



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

UNIDAD CHONTALPA

ANÁLISIS REGIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EN SUSPENSIÓN EN LA SUBCUENCA DE LA SIERRA DEL ESTADO DE TABASCO

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería Hidráulica

Presenta:

Marcos Andrés Jiménez Moreno

Asesores:

M.I.H. Enrique Campos Campos

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

M.I.H. Leobardo Alejandro Quiroga

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

Cunduacán, Tabasco. Agosto de 2015



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

55
ANIVERSARIO
UJAT



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

"2013, CENTENARIO LUCTUOSO DE FRANCISCO I. MADERO
Y JOSÉ MARÍA PINO SUÁREZ"

OFICIO: DAIA/DIR/1759/15

FECHA: 8 de Julio de 2015

ASUNTO: Autorización de Impresión
definitiva.

C. MARCOS ANDRÉS JIMÉNEZ MORENO
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA HIDRÁULICA
P R E S E N T E.

En virtud de haber elaborado su trabajo recepcional para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Hidráulica bajo la modalidad de "Tesis", el cual ha sido asesorado por el M.I. H. ENRIQUE CAMPOS CAMPOS y el M.I.H. LEOBARDO ALEJANDRO QUIROGA Profesores Investigadores de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura denominado:

"ANÁLISIS REGIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EN SUSPENSIÓN EN LA
SUBCUENCA DE LA SIERRA DEL ESTADO DE TABASCO"

Tengo a bien autorizarle la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen de obtención de grado.

Sin otro particular por el momento, me despido deseándole éxito en su carrera profesional.

ATENTAMENTE

DR. CANDELARIO BOLAINA TORRES
DIRECTOR



C.c.p. Archivo.
DR'CBT/M.I. JCRH/apl.

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 denominada **"ANÁLISIS REGIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EN SUSPENSIÓN EN LA SUBCUENCA DE LA SIERRA DEL ESTADO DE TABASCO"**, 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 mencionado, 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 éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa Tabasco el día 27 de Julio de 2015.

AUTORIZO

MARCOS ANDRÉS JIMÉNEZ MORENO

ÍNDICE

CAPÍTULO I	10
1.- Introducción	10
Generalidades	10
1.2.- Aspectos metodológicos	11
Capítulo II	13
2.- Antecedentes y objetivos	13
2.1.- Antecedentes	13
2.2.- Planteamiento del problema	14
2.3.- Justificación	16
2.4.- Objetivo general	18
2.5.- Objetivos particulares	18
2.6.- Alcances del trabajo	19
2.7.- Contribuciones	20
Capítulo III	21
3.- Marco Teórico	21
Introducción	21
3.1.- Transporte de sedimentos	21
3.2.- Propiedades de los sedimentos	22
3.2.- Establecimiento de la zona homogénea	25
3.3.- Prueba estadística t de Student	26
3.4.- Prueba estadística de Cramer	27
3.5.- Prueba de Helmer	28
3.6.- Método de las estaciones-años	29
3.6.1.- Tipos de modelos teóricos	29
3.6.2.- Método de los momentos	30
3.6.3.- Método de momentos de probabilidad pesada	32
3.6.4.- Métodos de momentos I	32
Capítulo IV	34
4.1 Características fisiográficas	34

4.1.1 Área de cuencas	34
4.1.2 Longitud de cauce principal	35
4.1.3 Pendiente media cauce principal	35
4.1.4 Pendiente media de la cuenca	36
4.1.5 Perímetro de cuenca	37
4.1.6 Coeficiente de desarrollo de la línea divisoria de aguas	37
4.1.7 Parámetro de forma	37
4.1.8 Longitud de la cuenca	38
4.1.9 Ancho máximo de cuenca	39
4.1.10 Ancho medio de cuenca	39
4.1.11 Coeficiente de sinuosidad	39
4.1.12 Coeficiente de asimetría de la cuenca	40
4.2 Tiempo de concentración	40
4.2.1 Método de Kirpich	42
Capítulo V	43
5.1 Información hidrométrica disponible	43
5.2 Datos hidrométricos de las estaciones	45
5.2.1.- Estación: las Peñitas	45
5.2.2.- Estación: Pueblo Nuevo	51
5.2.3.- Estación Boca del Cerro	56
5.2.4.- Estación: González	61
5.2.5.- Estación: las Gaviotas II	66
5.2.6.- Estación: Tapijulapa	72
5.2.7.- Estación: Platanar	77
Capítulo VI Resultados	82
Capítulo VII Conclusiones y Recomendaciones	101
Bibliografía	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1. Estaciones elegidas para este trabajo de investigación	44
Tabla 5.2. Ubicación geográfica de las estaciones estudiadas	45
Tabla 5.3. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Peñita.	48
Tabla 5.4. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Pueblo Nuevo	53
Tabla 5.5. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Boca del Cerro.	58
Tabla 5.6. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación González.	63
Tabla 5.7. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Gaviotas II.	68
Tabla 5.8. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Tapijulapa.	74
Tabla 5.9. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Platanar.	79
Tabla 6.1. Datos anuales de acarreo en suspensión (10^3 m^3) en las 7 estaciones hidrométricas indicadas en la región hidrológica No. 30 (Tabasco-Chiapas).	83
Tabla 6.2 Datos generales de las estaciones hidrométricas de la región hidrológica No. 30 (Tabasco- Chiapas) que cuentan con registro de sólidos en suspensión.	84
Tabla 6.3 Características fisiográficas de las cuencas de estaciones hidrométricas seleccionadas de la región hidrológica No.30 que tienen registro de volumen de sólidos suspendidos.	85
Tabla 6.4 Relación entre volumen de sedimentos medio anual (VSMA) y área de la cuenca (A)	86
Tabla 6.5 Momentos de probabilidad pesada muestrales (b_r) insesgados y sesgados ponderados	88
Tabla 6.6 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación peñitas	89

Tabla 6.7 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Pueblo Nuevo	90
Tabla 6.8 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Boca del Cerro	91
Tabla 6.9 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación González	92
Tabla 6.10 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Gaviotas II	93
Tabla 6.11 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Tapijulapa	94
Tabla 6.12 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Platanar	95
Tabla 6.13 Relación entre el volumen de sedimentos medio anual y área de las cuencas	96
Tabla 6.14 Relación entre área y gasto máximo anual de las 7 estaciones	97
Tabla 6.15 Relación entre área y gasto medio anual de las 7 estaciones	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Efecto de la forma de la cuenca en los hidrógramas	38
Figura 4.2. Delimitación de la longitud de cuenca. Izquierda: Cuencas regulares Derecha: Cuencas irregulares.	39
Figura 4.3. Delimitación de áreas para la determinación del coeficiente de asimetría de la cuenca	40
Figura 5.1. Zona de estudio	43
Figura 5.2. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Peñitas	50
Figura 5.3. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Pueblo Nuevo	54
Figura 5.4. Longitud del cauce principal en la estación Pueblo Nuevo	55
Figura 5.5. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Boca del Cerro	59
Figura 5.6. Longitud del cauce principal en la estación Boca del Cerro	60
Figura 5.7. Ubicación geográfica y demarcación de la estación González	64
Figura 5.8. Longitud del cauce principal en la estación González	65
Figura 5.9. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Gaviotas II	70
Figura 5.10. Longitud del cauce principal en la estación Gaviotas II	71
Figura 5.11. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Tapijulapa	75
Figura 5.12. Longitud del cauce principal en la estación Tapijulapa	76
Figura 5.13. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Platanar	80
Figura 5.14. Longitud del cauce principal en la estación Platanar	81
Figura 6.1 Localización de seis estaciones	99
Figura 6.1 Localización estación Boca del Cerro	100

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 5.1. Serie de caudales máximos anuales para la estación Peñitas	49
Grafica 5.2. Serie de caudales máximos anuales para la estación Pueblo Nuevo	53
Grafica 5.3. Serie de caudales máximos anuales para la estación Boca del Cerro	58
Grafica 5.4. Serie de caudales máximos anuales para la estación González.	63
Grafica 5.5. Serie de caudales máximos anuales para la estación Gaviotas II	69
Grafica 5.6. Serie de caudales máximos anuales para la estación Tapijulapa	74
Grafica 5.7. Serie de caudales máximos anuales para la estación Platanar	79
Grafica 6.1 Relación entre el volumen de sedimentos medio anual en miles de m ³ y el área de cuenca en Km ² en la región hidrológica.	96
Grafica 6.2 Relación entre el área y gasto máximo anual	97
Grafica 6.3 Relación entre el área y gasto máximo anual	98

DEDICATORIA

Con todo mi amor me permito dedicar este trabajo a mi esposa Marlen Marín Solís, a mis dos hijos: Marcos Elias Jiménez Marín y Andrés Abdiel Jiménez Marín, por todo el tiempo que me han tenido paciencia y mas aun porque, el tenerles conmigo, han brindado a mi vida, las alegrías y las bendiciones mas grandes que DIOS nuestro señor me ha podido dar.

Con cariño me es grato dedicar este trabajo de Tesis, a mi madre, la señora Carmelina Moreno Pérez, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y motivación, que siempre he escuchado de ella, para llevar a buen termino dicho trabajo.

Tambien lo dedico a mis hermanos: Rubén Jiménez Moreno y José Luis Jiménez Moreno y sus respectivas familias.

RECONOCIMIENTOS

- **Va mi mas sincero reconocimiento al M. I. Julio César Ramírez Hernández, Jefe del área de postgrado de DAIA, por su apoyo que me ha brindado para la realización del trabajo de Tesis.**
- **Con todo respeto, deseo reconocer a mi asesor y co-asesor de Tesis: M.I.H. Enrique Campos Campos y el M.I.H. Leobardo Alejandro Quiroga, por haberme proporcionado el tema, así como tambien, el que ambos depositaron en mi su confianzas y apoyarme incondicionalmente para el desarrollo y conclusión de esta Tesis.**
- **Deseo reconocer a mis maestros por su valiosa cooperación y paciencia que me brindaron durante mis estudios de postgrado y que gracias a ellos, hoy puedo dar por terminada una meta mas en mi vida, gracias y que DIOS los bendiga siempre.**
- **De manera puntual, deseo agradecer al M.I.H. Luis Alfonso Ruiz Ochoa por todo estos años que me ha brindado su amistad y apoyo.**
- **Por este medio, me permito darle las gracias a la DAIA-UJAT por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de maestria bajo sus instalaciones.**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Los sedimentos son partículas de rocas o suelos, que son acarreados por las aguas que escurren, para finalmente ser depositados a lo largo de los cauces, en lagos, presas, planicies y finalmente en los mares.

Para determinar la cantidad de sedimentos suspendidos, generalmente se realizan mediciones en las corrientes o cauces, dichos volúmenes o muestras son llevadas a un laboratorio para ser sometidas a filtración, logrando su separación, secado y pesado

Así mismo, todas las mediciones y registros de gasto o caudal, son estudiados y analizados para estimar eventos asociados, mediante el análisis de frecuencia de eventos extremos a diferentes periodos, T , para un sitio de proyecto como por ejemplo para estimar caudales, Q_T . Si el período de retorno necesario para el estudio es grande comparado con la longitud " n " de la serie analizada, el error del estimado $\widehat{Q}_T$ puede ser muy alto y el valor de $\widehat{Q}_T$ resultaría ineficiente para los propósitos del diseño. Más aún, en algunos sitios de interés se carece de información hidrométrica, lo que dificulta la obtención de $\widehat{Q}_T$.

Los modelos de estimación regionalizados son una alternativa cuando no se dispone de información que provenga de una red hidrométrica instalada en la cuenca en estudio.

Los modelos de estimación regional utilizan información que proviene de cuencas instrumentadas cuyas características son similares (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

La regionalización consiste en un conjunto de herramientas que exploran al máximo las informaciones existentes, buscando estimar las variables hidrológicas en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad o por calidad. Tal como menciona Tucci, 1993, la regionalización puede

ser usada para: explorar mejor las muestras puntuales y en consecuencia mejorar las estimaciones de las variables; verificar la consistencia de las series hidrológicas e identificar la falta de puestos de observación. Por lo anterior, la regionalización puede ser elaborada para los siguientes casos:

1. Funciones estadísticas de variables hidrológicas: curva de probabilidad de caudales máximos (crecidas para distintos tiempos de retorno T), medios o mínimos; curva de probabilidad de precipitaciones máximas; etc.
2. Funciones específicas que relacionen variables: curva de regularización de caudales, curva de infiltración, curva de permanencia, etc.
3. Parámetros de modelos hidrológicos: características del hidrograma unitario; parámetros de otros modelos hidrológicos, etc.

1.2.- ASPECTOS METODOLÓGICOS

En esta Tesis de Maestría se aplicó la metodología de regionalización hidrológica, enfocada a caudales y volúmenes de sedimentos máximos anuales, medido en la ¹⁴ Región Hidrológica No.30 Grijalva-Usumacinta, que se localiza al Sureste de nuestro país, está limitada al Norte por el Golfo de México, al Este por la República de Guatemala, al Noreste por la Región Hidrológica N0.31 Yucatán Oeste, al Sur por la Región Hidrológica N0.23 Costa de Chiapas y el Oeste por la Región Hidrológica N0.29 Coatzacoalcos. Esta Región consta con 7 estaciones hidrométricas con información histórica de 10 a 31 años de mediciones.

En los capítulos 1 y 2, se describen los puntos importantes que dieron origen al presente estudio de investigación, como por ejemplo: antecedentes, planteamiento del problema, justificación, objetivos general y particulares, etc.

El capítulo 3, se efectúa una introducción clásica del análisis de frecuencias, ya que es necesario someter a las series conformadas a una estadística descriptiva,

posteriormente se desarrollan los conceptos necesarios para efectuar el análisis de frecuencia de valores extremos para las series de caudales máximos anuales, entre los que se destacan los modelos de momentos.

En el capítulo 4 se plantean, inicialmente, las definiciones de las características fisiográficas que se emplean para la determinación de regiones homogéneas.

Así mismo, en el capítulo 5, se presenta la ubicación geográfica de las diferentes estaciones utilizadas, se efectúa a la vez una breve descripción de las características geográficas de las regiones y se presentan con su correspondiente caracterización de estadística descriptiva.

Una vez seleccionadas las estaciones hidrométricas y conformadas, para cada una de ellas, las series anuales de gasto y sedimentos máximos anuales, se procedió a relacionarlas con sus características fisiográficas y a validar su homogeneidad por las pruebas de Student, Cramer, Helmert y FAO 2012.

Como se indicó previamente, la regionalización hidrológica consiste en un conjunto de herramientas que tratan de aprovechar al máximo las informaciones existentes. Para ello, el modelo regional propuesto en la literatura (y empleados en esta Tesis de Maestría), requieren que la región considerada en el estudio sea homogénea, de alguna manera cuantificable. En este sentido, tanto las técnicas de delimitación de regiones homogéneas como los modelos regionales hacen uso de las características fisiográficas de las cuencas.

En particular, para la determinación de las características fisiográficas de cada una de las estaciones, se emplearon datos provenientes de los servicios digitales del INEGI e IMTA. Posteriormente se encuentra la sección del capítulo 6 y 7, en el que se presentan los principales resultados y conclusiones, que surgen del desarrollo de esta Tesis de Maestría. Finalmente se indica la bibliografía empleada para el desarrollo y finalización del presente trabajo de grado.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

2.1.- ANTECEDENTES

El desarrollo de la estimación de volúmenes de acarreo de sólidos en suspensión en México ha avanzado muy lentamente debido a la falta de información al respecto y de pocos especialistas en el área, cabe mencionar que en los estados de Morelos (Preciado-Arganis, 2010) y Sinaloa (Campos - Aranda 2009), han realizado algunos estudios de predicción de volumen de sólidos, sin embargo en el estado de Tabasco no existen registros de estudios previos relacionados con el acarreo de sólidos en los que se mencionen o describan técnicas o metodologías para su estimación.

