82.556 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LLs =	89.00 MM	lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3	TIPO	C
PASTIZALES	N ₇₀ =	74 VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₃₀ =	78 VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:		
SE CALCULA	REDONDEANDO	N = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:
 EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE
 SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:

Hp de diseño	=	13.78 cm
Pe	=	$[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$
COCIENTE = Pe=	=	10.38 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved)/volúmen llovido(VII)
Cesc	=	Pe*Ac/P*Ac = Pe/P
Cesc	=	0.75 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=	100 AÑOS
duración	100.17 minutos
Q=	2.778*C*I*A
C=	0.75
I=	82.56 mm/h
A=	104.90 Has
Q=	18,124.11 lps
Q=	18.12 M ³ /S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 6

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%):			
		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	Tc=	0.97581102 hr	58.548661 minutos
Hp de diseño	Hp=	113.81 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	116.64 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LL _s =	89.00 MM	lluvia 5 dias anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.9 TIPO C

PASTIZALES	N ₇₀ =	74	VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₉₀ =	78	VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:

SE CALCULA	REDONDEANDO	N =	75.20
------------	-------------	-----	-------

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:

EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE LL_s = 8.90 >5.0 CMS

SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:

	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:

Hp de diseño	=	11.38 cm
Pe	=	[P - (508/N) + 5.08]² / [P + (2032/N) - 20.32]

NUMERADOR

COCIENTE = Pe = 8.10 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved) / volúmen llovido (VII)
Cesc	=	Pe * Ac / P * Ac = Pe / P
Cesc	=	0.71 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=		100 AÑOS
duración		58.55 minutos
Q=	2.778 * C * I * A	
C=		0.71
I=		116.64 mm/h
A=		29.55 Has
Q=		6,816.21 lps
Q=		6.82 M³/S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 7

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%):			
		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	Tc=	1.0577 hr	63.4621073 minutos
Hp de diseño	Hp=	117.2400 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	110.8430 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LL _s =	89.0000 MM	lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3 TIPO C

PASTIZALES	N ₇₀ =	74	VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₃₀ =	78	VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:

SE CALCULA REDONDEANDO N = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:

EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:

	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:

Hp de diseño	=	11.72 cm
Pe	=	$[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$
COCIENTE = Pe=	=	8.43 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved)/ volúmen llovido(VII)
Cesc	=	$Pe * Ac / P * Ac = Pe / P$
Cesc	=	0.72 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=		100 AÑOS
duración		63.46 minutos
Q=	$2.778 * C * I * A$	
C=		0.72
I=		110.84 mm/h
A=		47.12 Has
Q=		10,427.20 lps
Q=		10.43 M ³ /S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 8

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%:)		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	Tc=	1.7784 hr	106.703305 minutos
Hp de diseño	Hp=	140.8500 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	79.2030 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LL _a =	89.0000 MM	lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3	TIPO	C
PASTIZALES	N ₇₀ =	74 VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₉₀ =	78 VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:		
SE CALCULA	REDONDEANDO	N = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:
 EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE
 SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:		N	CORRECCION
	ANTERIOR	70	85
	POSTERIOR	80	91
	DIFERENCIA	10	6
	Δ UNITARIO	0.6	
		75.2	88.12
		N corregido=	88.12

datos:

Hp de diseño	=	14.09 cm
Pe	=	$[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$
COCIENTE = Pe=	=	10.67 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved)/ volúmen llovido(Vll)
Cesc	=	Pe*Ac/P*Ac = Pe/P
Cesc	=	0.76 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=		100 AÑOS
duración		106.70 minutos
Q=	2.778*C*I*A	
C=		0.76
I=		79.20 mm/h
A=		64.31 Has
Q=		10,721.92 lps
Q=		10.72 M ³ /S



COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MICROCUENCA NÚMERO 9

PASTIZALES		70%	
BOSQUES RALOS		30%	
CUENCA FORMADA POR ARENAS MUY FINAS CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLA (PENDIENTE MENOR QUE 1%:)		C	
CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA UNA:			
TORMENTA CON	Tc=	2.0610 hr	123.66 minutos
Hp de diseño	Hp=	148.0900 mm	tr=100 años
intensidad de la precipitación	Ip=	71.8540 mm/h	
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANTERIOR	LLs =	89.0000 MM	lluvia 5 días anteriores

SOLUCION:

DE ACUERDO CON LA TABLA 7.4 EL SUELO ES:

LOS VALORES DE N SON: TABLA 7.3	TIPO	C
PASTIZALES	N ₇₀ =	74 VIENE DE LA TABLA
BOSQUES RALOS	N ₃₀ =	78 VIENE DE LA TABLA

VALOR DE N MEDIO:		
SE CALCULA	REDONDEANDO	N = 75.20

DADO QUE LA PRECIPITACIÓN ANTECEDENTE ES:
 EL VALOR DE N DEBE MODIFICARSE
 SEGÚN CORRECCIÓN "B"

PARA:	N	CORRECCION
ANTERIOR	70	85
POSTERIOR	80	91
DIFERENCIA	10	6
Δ UNITARIO	0.6	
	75.2	88.12

N corregido= 88.12

datos:

Hp de diseño	=	14.81 cm
Pe	=	$[P - (508/N) + 5.08]^2 / [P + (2032/N) - 20.32]$
COCIENTE = Pe=	=	11.37 cm

el coeficiente de escurrimiento es:

Cesc	=	volúmen de escurrimiento directo (Ved)/ volumen llovido(VII)
Cesc	=	Pe*Ac/P*Ac = Pe/P
Cesc	=	0.77 OK

GASTO DE SALIDA

Tr=		100 AÑOS
duración		123.66 minutos
Q=	2.778*C*I*A	
C=		0.77
I=		71.85 mm/h
A=		137.83 Has
Q=		21,119.60 lps
Q=		21.12 M ³ /S