Preciado 2010, ha analizado la relación existente entre escurrimientos y sedimentos históricos en los que se aplica una correlación utilizando dos métodos para aproximar los volúmenes de acarreo con los de escurrimiento con la alternancia de técnicas de computo evolutivas como son los algoritmos genéticos para estimar los parámetros de un modelo propuesto o la programación genética que permita la obtención del modelo matemático, para datos a nivel anual o en periodos de tiempo más corto como datos mensuales o agrupando meses según la época del año, sin embargo en dicho estudio la metodología aplicada aún está por aplicarse en el análisis de las características fisiográficas de las cuencas en el modelo, principalmente las relacionadas con la velocidad del cauce y su rugosidad, pretendiendo obtener una mejor estimación del volumen de acarreo sólido.

En el caso de Campos Aranda 2009, aplica los métodos regionales (estaciones – año y el ajuste de la distribución general de valores extremos (GVE) por medio del método de momentos L, cuyos resultados indican que las predicciones regionales son todas del mismo orden de magnitud de las obtenidas con base en los registros disponibles, logrando así obtener confianza para las estimaciones en cuencas sin aforos.

En el segundo trabajo se establece la importancia que se debe tener en la homogeneidad de la región considerando el volumen de sólidos y el área de la cuenca y la aplicación de tres métodos regionales. De manera adicional el análisis y selección de la información de sólidos como de gasto para mostrar la correlación entre ellas.

2.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

6 El transporte de sedimentos es un fenómeno complejo que responde a dos funciones, una que representa las características de la hoya y otra las del río; una de las funciones indica la cantidad, naturaleza y propiedades físicas de los materiales disponibles para el transporte, y la otra, la capacidad del sistema hidráulico para hacerlo.

La presencia de partículas en el flujo altera el comportamiento hidráulico muchas veces motivado por la presencia de elementos artificiales, como son apoyos de puentes o estructuras hidráulicas, que hacen que se rompa el equilibrio del flujo.

Los sedimentos que transporta una corriente de agua son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos, también por movimientos en masa, o sea, desprendimientos, deslizamientos y otros.

En un punto cualquiera del río, el material que viene de aguas arriba puede seguir siendo arrastrado por la corriente y, cuando no hay suficiente capacidad de transporte, este se acumula dando lugar a los llamados depósitos de sedimentos.

5 En los primeros dos casos las cargas totales de transporte de sedimentos que se aplican en el diseño de las obras pueden resultar excesivas o deficientes; en el tercero, el pronóstico hecho con base en la información histórica resulta irreal.

Por las razones expuestas, para lograr un buen diseño de las obras que van a estar sometidas al efecto de los sedimentos es necesario evaluar, además de la

información histórica existente, la relación que existe entre la cuenca como productora de sedimentos y el río como conductor de los mismos.

Cuando se presenta una creciente la capacidad de transporte del río aumenta, pero el transporte real depende de la duración de la escorrentía superficial directa, del área donde se haya producido el aguacero causante de la creciente y de las características del sedimento que alcance a llegar hasta el río. Esto implica que la carga en suspensión no es función única del caudal sino que depende además de la erosión pluvial en la cuenca.

A medida que el caudal disminuye en el río también disminuye su capacidad de transporte; esto hace que las partículas que no se pueden sostener en suspensión se sedimenten. Posteriormente, cuando las velocidades se incrementen por aumento del caudal, parte de estos sedimentos serán puestos en estado de saltación temporal y algunos de ellos volverán a formar parte de la carga en suspensión.

La tarea de estimar analíticamente la carga de sedimentos en suspensión con una aproximación razonable no es fácil, actualmente, la mejor manera que existe para determinar la carga real en suspensión consiste en la medición de esa carga, utilizando medidores normalizados.

A pesar de sus deficiencias, el método de medición directa es el más aceptado para estimar la carga en suspensión y para elaborar las curvas de duración del caudal sólido. Desafortunadamente, son pocos los ríos en los cuales se efectúan estas mediciones en forma sistemática.

Los sedimentos transportados por una corriente representan una variable morfológica muy importante. Se han identificado 2 tipos de transporte de sedimentos: transporte en suspensión y transporte por el fondo. En la práctica es importante diferenciar entre estos dos tipos de transporte ya que tienen características y papeles diferentes en la morfología de un cauce.

Es importante mencionar que actualmente la gran mayoría de las estaciones hidrométricas y climatológicas de nuestra cuenca y subcuencas carecen de registros de aforos de caudales sólidos, razón por la cual es necesario recurrir a técnicas indirectas o aproximadas para estimar producciones de sedimentos anuales.

En el marco del estudio que se pretende realizar se considera aplicar la metodología de análisis regional de datos hidrológicos para la obtención de procedimientos y fórmulas de estimación de valores de diseño más confiables en cuencas sin aforos, lógicamente lo anterior permitirá poder tener estimaciones menos empíricas y con mayor grado de exactitud.

Adicionalmente podrá considerarse como la base para el continuo estudio de los registros de precipitación, gasto, volumen de sólidos en suspensión, temperatura, etc., ya que muchos de las estaciones existentes presentan las siguientes características: gran cantidad de datos faltantes, datos erróneos e inhomogeneidad en la serie de registros, por mencionar algunos.

2.3.- JUSTIFICACIÓN

El poder estimar y conocer el volumen de sólidos que arrastran los principales ríos de la región sur permitirá establecer los periodos de duración de las obras hidráulicas que se pretenden construir en el inmediato futuro ya que estas exigen una evaluación previa de su factibilidad técnica y económica, dadas las grandes sumas de dinero que hay que invertir en ellas, y más en el carácter de endeudamiento externo que estas inversiones conllevan.

Con base en esta exigencia, el análisis del transporte de sedimentos de los ríos y hoyas hidrológicas, ha adquirido una importancia capital, pues determina la "vida económica de las obras".

Los problemas que se presentan en los diseños de estructuras hidráulicas cuando se necesita evaluar de manera confiable los volúmenes de sedimentos que los ríos transportan hasta las obras y que a menudo ocasionan fallas en la operación

de bocatomas y presas de embalse, en el control de las inundaciones y en las protecciones de las márgenes, se deben a los siguientes factores:

- Deficiencia en la información cartográfica e hidrometeorológica de las cuencas vertientes, y de caudales líquidos y sólidos en la mayoría de los ríos.
- Desarrollo aún incipiente de los métodos de medición de sedimentos y de aplicación de fórmulas empíricas a casos reales.
- Cambios en las prácticas tradicionales de manejo de la cuenca después de construidas las obras.

Por lo anterior, es importante recalcar, que la metodología de regionalización se basa en la similitud espacial de algunas funciones, variables o parámetros que permitan la transferencia de información de un punto a otro de una región.

M. Tucci., 2002, considera que la regionalización de caudales se puede dar siempre que se tenga información de esta variable en otros puntos de la misma región, la cual se encuentra definida por los límites de la cuenca hidrográficas.

Para una correcta aplicación del método de regionalización de caudales se debe tener en cuenta un análisis previo de la información a ser usada, por ejemplo:

16

- a) Definir y caracterizar la zona a regionalizar, describiendo la localización geográfica, ríos principales y sus afluentes, cobertura vegetal, distribución climática, etc.
- b) Conocer las variables hidrológicas más adecuadas para el análisis de regionalización, teniendo en cuenta la orientación de la selección de dichas variables según la variable a ser regionalizada, por ejemplo: condiciones climáticas, radiación, geología, geomorfología, evapotranspiración, cobertura vegetal, etc.
- c) Análisis de la calidad de los datos hidrológicos para dar confiabilidad a los resultados de la regionalización, para ello se debe tener en cuenta:

- Establecimiento del tipo y periodo de información con la que se cuenta, la cual no debe ser menor a 5 años.
 - Analizar la información seleccionada, evaluando la consistencia de dicha información, tanto desde el punto local como regional.
- d) Definición de las variables explicativas, las cuales pueden ser hidrológicos o físicas.

Las variables físicas, son aquellas que explican las características físicas de la cuenca. Entre las principales son:

- Área de drenaje
- Desnivel del río principal
- Longitud del río principal
- Pendiente del río principal
- Pendiente de la cuenca

Las variables explicativas hidrológicas, pueden ser la precipitación media, los caudales medios, máximos, mínimos, etc.

Sin embargo, de todo lo anterior, se debe destacar que ningún estudio de regionalización puede sustituir una adecuada red de monitoreo hidrológico.

2.4.- OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el análisis regional para la estimación de volúmenes de sólidos en suspensión aplicables en una subcuenca del estado de Tabasco

2.5.- OBJETIVOS PARTICULARES

- Descripción general de la información disponible, selección y presentación de la que será analizada
- Obtención de las áreas de las subcuencas y conformar el mapa del área total de estudio y sus características fisiográficas.
- Verificación de homogeneidad entre las áreas de las subcuencas.

- Desarrollar el procedimiento del análisis probabilístico por método de las estaciones –año, momentos ponderados de probabilidad regionales y ponderados.

2.6.- ALCANCES DEL TRABAJO

En el trabajo se pretenden utilizar los datos hidrológicos como por ejemplo: Gastos, Volumen de acarreo de sólidos, Precipitación, etc., existentes en la base de datos “BANDAS” (IMTA 2003) con su actualización al 2009 y del INEGI.

Cabe mencionar que la aplicación del método regional descansa sobre la homogeneidad de la zona o región a estudiar, existen dos enfoques, cualitativo y el cuantitativo.

Actualmente el segundo enfoque (cuantitativo) es el más aplicado, en el presente estudio se analizarán con base a la calidad de la información que se tenga, que se pueda obtener o desarrollar, permitiéndonos así el poder generar una mayor estimación y con mejor confiabilidad.

Lo anterior se debe a que generalmente los registros de magnitudes de gasto máximo anual de ciertos ríos de una región muestren cierto grado de asociación o dependencia.

Con respecto a las características de la sub-cuentas se tomarán y analizarán de la base de datos del INEGI, ya que en él, se encuentran digitalizados los mapas geográficos y se puede seleccionar el área de estudio, longitud promedio de los cauces e intersecciones, etc., de manera particular para cada una de las estaciones seleccionadas, para finalmente realizar un mapa de ubicación de estaciones y de las áreas relacionadas con la investigación.

Posteriormente se evaluará dicha información con respecto a los valores obtenidos con la información generada mediante la aplicación de las técnicas o métodos previamente mencionados, lo cual indicará la veracidad de la información.

2.7.- CONTRIBUCIONES

El poder estimar y conocer el volumen de sólidos que arrastran los principales ríos de la región sur; permitirá establecer los periodos de duración de las obras hidráulicas que se pretenden construir en el inmediato futuro ya que estas exigen una evaluación previa de su factibilidad técnica y económica, dadas las grandes sumas de dinero que hay que invertir en ellas, y más en el carácter de endeudamiento externo que estas inversiones conllevan.

De igual manera se mostrará si existe relación entre el volumen de sólidos y las características fisiográficas de la cuenca, mediante la aplicación de la prueba ANOVA.

Con base en esta exigencia, el análisis del transporte de sedimentos de los ríos y hoyas hidrológicas, ha adquirido una importancia capital, pues determina la “vida económica de las obras”.

Los problemas que se presentan en los diseños de estructuras hidráulicas cuando se necesita evaluar de manera confiable los volúmenes de sedimentos que los ríos transportan hasta las obras y que a menudo ocasionan fallas en la operación de bocatomas y presas de embalse, en el control de las inundaciones y en las protecciones de las márgenes, se deben a los siguientes factores:

- Deficiencia en la información cartográfica e hidrometeorológica de las cuencas vertientes, y de caudales líquidos y sólidos en la mayoría de los ríos.
- Desarrollo aún incipiente de los métodos de medición de sedimentos y de aplicación de fórmulas empíricas a casos reales.
- Cambios en las prácticas tradicionales de manejo de la cuenca después de construidas las obras.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

INTRODUCCIÓN

La gran variabilidad de las concentraciones de sólidos en suspensión, en su mayor parte ocasionada por las diversas fluctuaciones de caudal que se producen en una cuenca a lo largo del año hidrológico (entre otros factores: como el tipo de suelos,...) ⁹ es la principal causa por la que la determinación del volumen de aporte de sedimentos no sea una tarea sencilla, y la periodicidad de los muestreos es un factor determinante a la hora de obtener unas medidas representativas de las concentraciones de sólidos en suspensión de un río.

El análisis probabilístico de crecientes de carácter regional, permite estimar éstas en cualquier sitio dentro de la región o zona estudiada, con base en todos los datos registrados en las diferentes estaciones hidrométricas, incluyendo aquellos de un sitio específico, cuando tales datos están disponibles. Algunos métodos del análisis regional, requieren que la zona donde se aplican esté integrada por estaciones hidrométricas cuyo comportamiento estadístico-hidrológico es homogéneo en alguna forma cuantificable.

¹⁰ Lo anterior, se explota para producir estimaciones las cuales son, en la mayoría de los casos, más confiables que aquellas obtenidas al hacer uso únicamente de los datos de una sola estación hidrométrica.

Es común que las magnitudes del gasto máximo anual de los ríos de una región puedan mostrar cierto grado de asociación o dependencia; algunos métodos del análisis regional hacen uso explícito de esta propiedad estadística e incluso no funcionan sin ella, como por ejemplo, los métodos de extensión de registros.

¹² 3.1.- TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El transporte de sedimentos por los ríos es un proceso continuo en la naturaleza, prueba de esto es la migración de los ríos, la formación y destrucción de bordos e

islas, y los cambios de contorno en playas y costas. Estos procesos se originan con el inicio de movimiento de los sedimentos, la entrada en suspensión, el arrastre de fondo, lo que produce erosión, el transporte de sedimento, la deposición de partículas, su compactación y consolidación, crea continuamente los paisajes y modifica la forma de los ríos, a través del tiempo, su evolución se observa en períodos largos de tiempo.

El conocimiento del transporte de sedimentos en un río es útil en problemas tales como: La determinación de la cantidad de sedimentos que entran al vaso de una presa, para diseñar el volumen o capacidad retención de sedimentos en una presa. En un río navegable es importante determinar la frecuencia de dragado con el fin de mantener el calado suficiente para la navegación de embarcaciones. Cuando se construye una presa, aguas abajo suelen producirse erosiones considerables durante un cierto tiempo. En algunos ríos debido a la extracción excesiva de los sedimentos, los que se usan comúnmente para la construcción, se pueden tener efectos adversos en la forma del cauce y el hábitat biológico en tramos de río aguas abajo.

Los sedimentos transportados son los del fondo y las orillas del cauce además de partículas muy finas procedentes de los terrenos de la cuenca. Las partículas entran en movimiento tan pronto como el esfuerzo cortante aplicado en el material del fondo exceda al esfuerzo cortante crítico o de inicio de movimiento. Generalmente las partículas de limo y arcilla entran en suspensión, y las partículas de arena y grava ruedan y se deslizan en una capa delgada cerca del fondo llamada capa de fondo.

3.2.- PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS

Las características que definen los procesos de suspensión, transporte y depositación del sedimento dependen no sólo de las condiciones del flujo sino también de las propiedades del sedimento, como son:

Tamaño. La propiedad más importante de una partícula de sedimento es su tamaño por lo cual, ha sido la única propiedad que caracteriza los sedimentos. Solamente si la forma, densidad y distribución granulométrica son semejantes en

diferentes sistemas hidráulicos, se pudiese considerar que la variación de su tamaño define la variación del comportamiento del sedimento.

Forma. Es una característica que determina el modo de movimiento de la partícula (grano de forma aplanada, en el lecho, difícilmente se mueve por rotación, pero sí se desplazan fácilmente o, eventualmente pueden saltar). Normalmente se define a través de la redondez, esfericidad y el factor de forma.

18
Densidad. Es la relación entre la masa que posee una partícula y su volumen. La gravedad específica, g_s , se define como la relación entre la densidad de la partícula sólida y la densidad del agua a 4 grados centígrados.

Peso específico. Es la relación entre el peso de la partícula y su volumen. Es igual al producto de la densidad por la aceleración de la gravedad.

Porosidad n: Se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de granos o volumen de sedimentos.

Velocidad de caída, w: Es la velocidad límite que adquiere la partícula cuando cae en agua destilada, en reposo, de extensión infinita a una temperatura constante de 24 grados centígrados.

3
Los sedimentos tienen funciones esenciales en los ríos como son: el desarrollo del cauce en sus cambios de forma (ancho, profundidad, formación de islas o bancos de arena), sirven para minimizar la degradación del fondo ya que suplen el sedimento en zonas erosionadas, en la formación de hábitats para un gran número de organismos vivos, en el transporte de nutrientes. Algunos riesgos del transporte de sedimentos son el cambio del ancho del cauce durante las avenidas, los deslizamientos de materiales, y los flujos de lodos y escombros en las inundaciones. La ingeniería de ríos se encarga de la restauración de los ríos, y su protección contra inundaciones.

Los procesos que gobiernan el movimiento de los sedimentos en los ríos son

complejos y dependen de los siguientes factores: hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geográficos y biológicos. La descarga de agua, su velocidad, las características de los materiales de las paredes y del fondo del cauce, la disponibilidad de material para su transporte. Otros factores son: la duración e intensidad de lluvia, la pendiente, el uso de suelo en la cuenca, la cobertura vegetal, el tipo de suelo, las actividades humanas.

3 Los procesos de transporte de sedimentos en las montañas están sujetos a las características de la producción de sedimento y a la capacidad de transporte del cauce. Estos se originan por la erosión de pendientes sin vegetación, el deslizamiento de las laderas, el flujo de lodos y escombros.

Los escurrimientos pueden mover una porción de sedimentos finos (arena a graba) anualmente, sin embargo el material más grueso puede durar mucho tiempo sin moverse hasta que los escurrimientos sean suficientemente fuertes para desplazar la mezcla de sedimentos.

Los grandes ríos transfieren sedimentos a través de miles de kilómetros, desde su nacimiento generalmente en las zonas montañosas, hasta su descarga al mar. Los sedimentos pueden tardar cientos, a miles de años en su viaje hacia la desembocadura. 3 Del sedimento transportado a los océanos por los grandes ríos que drenan los continentes, del orden de 80 a 90% corresponden a arena fina en suspensión y entre el 10 a 20% a arena gruesa transportada en el fondo. En su desembocadura se llegan a acumular grandes cantidades de sedimento en forma de abanico o delta, algunos de los grandes deltas son: el delta del río Amazonas con un área de 467,078 km², el del Misisipi es con 28,568 km², del Río Grijalva en México es de 17,028 km², la del río Nilo es de 12,512 km².

3 En ocasiones se necesita conocer como cambiará el funcionamiento de un río por la presencia de una obra hidráulica como una presa, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua se han realizado estudios acerca del impacto en un río por la construcción de una presa hidroeléctrica en el Río Verde en Oaxaca en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad. También para conocer

escenarios de riesgo de inundaciones en el Río Papaloapan, con la Comisión Nacional del Agua.

3.3.- ESTABLECIMIENTO DE LA ZONA HOMOGENEA

El primer paso para realizar un análisis probabilístico regional consiste en definir si la zona de estudio es homogénea desde un punto de vista hidrometeorológico, para ello existen dos enfoques, el cualitativo, basado en las características geográficas (clima, vegetación, geología, geomorfología, etc.) y el cuantitativo que utiliza pruebas estadísticas.

Actualmente, el segundo enfoque es el más aplicado y para ello existe diversas técnicas, como por ejemplo, el test de Langbein que se basa en la distribución Gumbel, la prueba basada en la distribución GVE, la diseñada para dos poblaciones, las curvas de Andrews, el análisis de las características de la función de densidad de probabilidad, o bien una combinación de características.

Es importante saber, que antes de proceder a cualquier ajuste de funciones de distribución a las series de datos, es necesario realizar pruebas estadísticas que den idea de las características de homogeneidad, consistencia e independencia de dichos registros.

Las pruebas de homogeneidad y/o consistencias sirven para determinar si las características estadísticas de las series hidrológicas como la media o desviación estándar han sufrido cambios abruptos en sus valores. Dichos cambios pueden ser el producto de las actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas áreas al cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación, o también como el producto de procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, deslizamiento de laderas y erupciones volcánicas.

Desde el punto de vista estadístico se dice que una serie de datos es homogénea si es una muestra de una única población, y por lo tanto será factible obtener

resultados representativos de ella. En caso de no ser homogénea puede ser que los datos analizados correspondan a dos poblaciones diferentes.

En el presente trabajo, las pruebas estadísticas utilizadas para revisar la homogeneidad de una serie de datos son; T de Student, Cramer y Helmer.

3.4.- PRUEBA ESTADÍSTICA T DE STUDENT

2 Cuando la pérdida de homogeneidad es un abrupto cambio en la media, esta prueba es muy útil y poderosa para detectar este tipo de inconsistencias. Para obtener mejores resultados, se recomienda que la muestra total se divida en dos partes con tamaños iguales para que las medias sean muy similares. Se considera que una muestra es homogénea si el valor del estadístico T_d de la prueba T de Student que se calcula con la ecuación 3.1, resulta menor o igual al estadístico t_c de la distribución t de Student de dos colas del cuadro 3.1 y con n_1+n_2-2 grados de libertad.

$$T_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad (3.1)$$

Dónde:

$\bar{X}_1$ = Media de la muestra uno

$\bar{X}_2$ = Media de la muestra dos

n_1 = Número de registros de la muestra uno

n_2 = Número de registros de la muestra dos

S_1^2 = Varianza de la muestra uno

S_2^2 = Varianza de la muestra dos

DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT					
GRADOS DE LIBERTAD	NIVEL DE SIGNIFICANCIA		GRADOS DE LIBERTAD	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	
	5%*	5%**		5%*	5%**
1	6.314	12.706	18	1.734	2.101
2	2.920	4.303	19	1.729	2.093
3	2.353	3.182	20	1.725	5.086
4	2.132	2.776	21	1.721	2.080
5	2.015	2.571	22	1.717	2.074
6	1.943	2.447	23	1.714	2.069
7	1.895	2.365	24	1.711	2.064
8	1.860	2.306	25	1.708	2.060
9	1.833	2.262	26	1.706	2.056
10	1.812	2.228	27	1.703	2.052
11	1.796	2.201	28	1.701	2.048
12	1.782	2.179	29	1.699	2.045
13	1.771	2.160	30	1.697	5.042
14	1.761	2.145	40	1.684	2.021
15	1.753	2.131	60	1.671	2.000
16	1.746	2.120	120	1.658	1.980
17	1.740	2.110	α	1.645	1.960

3.5.- PRUEBA ESTADÍSTICA DE CRAMER

Para investigar la homogeneidad de una muestra, a veces es conveniente comparar la media de toda la serie con la media de una cierta parte del registro, es decir, realizar un análisis por bloques. Para ello es muy útil la prueba de H. Cramer, que además es complementaria de la prueba T de Student, sobre todo cuando las muestras n_1 y n_2 no son muy parecidas. Para investigar la homogeneidad de una muestra, es necesario calcular el estadístico t_k , el cual

tiene una distribución T de Student de dos colas con $\nu = n - 2$ grados de libertad, se calcula con la ecuación 3.2 y las ecuaciones 3.3 y 3.4. El estadístico τ_k se utiliza de la misma forma que el T_d de la T de Student.

$$tk = \left[\frac{n_1(n-2)}{n - n_1(1 + (\tau_k)^2)} \right]^{\frac{1}{2}} (\tau_k) \quad (3.2)$$

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{i=k+1}^{k+n} X_i}{n_1} \quad (3.3)$$

$$\tau_k = \frac{\bar{K}_k - \bar{X}}{S} \quad (3.4)$$

Dónde:

n = Número de registros de toda la muestra

$\bar{X}$ = Media de toda la muestra

S = Desviación estandar de toda la muestra

$\bar{X}_k$ = Media de la submuestra

k = Índice o contador, posterior al cual debe tomarse la submuestra,
se determina como: $k = n - n_1$

τ_k = Parámetro que relaciona las medias de la muestra y submuestra

3.6.- PRUEBA DE HOMOGENEIDAD: HELMERT

Esta prueba es sencilla y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento Q_i^j de la serie "j" para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, con respecto a su valor medio $\bar{Q}^j$ (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia: S, de lo contrario se considera un

cambio: C. La serie se considera homogénea si se cumplen las condiciones de la ecuación 3.5.

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad (3.5)$$

3.7.- METODO DE LAS ESTACIONES-AÑOS

3.7.1.- TIPOS DE MODELOS TEÓRICOS

En general en muchas ocasiones los problemas hidrológicos se analizan y sintetizan a través del uso de modelos matemáticos. Estos últimos pueden ser del tipo determinístico, paramétrico o estadístico (o bien estocástico).

Un modelo completamente determinístico es aquel que se obtiene a través de relaciones físicas y no requiere de datos experimentales para su aplicación.

Un modelo paramétrico puede ser considerado como un determinístico en el sentido de que una vez que se estiman los parámetros del modelo, este siempre genera la misma salida a partir de la información de entrada. Por otro lado, un modelo paramétrico es estadístico en el sentido de que los parámetros estimados dependen de los datos observados y aquellos cambiarán cuando los datos observados también lo hagan.

Un modelo estadístico es aquel en el cual las salidas son predecibles solamente en un sentido estadístico. En un modelo estadístico, el empleo repetido de un grupo dado de entradas de modelo genera salidas que no son las mismas pero siguen cierto modelo estadístico (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

Todo modelo estocástico es por naturaleza estadístico. Sin embargo, suele emplearse la denominación "estocástico" a los efectos de remarcar la dependencia de las variables intervinientes con el tiempo (Clarke, 1988), hecho típico en la

series de tiempo de variables hidrológicas.

Antes de hacer inferencias de cualquier modelo es importante la estimación de sus parámetros. Cada estimador de un parámetro es una función de los valores de la muestra, las cuales son observaciones de una variable aleatoria. Así, el propio parámetro estimado es una variable aleatoria que tiene su propia distribución muestral. Un estimador que se obtiene a partir de un grupo de valores puede considerarse como un valor observado de una variable aleatoria. Por lo cual, la bondad de un estimador puede ser juzgado a partir de su distribución.

3.7.2.- MÉTODO DE LOS MOMENTOS

El método de los momentos es un procedimiento muy sencillo para encontrar un estimador de uno o más parámetros poblacionales. Consiste básicamente en plantear un sistema de ecuaciones, cuyo tamaño depende del número de parámetros a estimar. Esto se hace al igualar los momentos poblacionales con los muestrales (Tucci, 1995 y Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

Los momentos muestrales, también conocidos como estadísticos muestrales, se obtienen con las siguientes expresiones.

Media:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Varianza sesgada:

$$S_{sesg}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

Varianza no sesgada:

$$S_{insesg}^2 = \frac{n}{n-1} S_{sesg}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

Cabe indicar que la denominación “no sesgado” hace referencia al hecho de considerarse que en la serie restan $n-1$ valores independientes luego de haberse calculado la media de la muestra (al compararse los valores de la serie con su propia media se pierde un grado de libertad).

Coefficiente de asimetría sesgado:

$$g_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{(s_{sesg}^2)^{(3/2)}} \quad (4)$$

Coefficiente de asimetría no sesgado:

$$g_{insesg} = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} g_{sesg} \quad (5)$$

Coefficiente de curtosis sesgado:

$$K_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{(s_{sesg}^2)^2} \quad (6)$$

Coefficiente de curtosis no sesgado:

$$K_{insesg} = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} K_{sesg} \quad (7)$$

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (8)$$

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (9)$$

7 En el análisis hidrológico se recomienda el uso de los estadísticos no sesgados, ya que generalmente se trabaja con muestras relativamente pequeñas. Cuando n

es relativamente grande (al menos mayor de 30 o 40), los valores de los momentos muestrales sesgados y no sesgados son prácticamente similares.

3.7.3.- MÉTODO DE MOMENTOS DE PROBABILIDAD PESADA

Greenwood et al en 1979 (Apud Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005) introdujeron al método de momentos de probabilidad pesada y mostraron su utilidad en la estimación de parámetros de distribuciones cuyas formas inversas $x = x(F)$ se definen explícitamente. Si $F(x) = P(X \leq x)$, entonces, los momentos de probabilidad pesada siguen la forma de la ecuación 7.

$$M_{i,j,k} = E[X^i F^j (1 - F)^k] = \int_0^1 [x(F)]^i F^j (1 - F)^k dF \quad (10)$$

Donde $M_{i,j,k}$ es el momento de probabilidad pesada de orden (i, j, k), $E[X^i F^j (1 - F)^k]$ es el operador esperanza, i, j, k son números reales. Si $j=k=0$ e i es un entero no negativo, entonces $M_{i,0,0}$ representa el momento convencional de orden i con respecto al origen, ecuación (11).

3.7.4.- METODOS DE MOMENTOS L

Los momentos L son análogos a los momentos convencionales, sin embargo, tienen cierta ventaja sobre ellos, ya que son capaces de caracterizar a un mayor número de distribuciones, además de estar virtualmente libres de sesgo aún para muestras pequeñas (Hosking, 1990, Apud Escalante y Reyes Chávez, 2005).

El primer estimador por momentos L es la media, definida como, ecuación 12:

$$\lambda_1 = E[X] \quad (12)$$

Sea $X_{(i/n)}$ la i-esima observación en una muestra de tamaño n, ordenada de mayor a menor, entonces, para cualquier distribución de probabilidad el segundo momento L es una descripción de escala basada en la diferencia esperada entre dos observaciones seleccionadas de forma aleatoria, ecuación 13:

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} E[X_{2/2} - X_{2/2}] \quad (13)$$

De forma similar, el sesgo y el coeficiente de curtosis se pueden obtener por medio de las ecuaciones 14 y 15:

$$\lambda_3 = \frac{1}{2} E[X_{1/3} - 2X_{2/3} + X_{3/3}] \quad (14)$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{2} E[X_{1/4} - 3X_{2/4} + 3X_{3/4} - X_{4/4}] \quad (15)$$

Así como la varianza o el coeficiente de asimetría de una distribución son funciones de las esperanzas $E[X]$, $E[X^2]$, $E[X^3]$, los momentos L pueden estimarse en función de los momentos de probabilidad pesada, ecuación 16:

$$\beta_r = E\{[F(X)]^r\} \quad (16)$$

Los primeros cuatros momentos L son los dados por las ecuaciones 17-20:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (17)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (18)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - \beta_6 + \beta_0 \quad (19)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (20)$$

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

Para la aplicación de las técnicas de análisis regional deben ser determinadas diferentes características fisiográficas de las cuencas de aporte a las estaciones consideradas en el estudio. La definición de las mismas debe ser efectuada de manera cuidadosa, dado que ellas serán empleadas, como se presenta más adelante, para definir si una cuenca de aporte a una estación bajo análisis, pertenece o no a una dada región hidrológica homogénea. Esta aceptación o no de homogeneidad regional establecerá si en dicha cuenca es factible aplicar las ecuaciones calibradas para la región homogénea.

A continuación serán presentados los métodos, herramientas y ecuaciones (en los casos en los que se aplican) empleados para determinar tales características de las cuencas.

4.1.1 ÁREA DE CUENCAS

El área drenada de una cuenca es la superficie medida (generalmente en km^2), delimitada por la proyección horizontal de la divisoria de aguas, y que tiene como punto de salida una estación de aforo o sitio de interés.

Por ejemplo, en Argentina, para la determinación del área de aporte de una cuenca cualquiera, se emplean datos de terreno provenientes, por ejemplo, de los servicios del Instituto Geográfico Militar (IGM) o de relevamientos particulares en el caso de cuencas pequeñas o de estudios que impliquen mayores detalles.

En la actualidad una alternativa rápida y eficiente a la indicada en el párrafo precedente, consiste en utilizar la información topográfica proveniente de datos radar del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA (Nacional

Aeronautics and Space Administration, Estados Unidos), los cuales ofrecen una malla aproximada de 90 m por 90 m, considerada adecuada, en muchos casos, para las escalas de trabajo.

A partir de los datos del SRTM, es posible obtener curvas de nivel para diferentes equidistancias, para lo cual pueden emplearse diversos programas de manejo de imágenes y generación de modelos numéricos de terreno. Entre ellos se destaca el programa de procesamiento de imágenes Global Mapper 8. Desde este programa pueden exportarse las curvas de nivel generadas a programas como el AutoCAD, donde pueden procesarse para la obtención de las diferentes características necesarias para el estudio de regionalización, entre ellas el área de aporte.

4.1.2 LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL

La longitud del cauce principal L_{CP} es, probablemente, una de las características descriptivas principales del tipo de cuenca que se está estudiando. Para su determinación, al igual que en el caso anterior, es posible utilizar el programa AutoCAD con el cual es posible definir cada uno de los cauces principales de las cuencas y medir sus longitudes incluyendo todas las curvas (meandros) que permite la escala de trabajo.

4.1.3 PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

La pendiente media del cauce principal se calcula a partir de dividir el desnivel [km] de la cuenca entre la longitud del cauce principal L_{CP} [km]. El desnivel de la cuenca se obtiene a partir de restar a la cota más elevada de la cuenca la cota correspondiente al punto de salida de la misma, es decir donde se encuentra la estación o el sitio de interés. La ecuación 1 expresa la manera en que se calcula este parámetro.

$$Pendiente_{CP} = \frac{H_S - H_I}{L_{CP}} \quad (1)$$

En esta ecuación:

Pendiente_{CP}: Pendiente del cauce principal [km/km].

H_s : Cota del punto superior de la cuenca, donde inicia el cauce principal [km]

H_i : Cota del punto inferior de la cuenca, donde se tiene la salida [km]

L_{CP} : Longitud del cauce principal [km].

4.1.4 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

El método de Alvord es uno de los procedimientos más empleados para la determinación de la pendiente media de una superficie. En el mismo, el criterio es analizar la pendiente que existe entre las curvas de nivel, para lo cual se emplean las siguientes ecuaciones (2 y 3). (Tucci, 1995).

$$S_1 = \frac{d}{w_1} \quad (2)$$

$$W_1 = \frac{a_1}{l_1} \quad (3)$$

Dónde:

d : Desnivel entre líneas intermedias entre curvas de nivel. Se puede aceptar que es el desnivel entre dichas curvas.

S_1 : Pendiente media de la franja referida a esa curva de nivel.

A_1 : Área de la franja en km^2 .

l_1 : Longitud de la curva de nivel en km.

El valor de la pendiente media de la cuenca: S_c será el promedio ponderado de la pendiente de cada franja en relación a su área. Si se consideran n franjas, entonces S_c estará dado por la ecuación 4.

$$S_c = \frac{d \cdot l_1 \cdot a_1}{a_1 \cdot A} + \frac{d \cdot l_2 \cdot a_2}{a_2 \cdot A} + \dots + \frac{d \cdot l_n \cdot a_n}{a_n \cdot A} \quad (4)$$

Ordenando se obtiene:

$$S_c = \frac{d}{A} (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \quad (5)$$

A partir de la ecuación 5, puede obtenerse la ecuación que define la pendiente

media de la cuenca (ecuación 6):

$$S_c = \frac{d \cdot L}{A} \quad (6)$$

Dónde:

A: Área de la cuenca en km².

d: Desnivel constante entre curvas de nivel (equidistancia) en km.

L: Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en km.

4.1.5 PERÍMETRO DE CUENCA

El perímetro de la cuenca: L_p es la longitud de la línea divisoria de aguas que define a la cuenca. El mismo se obtiene a partir de un proceso gráfico para el cual ha sido empleado el programa AutoCAD.

4.1.6 COEFICIENTE DE DESARROLLO DE LA LÍNEA DIVISORIA DE AGUAS

Este coeficiente relaciona los valores de área de la cuenca y de la longitud de la línea divisoria de aguas. El mismo se obtiene a partir de ecuación 7 (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

$$M_p = 0.282 \frac{L_p}{\sqrt{A}} \quad (7)$$

En esta ecuación:

L_p : Longitud de la línea divisoria de aguas o perímetro de cuenca [km]

A: Área drenada de la cuenca [km²]

4.1.7 PARÁMETRO DE FORMA

Esta característica es un buen indicador de la respuesta de la cuenca al escurrimiento a partir de la forma de la cuenca. Se obtiene con el empleo de la ecuación 8:

$$P_f = \frac{L_p}{A} \quad (8)$$

La forma de la cuenca influncia el comportamiento del hidrograma de escurrimiento, tal como se muestra en la Figura 1. Una cuenca de tipo radial o redondeada, concentra el escurrimiento anticipando y aumentando el valor del caudal máximo con relación al correspondiente a una cuenca alargada. Esta última posee escurrimiento predominante en el canal principal y genera un mayor tiempo de tránsito hasta la llegada de la crecida a la sección principal, amortiguando, de esta manera, los caudales.

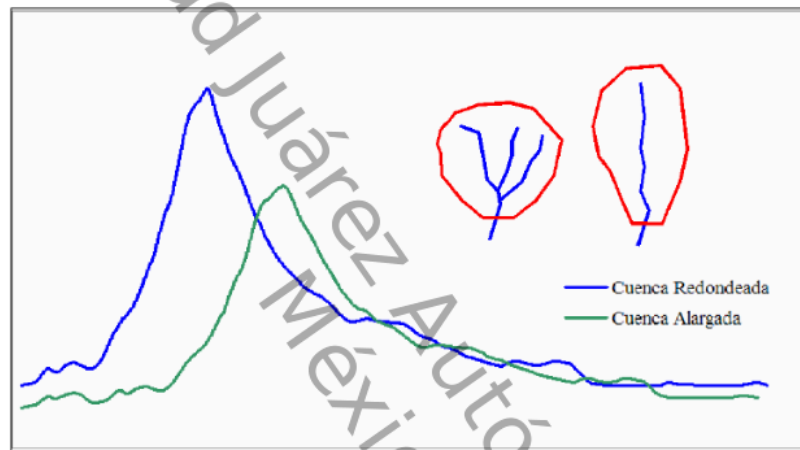


Figura 4.1. Efecto de la forma de la cuenca en los hidrógramas

4.1.8 LONGITUD DE LA CUENCA

Si la cuenca es regular se puede considerar encerrada en un rectángulo, siendo la longitud de la cuenca: L_c [km] el lado mayor de éste. Por el contrario, si es irregular se tendrán que trazar círculos dentro de la cuenca, y la L_c [km] se obtiene de la línea que se forma al unir los puntos centrales de cada circunferencia. Puede observarse el procedimiento en la Figura 2.

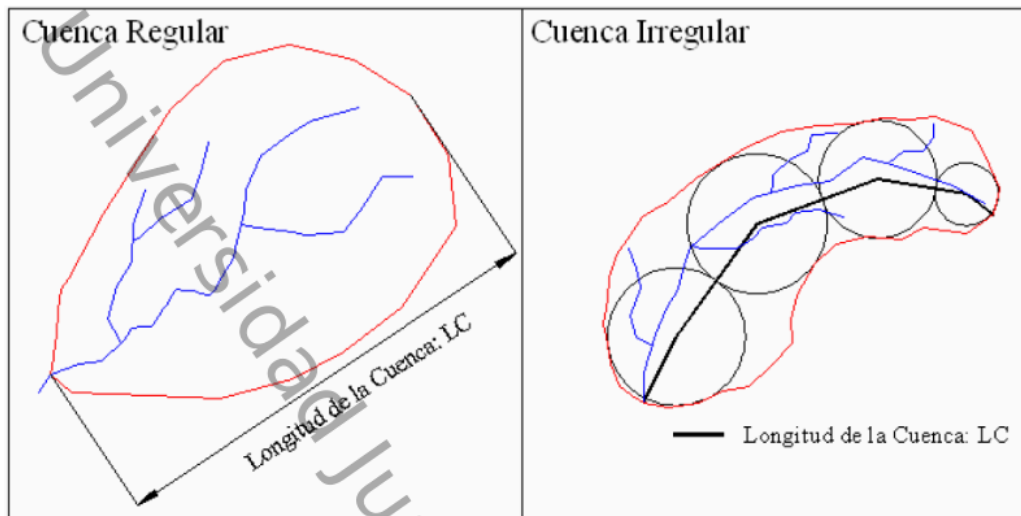


Figura 2. Delimitación de la longitud de cuenca. Izquierda: Cuencas regulares, Derecha: Cuencas irregulares.

4.1.9 ANCHO MÁXIMO DE CUENCA

El ancho máximo: $B_{\text{Máx}}$, es la longitud medida en km de la perpendicular más grande a la línea de longitud L_c [km].

4.1.10 ANCHO MEDIO DE CUENCA

El ancho medio de la cuenca se define como el cociente del área drenada y la longitud de la cuenca (Ecuación 9):

$$B_m = \frac{A}{L_c} \quad (9)$$

4.1.11 COEFICIENTE DE SINUOSIDAD

Este coeficiente mide el grado de curvatura de la corriente principal, y se estima al dividir la longitud del cauce principal (LCP, en km) entre la longitud de la línea recta LIS, también en km, que une al punto de inicio con la salida de la cuenca. Así, si la corriente es prácticamente una recta $K_s = 1$ (Ecuación 10).

$$K_S = \frac{L_{CP}}{L_{IS}} \quad (10)$$

4.1.12 COEFICIENTE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA

Este coeficiente adimensional define que tan simétricas son las áreas de aporte de la cuenca, a la izquierda (A_{IZQ}) o derecha (A_{DER}) de la corriente principal. La expresión que permite obtener este coeficiente está dada por la ecuación 11. En la Figura 3 pueden observarse estos conceptos.

$$C_{AC} = \frac{A_{IZQ} - A_{DER}}{\frac{A_{IZQ} + A_{DER}}{2}} \quad (11)$$

Los valores que puede alcanzar el coeficiente de asimetría de la cuenca varían entre: $-2 < C_{AC} < 2$.

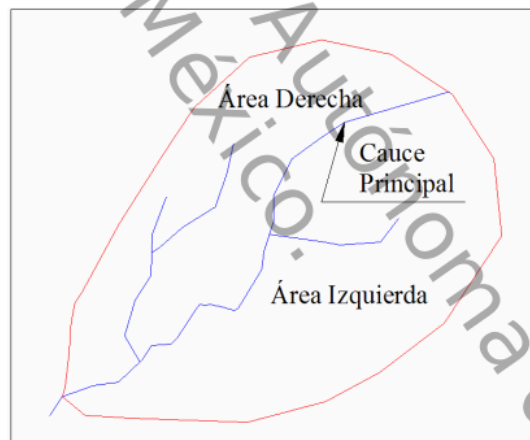


Figura 3. Delimitación de áreas para la determinación del coeficiente de asimetría de la cuenca

4

4.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

La mayoría de los métodos de función de transferencia consideran parámetros de tiempo característicos del escurrimiento de una cuenca. El tiempo de concentración, t_c , es uno de los parámetros utilizados con mayor frecuencia y

constituye un ingrediente vital en el Método Racional y en otros métodos de estimación de respuestas máximas en cuencas urbanas. La utilización del mismo sin embargo, se extiende también a aplicaciones que persiguen otros objetivos tales como la simulación de eventos y el pronóstico de caudales.

Los modelos utilizados para estos fines suelen utilizar técnicas de calibración o actualización de sus parámetros. (Bertoni y Otros, 2000)

En la práctica existen tres alternativas básicas para estimar el valor de t_c en una cuenca:

1. A partir de pares de valores observados de lluvia – caudal
2. Mediante el uso de fórmulas empíricas, y
3. Utilizando el enfoque físico basado en la ocurrencia de flujo cinemático.

Existe un gran número de fórmulas empíricas descriptas en la literatura. Las mismas por lo general provienen de los países desarrollados y han sido deducidas para condiciones de caudales máximos. Aunque las fórmulas varíen entre sí, la mayoría relaciona t_c a las características de la lluvia y a diversos parámetros de la cuenca como la superficie, la longitud del curso, la pendiente del terreno, las condiciones de resistencia al flujo, etc.

La aplicación de este tipo de fórmulas es simple, hecho que ha extendido su uso en el mundo. Sin embargo, la naturaleza empírica de las mismas y la falta de una real diversidad en los datos utilizados en su ajuste limitan su valor.

¹ Existen dos definiciones alternativas ampliamente aceptadas en la literatura en relación al T_c , aun cuando ambas no son estrictamente equivalentes:

- Definición Clásica o Teórica: t_c es definido como el tiempo de viaje que requiere la partícula de agua localizada en el punto hidrológicamente más alejado de la cuenca para alcanzar la sección de salida de la misma.
- Definición Alternativa: Se basa en el análisis conjunto del histograma de lluvia y

del hidrograma resultante. En este caso t_c se define como el intervalo de tiempo entre el centro de gravedad del histograma de lluvia neta o efectiva y el punto de inflexión de la rama descendente del hidrograma de escurrimiento directo correspondiente (Ponce, 1989, entre otros, Apud Bertoni et al, 2000).

Como alternativa práctica t_c también es considerado como el intervalo de tiempo entre el fin de la lluvia neta y el punto de inflexión antedicho (McCuen et al, 1984 Apud Bertoni et al, 2000).

4.2.1 METODO DE KIRPICH

Empíricamente, Kirpich encontró que el tiempo de concentración es una función que depende básicamente de dos variables: L_{CP} y S_{CP} , así la fórmula de Kirpich se expresa con la ecuación 12.

$$t_c = 0.000325 \frac{L_{CP}^{0.77}}{S_{CP}^{0.385}} \quad (12)$$

Dónde:

T_C : Tiempo de concentración [h]

L_{CP} : Longitud del cauce principal [m]

S_{CP} : Pendiente del cauce principal, adimensional.

CAPÍTULO V

5.1 INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA DISPONIBLE

Para el desarrollo de esta Tesis de Maestría han sido evaluadas, en una primera etapa, las diferentes estaciones hidrométricas existentes en el Estado de Tabasco y Chiapas. Entre éstas, algunas permanecen activas mientras que las restantes (la mayoría) han visto suspendidas sus mediciones.

En el proceso de búsqueda y selección de series de caudales que permitan su análisis, se priorizaron aquellas estaciones que pertenecieran a la región cercana o próxima a cada uno de los ríos que se consideran en este estudio, la zona de estudio se muestra en la figura 5.1.

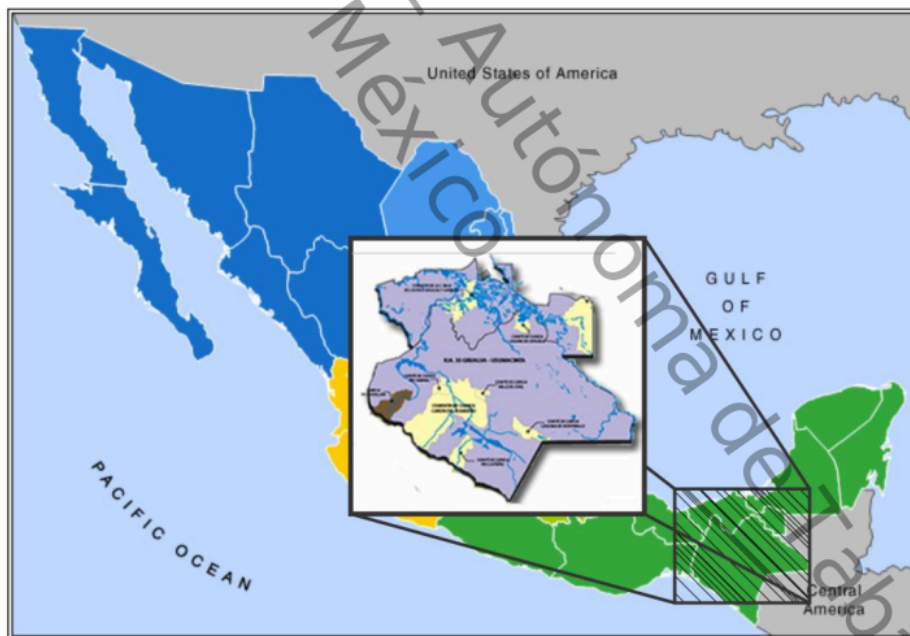


Figura 5.1 Zona de estudio

El siguiente criterio de selección se basó en elegir aquellas series que tuvieran una longitud de registro mínimo de 10 años. Este último criterio se fundamenta en

que series con menor longitud de registro pueden resultar no representativas de los procesos hidrológicos de la cuenca que aforan.

En el proceso de búsqueda permitió encontrar un grupo de estaciones hidrométricas situadas en los ríos Grijalva, Usumacinta y Mezcalapa, en algunas de ellas se han suspendidos los aforos, desde hace aproximadamente 10 años y en otras la información es imposible de conseguir.

En este capítulo se presentan las ubicaciones geográficas (Tablas: 5.1, 5.2) de las diferentes estaciones utilizadas, se efectúa una breve descripción de las características geográficas de las regiones y se presentan los registros hidrométricos de las estaciones con su correspondiente caracterización estadística.

Como se puede apreciar en la tabla 5.1, de las 7 estaciones presentadas, cinco corresponden al río Grijalva, una al Usumacinta y la última al río Mezcalapa.

Número	Nombre de la estación	Colector general	Clave	Clave hidrométrica larga
1	Las peñitas	Rio Grijalva	30015	30-400-0-0--0--345-07
2	Pueblo nuevo	Rio Grijalva	30016	30-400-200-0--0--75-27
3	Boca del cerro	Rio Usumacinta	30019	30-600-0-0--0--400-27
4	González	Rio Grijalva	30062	30-400-0-0--0--224-27
5	Las gaviotas II	Rio Grijalva	30083	30-400-0-0--0--196-27
6	Tapijulapa	Rio Mezcalapa	30093	30-400-200-0--0--400-27
7	Platanar	Rio Grijalva	30094	30-400-300-0--0--210-07

Tabla 5.1. Estaciones elegidas para este trabajo de investigación

La tabla 5.2, muestra las coordenadas (latitud y longitud) de cada una de las estaciones, así mismo, el nombre del colector correspondiente.

Número	Nombre de la estación	Colector general	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
1	Las peñitas	Rio Grijalva	17°, 24", 30'	93°, 27", 00'
2	Pueblo nuevo	Rio Grijalva	17°, 51", 15'	92°, 52", 45'
3	Boca del cerro	Rio Usumacinta	17°, 26", 00'	91°, 29", 00'
4	González	Rio Grijalva	17°, 58", 30'	93°, 00", 00'
5	Las gaviotas II	Rio Grijalva	17°, 58", 00'	92°, 55", 00'
6	Tapijulapa	Rio Mezcalapa	17°, 28", 00'	92°, 49", 00'
7	Platanar	Rio Grijalva	17°, 34", 40'	93°, 23", 15'

Tabla 5.2. Ubicación geográfica de las estaciones estudiadas

5.2 DATOS HIDROMÉTRICOS DE LAS ESTACIONES

Como se ha dicho previamente, las estaciones elegidas para el desarrollo de la Tesis de Maestría han sido las indicadas en la tabla 5.1.

Las cuales en su mayoría fueron establecidas originalmente por la SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos) y actualmente los registros son llevados por la Conagua (Comisión Nacional del Agua).

Parte de la información geográfica e hidrométrica de cada una de las estaciones, se han obtenido de las páginas web del IMTA (Bandas), INEGI, SMN.

A continuación serán presentadas características geográficas e hidrométricas de cada de las estaciones seleccionadas, así como también, su estadística descriptiva.

5.2.1.- ESTACIÓN: LAS PEÑITAS

Corriente: RIO MEZCALAPA

17

El río Grijalva conocido en esta zona como río Mezcalapa se origina de pequeños arroyos que nacen en los repliegues de la falda este de los montes

Chuchumatanes de Guatemala y después de recorrer 600 km aproximadamente de tierras Chiapanecas, entra al estado de Tabasco. El cono de deyección del río se inicia en el sitio de Peñitas donde se sitúa la estación hidrométrica, a unos 40 km aguas abajo de la presa Netzahualcóyotl; a partir de este lugar se empieza a formar las extensas planicies del estado de Tabasco en cuya parte baja el río ha divagado en muchas épocas.

El acceso a la estación se logra partiendo de la ciudad de Villahermosa por la carretera que va a Coatzacoalcos hasta llegar a la población de Cárdenas recorriendo 48 km, ahí se toma hacia la izquierda por la carretera que va hasta la presa Netzahualcóyotl recorriendo 90 km, posteriormente se toma una desviación hacia la izquierda por un camino de brecha hasta llegar a la estación hidrométrica recorriendo una distancia de aproximadamente un kilómetro.

La primera información hidrométrica obtenida en esta estación, sirvió para realizar los Estudios Hidrológicos necesarios para el proyecto de la presa Netzahualcóyotl. Actualmente es una valiosa ayuda para conocer los volúmenes que conduce el río Mezcalapa a la zona baja de la cuenca.

Tiene una longitud en línea recta de 700 m, el cauce es amplio, plano y con el fondo arenoso; la margen derecha es arcillosa y la izquierda arenosa-arcillosa, el control natural es satisfactorio. La sección de aforos es de forma rectangular con cauce arenoso, en posición perpendicular al eje del río.

En años anteriores, se tomaban lecturas de nieles diariamente (6, 12 y 18 horas) en la temporada de estiaje y extraordinarias durante las avenidas, en una escala dividida en cinco tramos de dos metros de altura cada uno, verticales y escalonados en la margen izquierda, aguas arriba de la sección de aforos. Cada tramo es una columna de concreto con mosaicos graduados. La elevación del cero de la escala es de 49.888 metros sobre el nivel del mar, habiendo sido determinada con altímetro y empleada a partir del 2 de junio de 1960. Las lecturas de escala se iniciaron el 13 de diciembre de 1947 continuándose hasta la fecha.

Se publicaron lecturas de escala directas hasta mayo de 1960 y de abril de 1968 a la fecha; en el período comprendido entre junio de 1960 y marzo de 1968 se publicaron elevaciones en metros sobre el nivel del mar.

Se afora en una estructura de cable vía de acero, de 4.76 cm de diámetro con claro de 270 m apoyada en torres de concreto siendo la del margen derecho de 6.65 m de altura y la del margen izquierda de 12.40 m, utilizando canastilla metálica.

Se practican por el método de sección y velocidad con un molinete Gurley No. 622, desde la canastilla del cable; iniciándose los aforos el 12 de diciembre de 1947. Los datos del 3 de noviembre de 1951 al 25 de junio de 1952 deben tomarse con reserva ya que en ese período no se efectuaron aforos.

El registro gráfico y automático de los niveles, se observaron mediante el empleo de un limnógrafo Stevens tipo E, que funciona desde el 26 de julio de 1955, instalado en caseta de tabique con galería de comunicación, la caseta es de tabique de 1.70 m x 1.70 m de sección por 2.00 m de altura, el pozo es de mampostería de piedra de 8.20 m de altura. El limnógrafo está localizado sobre la margen derecha a 8 m aguas abajo de la sección de aforos.

5 Cuenta con laboratorio de sedimentos instalado en la casa del aforador a 70.00 m aguas abajo de la sección de aforos, sobre la margen izquierda. Los análisis se iniciaron en junio de 1949, empleándose el sistema de muestreo superficial.

La estación climatológica del lugar se localiza a 50 m aguas abajo de la sección de aforos, en la margen izquierda; cuenta con termómetro y pluviómetro, desde octubre de 1948, en enero de 1949 se instaló el evaporímetro, en agosto de 1955 se le dotó de termógrafo y finalmente en junio de 1958 se instaló un pluviógrafo.

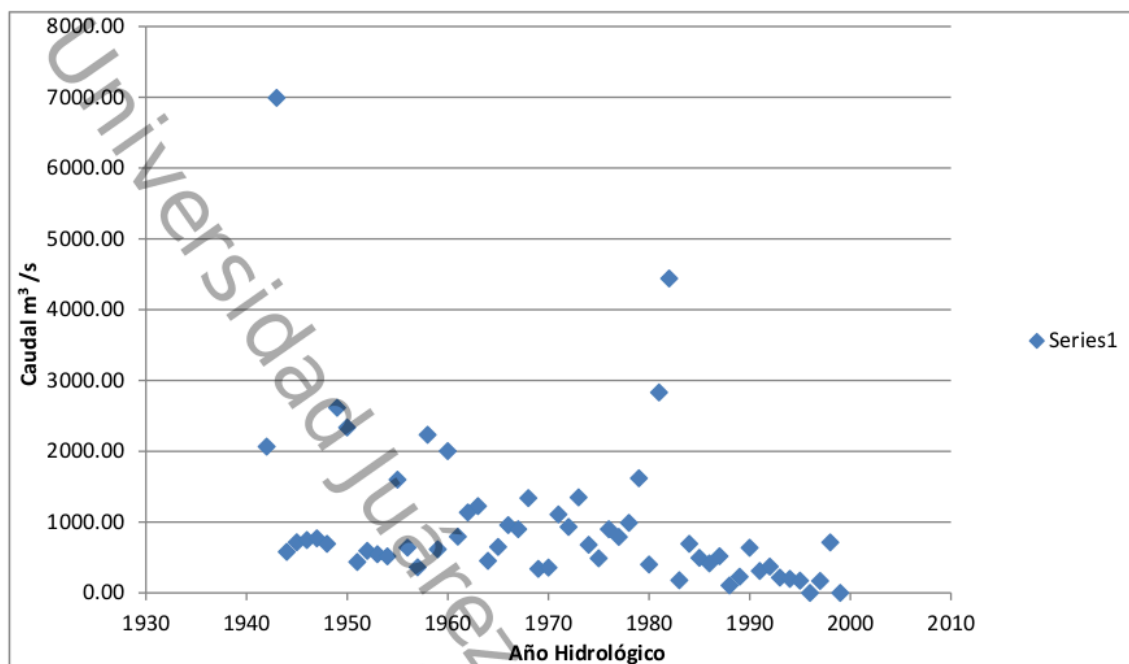
La estación hidrométrica las Peñitas inicio a funcionar el 12 de diciembre de 1947 habiéndose podido utilizar los datos a partir del 1 de enero de 1948 hasta la fecha. El régimen de la corriente en el sitio de la estación hidrométrica Peñitas, se vio afectado por la construcción de la Presa Netzahualcóyotl, la cual fue cerrada el 30 de mayo de 1966, iniciándose en esa fecha el almacenamiento en el Vaso.

Los datos de caudal máximo medio diario anual de la estación Peñitas, fueron obtenidos de la base de datos de "BANDAS" (IMTA 2003) con su actualización al 2009 y del INEGI. Los registros de la estación comienzan en el año de 1942 al 1999, es decir, se cuentan son 57 años. En la tabla 5.3 se presenta la estadística descriptiva de esta serie y en la gráfica 5.1 se observa el comportamiento histórico de la estación.

Media aritmética [m ³ /s]	$\bar{X}$	985.57
Mediana	M	664.90
Desviación estándar	S	1132.28648
Coeficiente de asimetría	Ca	3.34449122
Coeficiente de variación	Cv	1.1488648
Coeficiente de curtosis	Ck	17.2183986

Tabla 5.3. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Peñita.

La tabla 5.3, muestra los valores de la estadística descriptiva, las cuales fueron calculadas utilizando Excel y serán utilizadas para describir su relación y comportamientos en la evaluación de pruebas de homogeneidad y de los valores extremos. En la figura 5.2 se haya la ubicación geográfica y demarcación del área la estación Peñitas, 1,453.82km².



Grafica 5.1. Serie de caudales máximos anuales para la estación Peñitas

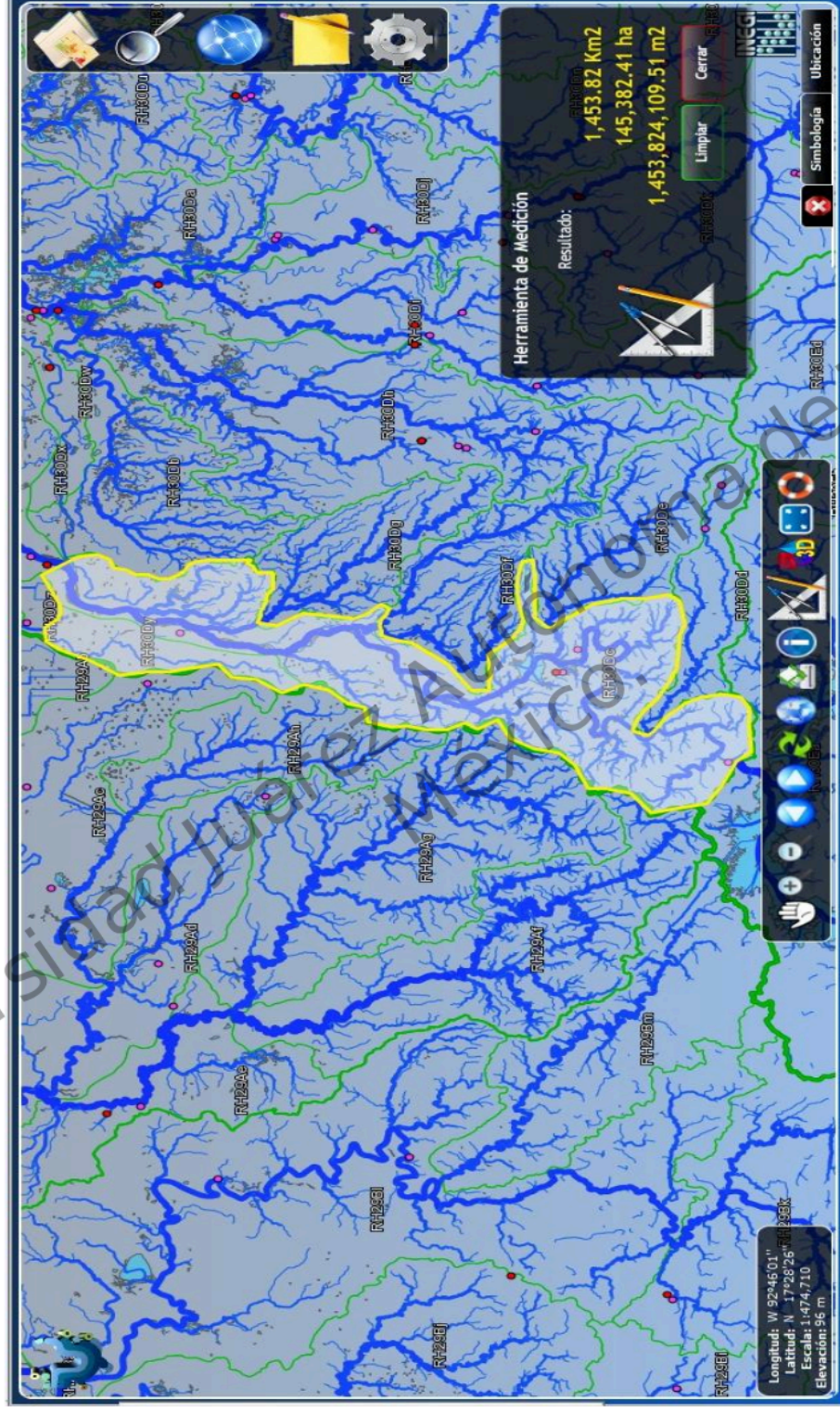


Figura 5.2. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Peñitas

5.2.2.- ESTACIÓN: PUEBLO NUEVO

Corriente: RIO DE LA SIERRA

El río de la Sierra tiene su origen en el altiplano central de Chiapas, uniéndosele a lo largo de su trayectoria importantes ríos y arroyos; en su parte alta se le conoce sucesivamente como río Almendro, Oxolotán y Tapijulapa y pasa al estado de Tabasco por su margen izquierda a las aguas unidas de los ríos Teapa y Puyacatengo y a unos cuatro kilómetros antes de Villahermosa, Tabasco, confluye al río Grijalva.

El tramo comprendido entre las estaciones hidrométricas Tapijulapa y Pueblo Nuevo tiene una longitud aproximada de 63 Kilómetros, es muy sinuoso y toca numerosas poblaciones ribereñas siendo las de mayor importancia Tacotalpa y Jalapa, Tabasco.

La estación Pueblo Nuevo está situada a 26 kilómetros al sur de Villahermosa y a 800 metros aguas abajo de Pueblo Nuevo de las Raíces, en el municipio del Centro del estado de Tabasco.

Es accesible por la carretera que sale al sur de Villahermosa, Tabasco, rumbo a Teapa, y 19 km de la primera, existe una desviación que conduce a Macuspana, la cual se sigue seis kilómetros hasta el poblado de Pueblo Nuevo, de donde a 800 metros aguas abajo se encuentra la estación.

El tramo es recto en 300 metros y sus márgenes están constituidas por material areno-arcilloso. La sección de aforos es irregular, sus márgenes y el fondo del cauce están formados por material limo-arenoso. Está colocada perpendicularmente al eje de la corriente.

Hay una escala que se lee cada seis horas durante el estiaje y cada hora en las crecientes, situada a 200 metros aguas abajo de la sección de aforos, es de madera y está seccionada en ocho tramos escalonados, con una capacidad total

de diez metros. La cota del cero está a la elevación 12.930 m.s.n.m. Existen datos disponibles del 20 de noviembre de 1947 al 31 de diciembre de 1969.

Se aforaba en canoa con una estructura de cable de acero de 0.95 cm de diámetro, apoyada en masteleros de madera de ocho metros de altura. En junio de 1960 se reconstruyó la estación quedando formada por torres de concreto de 11 metros de altura, cable de acero cubriendo un claro de 145 metros y canastilla.

Durante el período comprendido entre noviembre de 1947 y junio de 1960 los aforos se practicaban desde una canoa y de junio de 1960 a la fecha se practican desde la canastilla. Datos disponibles a partir del 20 de noviembre de 1947 a la fecha.

El registro continuo y automático de niveles se obtiene mediante el empleo de un limnógrafo Stevens tipo "E" colocado en caseta y pozo de ladrillo, situado sobre la margen derecha a 200 m aguas abajo de la sección de aforos. Los registros con el limnógrafo se iniciaron el 10 de octubre de 1959.

La estación cuenta con laboratorio de sedimentos, habiendo datos para el período de junio de 1948 a diciembre de 1969.

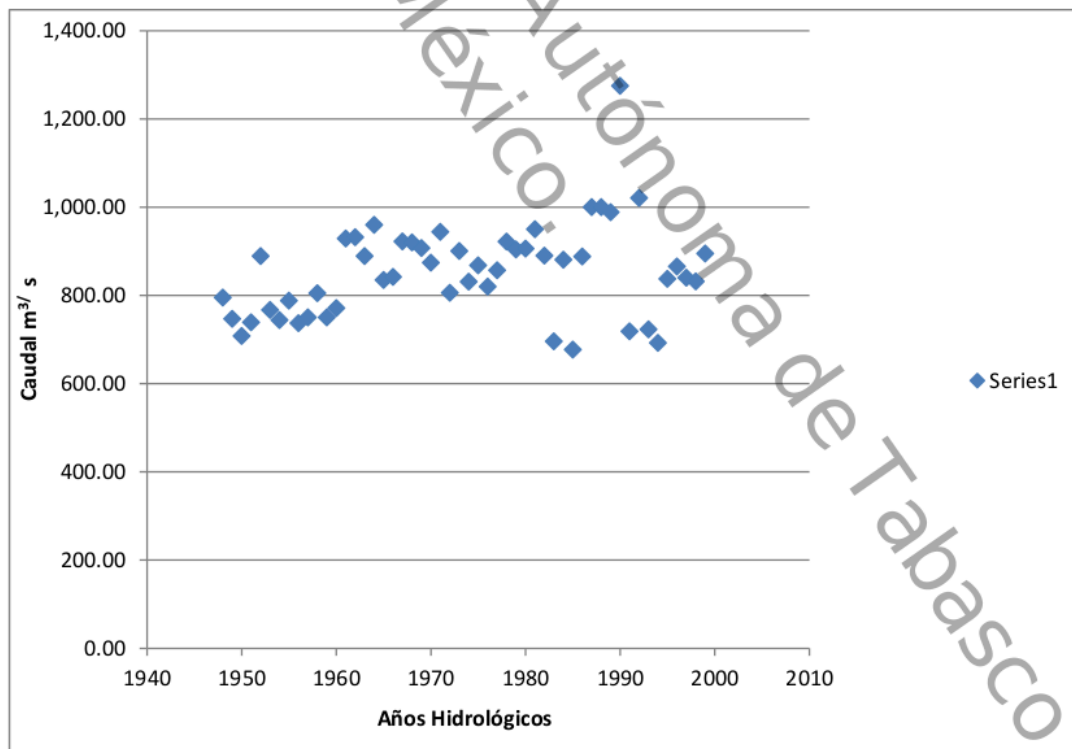
La estación climatológica Pueblo Nuevo, era operada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, inició sus observaciones a partir de septiembre de 1948 con pluviómetro, termómetro y pluviógrafo, en enero de 1957 se instaló el evaporímetro.

En la tabla 5.4 se presenta la estadística descriptiva de esta serie, comprendiendo un total de 51 años de información, el cálculo se realizó utilizando las formulas descrita por Campos Aranda en su libro: Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos.

En la gráfica 5.2 se puede observar el comportamiento de los caudales máximos anuales para la estación Pueblo Nuevo con sus respectivos años. De manera adicional en las figuras 5.3 y 5.4 se muestran la frontera de la cuenca y la longitud de su cauce principal, 1, 095.79km² y 101,665.40m, respectivamente.

Media aritmética [m ³ /s]	$\bar{X}$	854.42
Mediana	M	861.26
Desviación estándar	S	106.595909
Coeficiente asimetría	Ca	1.028993
Coeficiente de variación	Cv	0.12475869
Coeficiente de curtosis	Ck	6.39674254

Tabla 5.4. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación de Pueblo Nuevo.



Grafica 5.2. Serie de caudales máximos anuales para la estación Pueblo Nuevo

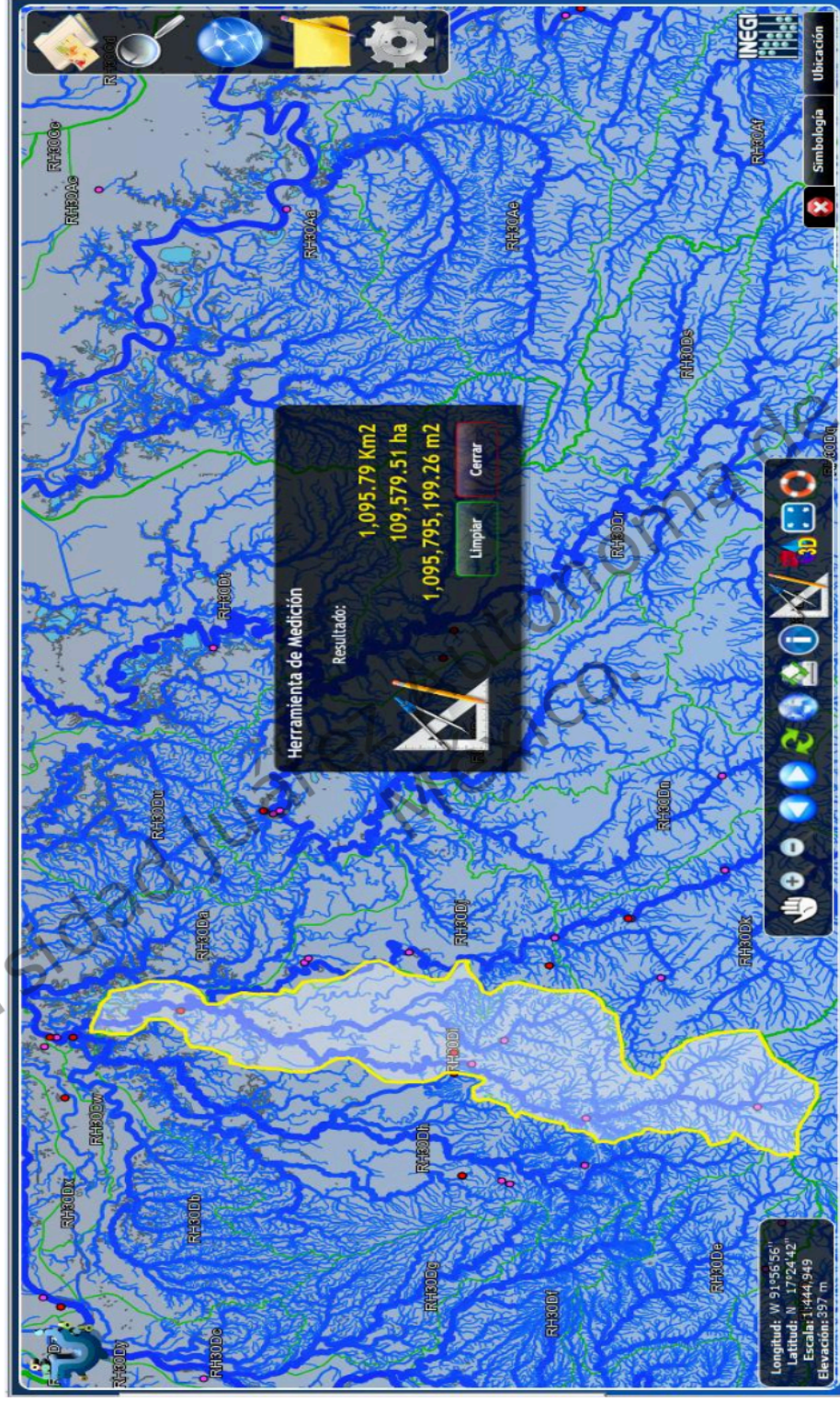


Figura 5.3. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Pueblo Nuevo

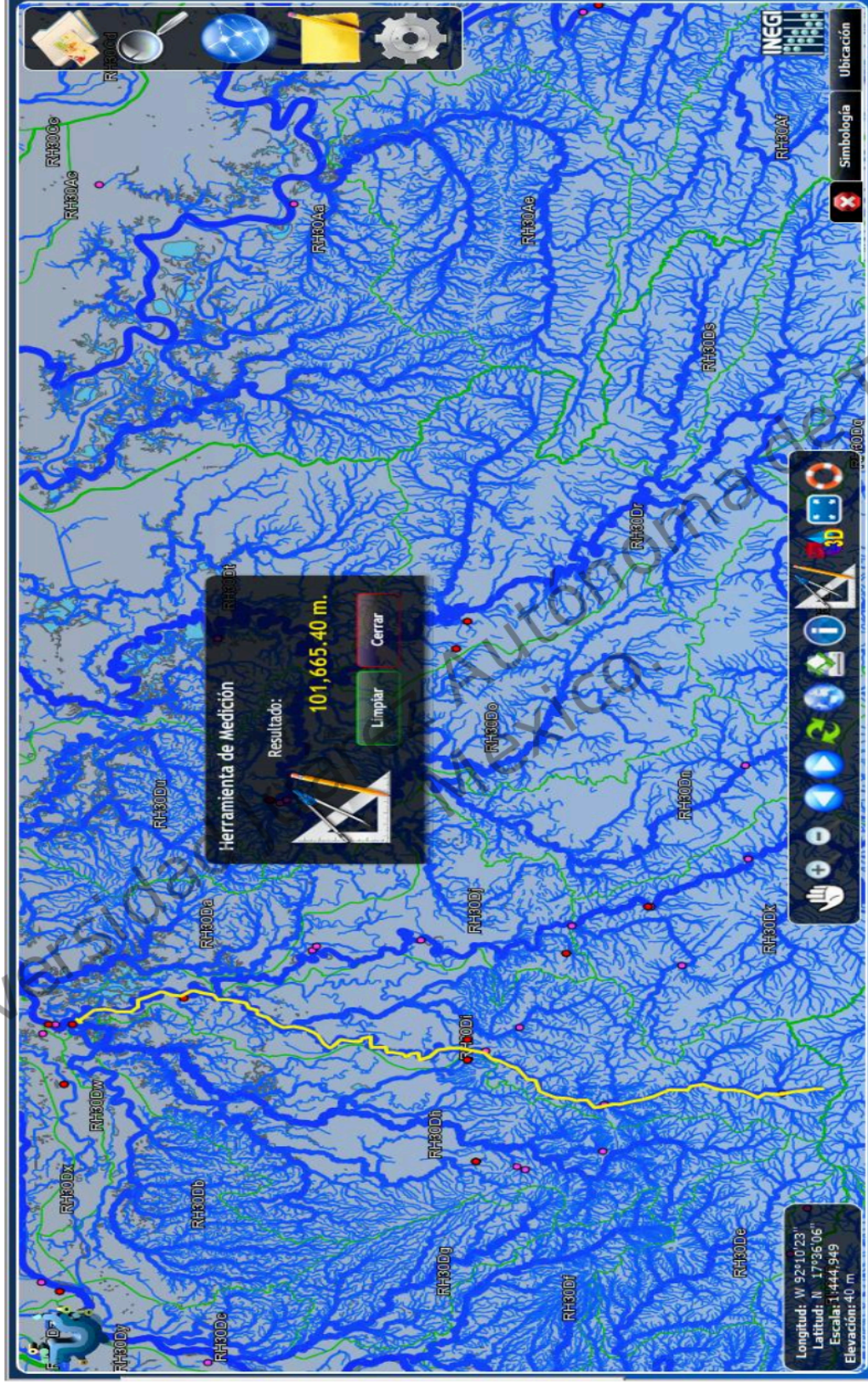


Figura 5.4. Longitud del cauce principal en la estación Pueblo nuevo

5.2.3.- ESTACIÓN: BOCA DEL CERRO

Corriente: RIO USUMACINTA.

El río Usumacinta es una de las corrientes más importantes de México, se forma de la confluencia de los ríos la Pasión y Chixoy o Salinas que proceden ambos de territorio Guatemalteco, afluye a él por la margen izquierda el río Lacantún y pasa por Boca del Cerro antes de recibir el caudal del río San Pedro. Atraviesa el estado de Tabasco y antes de llegar al Golfo de México se divide en tres brazos, de los que el occidental, conservando el citado nombre, va a unirse con el Grijalva en un punto que se denomina Tres Brazos; el brazo central se llama San Pedro y San Pablo y desemboca directamente en el Golfo de México y el brazo oriental denominado Palizada, desagua en la Laguna de términos por la boca llamada Chica.

La estación hidrométrica Boca del Cerro se encuentra localizada en esta corriente a 200 m aguas arriba del puente de ferrocarril del Sureste, junto al cual está el poblado Boca del Cerro, perteneciente al municipio de Tenosique, estado de Tabasco.

El acceso a la estación puede hacerse por el ferrocarril del Sureste hasta Tenosique, o por carretera, partiendo de Villahermosa, Tabasco. Por la carretera federal N° 186 que va hasta Chetumal, a 150 km de Villahermosa se toma una desviación revestida que conduce hasta Tenosique, antes de cruzar el río Usumacinta y a 70 km del entronque con la carretera 186, se toma por una brecha que va bordeando la margen izquierda del río, aproximadamente a 500 m se llega a la estación.

Hasta antes del 1° de julio de 1957 se leían las diferencias de nivel en una escala de madera con capacidad de tres metros, desconociéndose la cota del cero. Se tienen datos de esta escala desde el 1° de julio de 1948.

En julio de 1957 se instaló una escala de cemento y mosaicos adosada al muro del limnógrafo, dividida en tres tramos, uno de 10.00 m y dos de 1.00 m haciendo una capacidad total de 12.00 m. La cota de esta escala es de 8 m referida a un banco de nivel de cota arbitraria 20.00 m, localizado sobre la caseta del limnógrafo. Datos disponibles a partir del 1° de julio de 1948 a la fecha.

Para aforar se emplea una estructura de cable y canastilla cuyos apoyos consisten en una torre de concreto sobre la margen izquierda y anclaje directo en la margen derecha, con un claro de 240 m. Esta estructura se utiliza desde 1955, ya que anteriormente se operaba desde una canoa, sujeta a un cable apoyado en un mástil de madera de 12.00 m de altura en la margen derecha y un árbol en la margen izquierda.

Los aforos se practican por el método de sección y velocidad con un molinete hidráulico. Se tienen datos de aforo a partir del 29 de junio de 1948. Se obtienen mediante el empleo de un limnógrafo Stevens, tipo E, colocado en una caseta de 1.50 m situada sobre un pozo de 9.50 m, con galería de acceso de 6.00 m de longitud. Esta estructura construida de mampostería de piedras, está ubicada en la margen izquierda a 500 metros aguas arriba de la sección de aforos, contando con su propia escala colocada en la parte inferior, siendo de madera en posición vertical.

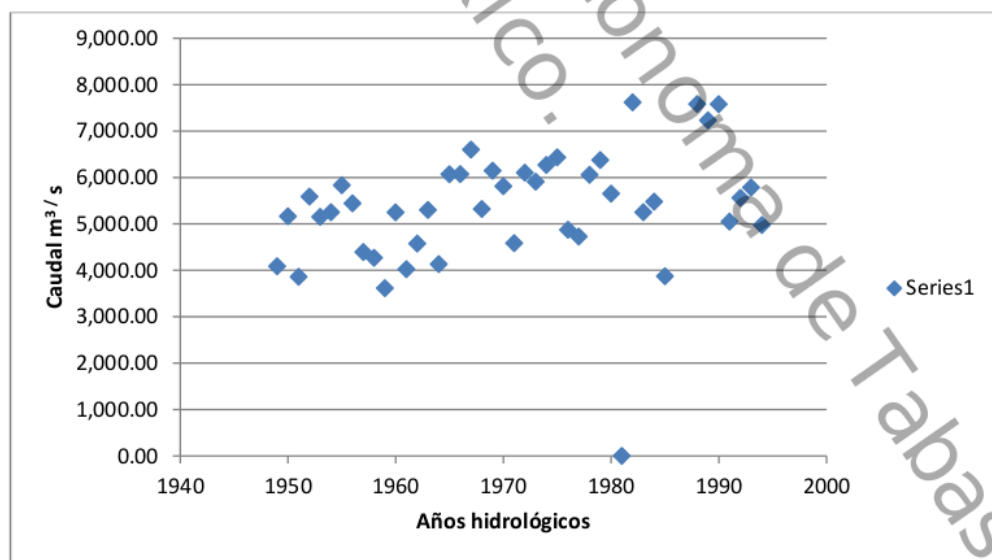
Fue instalado este aparato en el año de 1957, funcionando desde el 1° de julio de ese año y operándose hasta la fecha. La estación hidrométrica cuenta con laboratorio de sedimentos, los muestreos se iniciaron en enero de 1952.

La estación climatológica que se encuentra en este sitio dispone de pluviómetro, termómetro y evaporómetro a partir del mes de agosto de 1948, pluviógrafo (octubre 1948), termógrafo (enero 1956) e higrotermógrafo (septiembre 1957), es controlada por la S.R.H.

En la tabla 5.5 se presenta la estadística descriptiva de esta serie, comprendiendo un total de 42 años de información, el cálculo se realizó utilizando las formulas descrita por Campos Aranda en su libro: Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos. Las figuras 5.5 y 5.6 determinan el área y longitud del cauce principal de 2, 141.07km² y 101, 665.40m, de la estación de Boca del Cerro.

Media aritmética	$\bar{X}$	5,339.49
Mediana	M	5,382.16
Desviación estándar	S	1296.563263
Coeficiente asimetría	Ca	-1.386281763
Coeficiente de variación	Cv	0.242825362
Coeficiente de curtosis	Ck	8.694898311

Tabla 5.5. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Boca del Cerro.



Grafica 5.3. Serie de caudales máximos anuales para la estación Boca del Cerro.

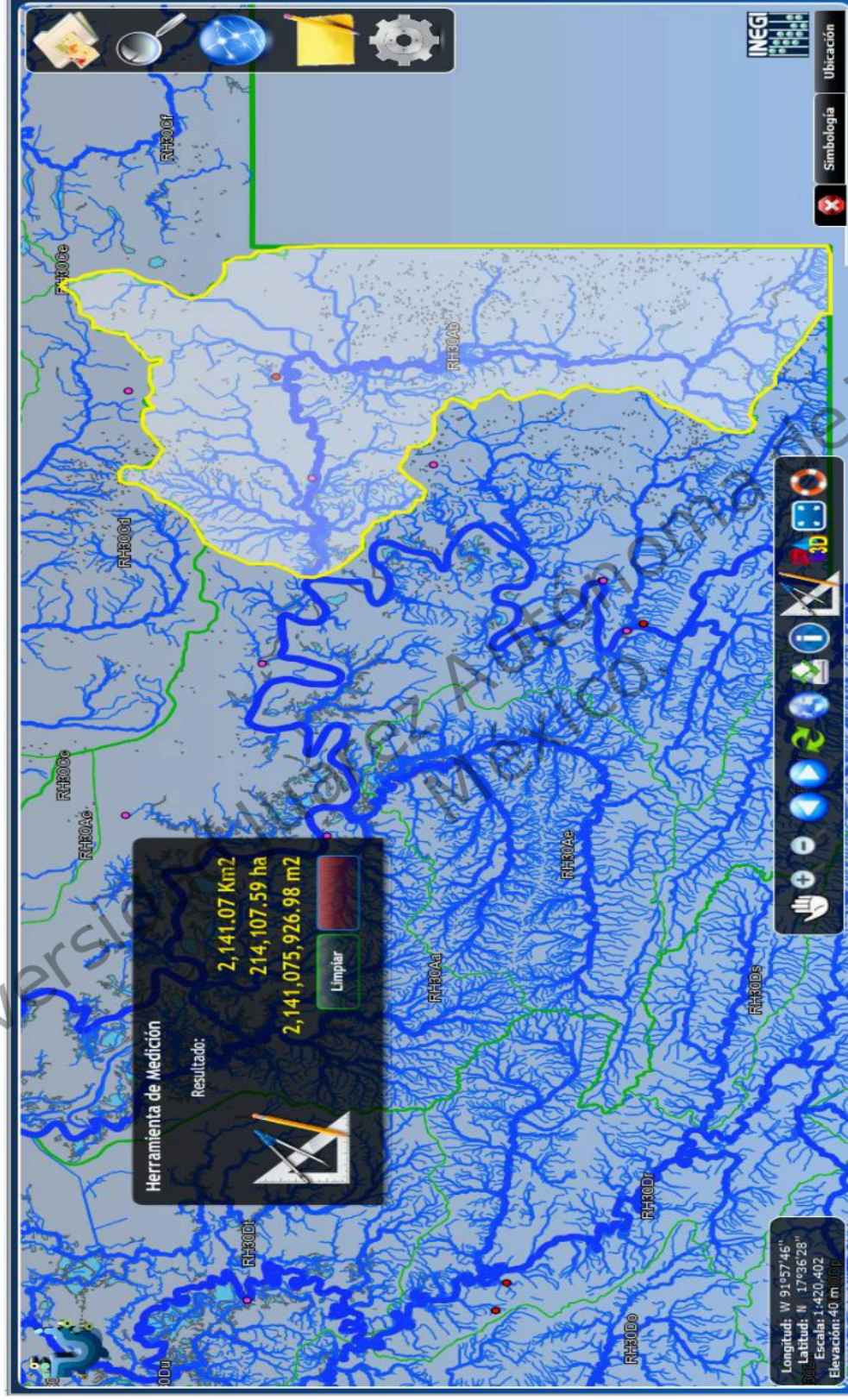


Figura 5.5. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Boca del cerro

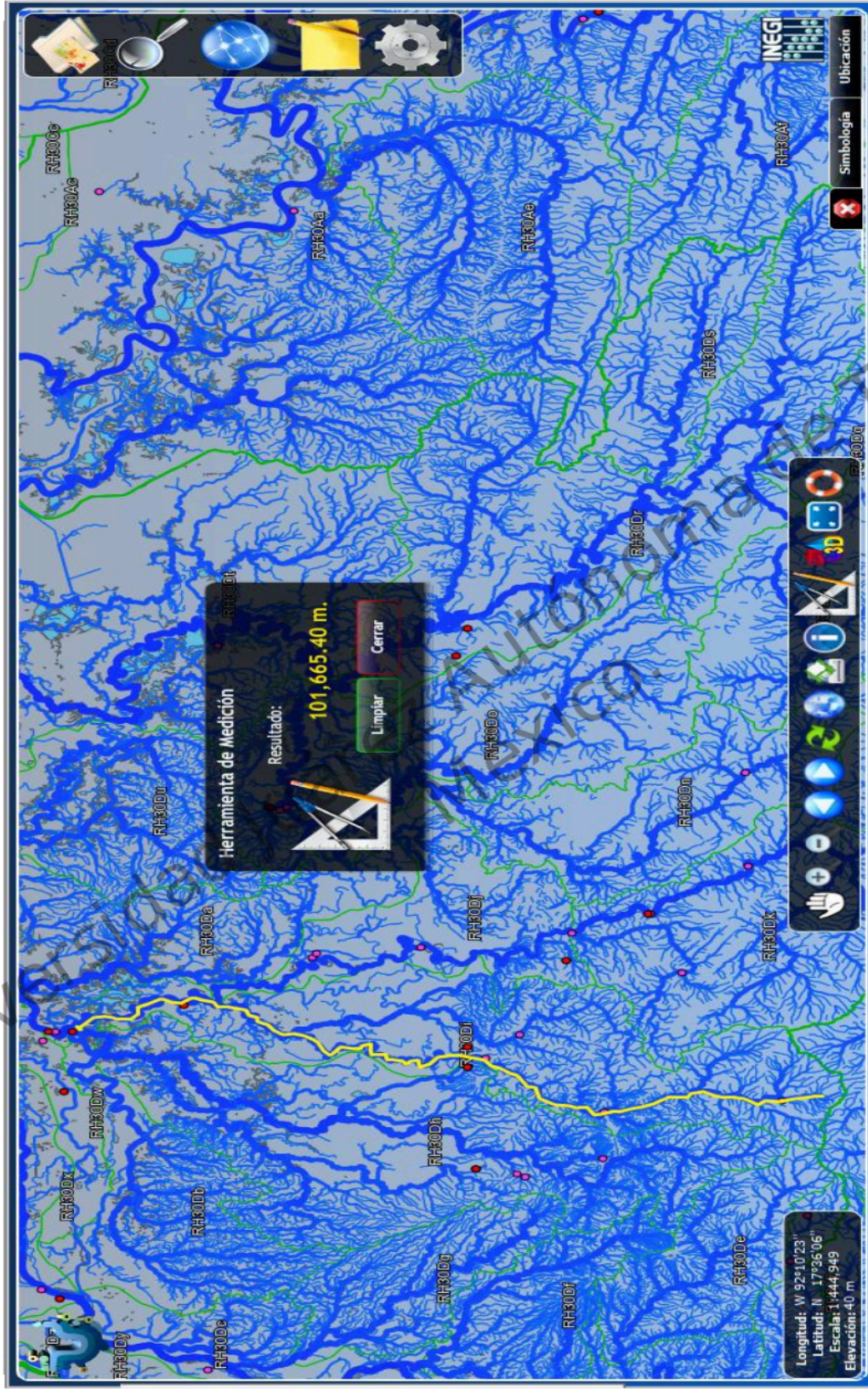


Figura 5.6. Longitud del cauce principal en la estación Boca del Cerro

5.2.4.- ESTACIÓN: GONZÁLEZ

Corriente: RIO CARRIZAL.

También llamado "Río Nuevo" es propiamente un brazo del río Mezcalapa, localizado en la "Sección Carrizal" de la zona La Chontalpa. Su escurrimiento, aguas abajo de Villahermosa, puede retornar al Grijalva por el canal de "La Pigua" o pasar al río Medellín que afluye al río González para desembocar finalmente al Golfo de México, en la bahía de Chiltepec.

2 La estación hidrométrica González se localiza a 400.00 m aguas arriba de donde termina el bordo de defensa del rompido de Zavala, frente al poblado de González en el municipio Centro, del estado de Tabasco. Es accesible por la carretera federal 180 "Circuito del Golfo" hasta el Rompido de Zavala y de ahí siguiendo por el bordo Zavala-Samaria.

La estación hidrométrica González fue instalada para conocer el escurrimiento en el río Carrizal, antes de llegar al Rompido de Boca de Zavala, sitio en el cual el río desagua cuando el tirante excede de cierto nivel.

Tiene una longitud en línea recta de 140.00 m, sus márgenes son limo arcillosas. El fondo del río es limo arenoso, no tiene control, la sección de aforos es trapecial y perpendicular a la corriente.

Se observan lecturas de escala diarias cada seis horas durante el estiaje y cada hora en las crecientes, en una escala en posición vertical, la cual en su parte superior es de concreto y mosaico con 3 m de longitud y en la parte baja del río es de madera de cedro con longitud de tres metros, haciendo una capacidad total de seis metros.

La cota del cero de la escala es 2.187 m referida a los bancos de nivel de la Comisión de Grijalva y de 4.467 m sobre el nivel del mar. Las lecturas en esta escala se iniciaron el 10. de agosto de 1957 continuando hasta la fecha.

Para aforar se empleaba un "cayuco" retenido a un cable de acero 0.95 cm de diámetro, tendido a través del cauce y apoyado en masteleros de tubo, de 9 m de altura, separados entre sí 140.00 m.

Los aforos se practican con un molinete Gurley, desde un cayuco, iniciándose dicho aforos el 10. de agosto de 1957, realizándose en forma normal hasta la fecha.

No cuenta con limnógrafo para el registro gráfico de niveles. Se analizan muestras de sedimentos en el laboratorio instalado en la estación hidrométrica, desde el 3 de julio de 1962. Se toman muestras de tipo superficial.

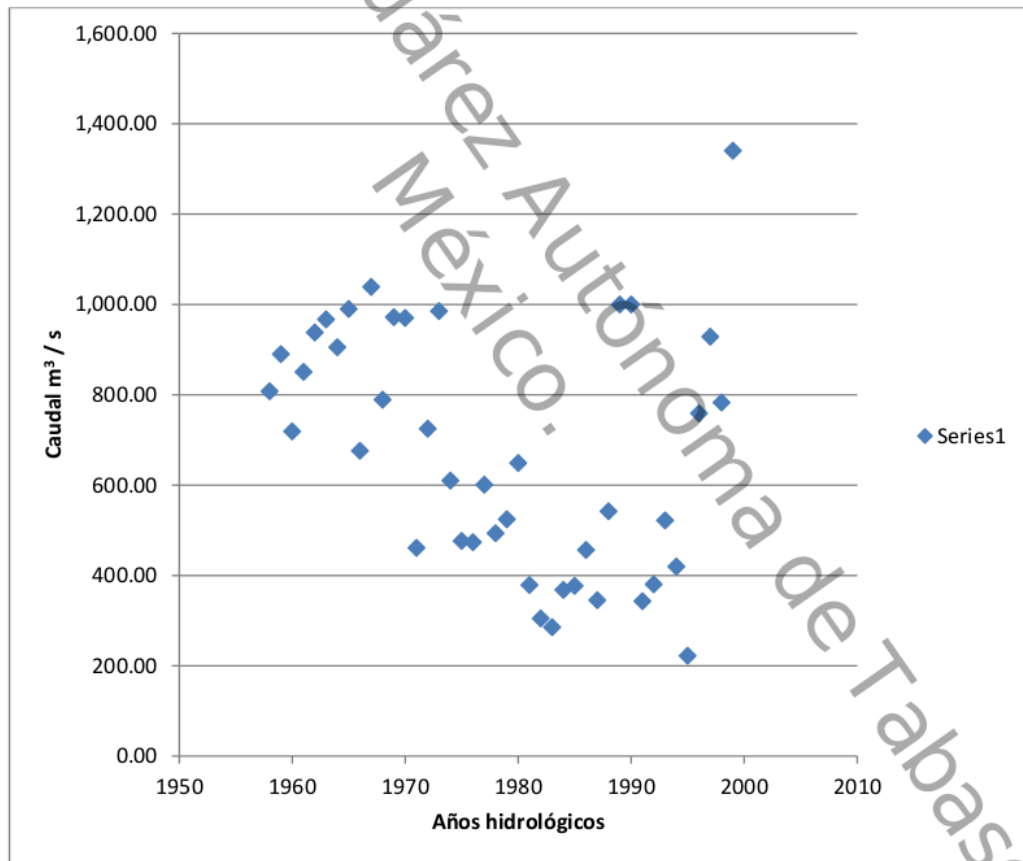
Las observaciones climatológicas realizadas en estación climatológica más cercana a este sitio, corresponde a la Ciudad de Villahermosa, en donde existen los siguientes datos registrados en lugares diferentes dentro de esa población por el Servicio Meteorológico Nacional, por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y por la Universidad Juárez de Tabasco.

En la tabla 5.6 se presenta la estadística descriptiva de esta serie, comprendiendo un total de 42 años de información, el cálculo se realizó utilizando las formulas descrita por Campos Aranda en su libro: Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos.

La grafica 5.4 es con relación a los gastos máximos anuales con sus respectivos años, así mismo, las figuras 5.7 y 5.8, muestran el área de la cuenca y la longitud del colector principal, 1, 173.76km² y 46, 483.36m respectivamente.

Media aritmética	$\bar{X}$	673.16
Mediana	M	662.61
Desviación estándar	S	269.375615
Coeficiente asimetría	Ca	0.24067899
Coeficiente de variación	Cv	0.40016453
Coeficiente de curtosis	Ck	2.34914379

Tabla 5.6. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación González.



Grafica 5.4. Serie de caudales máximos anuales para la estación González.

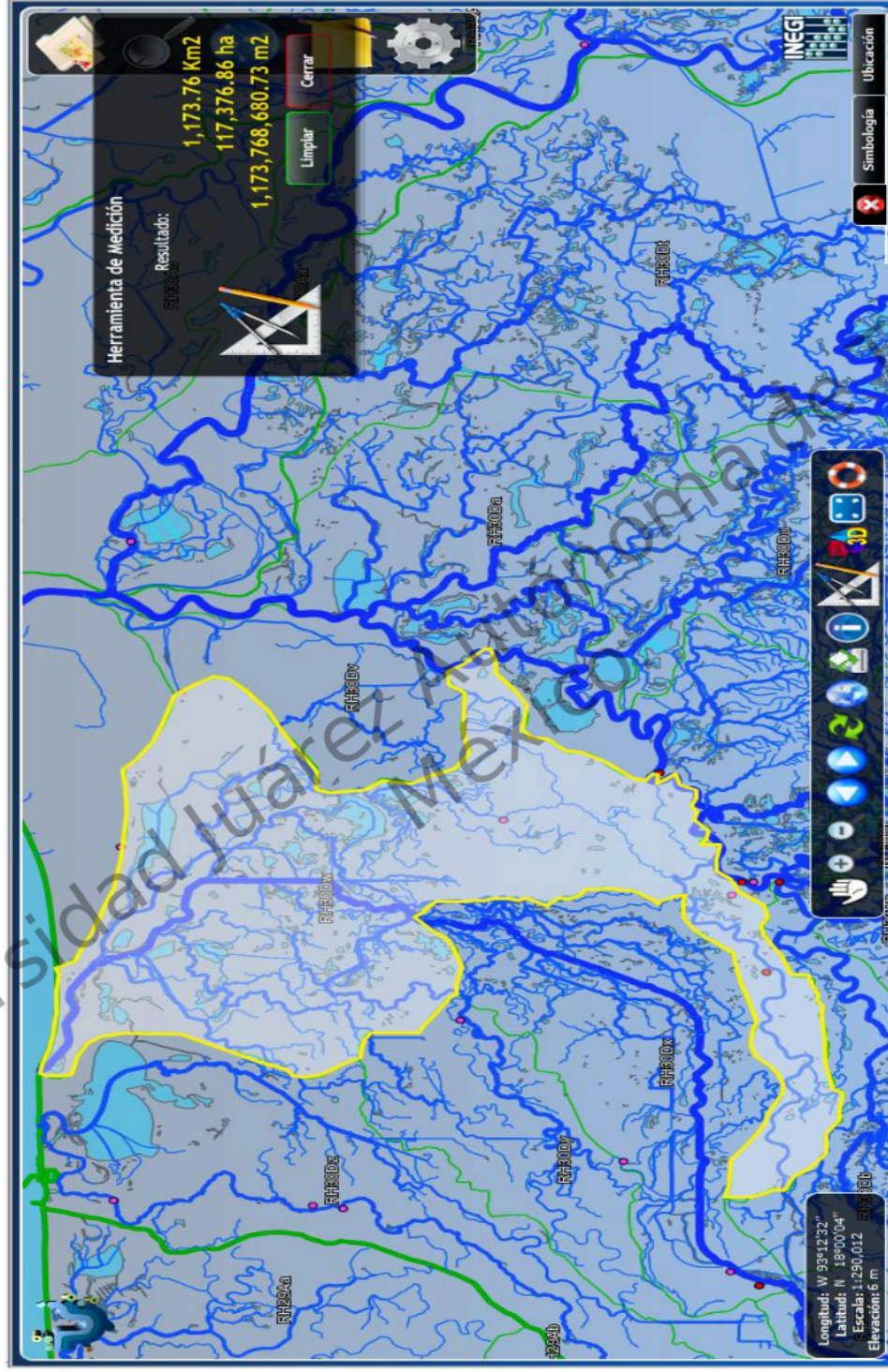


Figura 5.7. Ubicación geográfica y demarcación de la estación González.

5.2.5.- ESTACIÓN: LAS GAVIOTAS II

Corriente: RIO GRIJALVA

El río Grijalva se origina de numerosos arroyos y ríos que bajan de la Sierra Cuchumatanes en Guatemala; toma el nombre de Grijalva a partir de la confluencia de los ríos San Gregorio y San Miguel, atraviesa el Valle de Chiapas con el nombre de río Grijalva o río Grande de Chiapas; sus aguas son almacenadas y regularizado su régimen en la presa Netzahualcóyotl construida aguas abajo de la confluencia del río La Venta. El río cambia la dirección de su curso de noroeste que traía para seguir con tendencia al norte hasta entrar a la planicie costera del Golfo de México, en donde ya con el nombre de Mezcalapa se bifurca primero con el rompido de Samaria y cambia nuevamente la dirección de su curso hacia el este, vuelve a bifurcarse saliendo por su margen izquierda el río Carrizal y por la margen derecha el Viejo Mezcalapa, más adelante recibe por su margen derecha las aportaciones del río Pichucalco y del Río de la Sierra.

Aguas abajo de la confluencia de estos ríos está localizada la estación hidrométrica Gaviotas II. El río Grijalva va finalmente a desembocar en el Golfo de México por la barra de Frontera, después de recibir las importantes aportaciones del río Usumacinta.

La estación hidrométrica Las Gaviotas II se localiza aproximadamente a 5 Km al sureste del centro de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, en el municipio del Centro, Tabasco. A unos 300 m aguas abajo de la confluencia del Río de la Sierra.

Es accesible por la carretera a Teapa, partiendo de Villahermosa, Tabasco a 8 Km de recorrido.

Se instaló para conocer las aportaciones de los ríos Viejo Mezcalapa, Pichucalco y del Río de la Sierra, tiene una longitud en línea recta de 250.00 m, los dos márgenes del río son arcillosas, el fondo es de arena fina y limo. No tiene control.

La sección de aforos es trapecial, las márgenes de la sección de aforos son arcillosas. A partir del 14 de Agosto de 1962 se toman lecturas de escala cada 6 horas en época de estiaje y cada hora durante las avenidas en cinco escalas de concreto y mosaico y tres de madera, las cuales solo se usan en época de estiaje.

Todas están en posición escalonada teniendo una capacidad total de 7 m. La elevación del cero se encuentra a -1.467 m.s.n.m. Las lecturas en éstas escalas se iniciaron el 14 de agosto de 1962 hasta la fecha.

Para los aforos se utiliza la estructura de cable vía y canastilla, apoyada en torres de concreto de 10 m de alto, con un claro total de 220 metros. Los aforos se practican con un molinete marca Chope desde la canastilla, iniciándose el 14 de agosto de 1962, y continuándose hasta la fecha.

Para el registro automático y gráfico de los niveles se emplea un limnógrafo Stevens tipo E, instalado en caseta y pozo de ladrillo, cuenta con escala, adosada al muro de la caseta exterior, de 7 m de capacidad. Los registros con este limnógrafo se iniciaron el 7 de julio de 1964 y se continúan normalmente hasta la fecha.

Se practican análisis de sedimentos en el laboratorio instalado en la propia estación hidrométrica, desde el 19 de octubre de 1963. Se toman muestras superficiales.

Los aforos, lecturas de escala y registros del limnógrafo son factores principales para elaborar el cálculo hidrométrico, empleando el método de curvas de gastos.

La estación climatológica más cercana es la de Villahermosa, situada a unos 8 km al noroeste, la cual cuenta con termómetro (julio de 1947), pluviómetro (septiembre de 1947), evaporómetro (julio de 1948), pluviógrafo (septiembre de

1948), e higrómetrografo (agosto de 1957); con los cuales viene siendo operada hasta la fecha, por la Secretaría de Recursos Hidráulicos

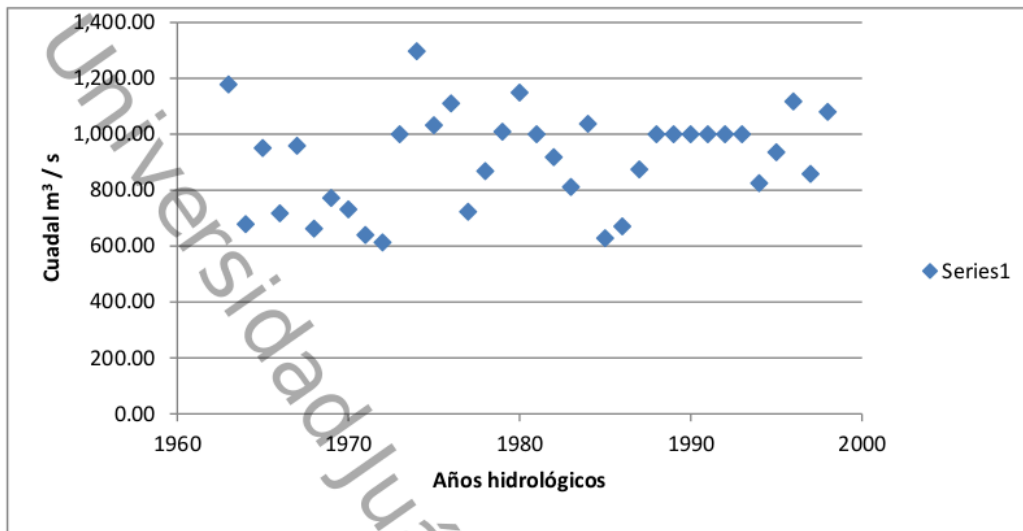
En este mismo sitio en el período comprendido entre el día 1o. de enero de 1944 y el 31 de octubre de 1947, se estuvieron efectuando aforos, dándosele a este lugar el nombre de estación hidrométrica "Las Gaviotas" y cambiándosele posteriormente por el de Gaviotas I. Se suspendieron en aquella época las observaciones al cambiarse éstas al Puente "La Majahua".

En la tabla 5.7 se presenta la estadística descriptiva de esta serie, comprendiendo un total de 28 años de información, el cálculo se realizó utilizando las formulas descrita por Campos Aranda en su libro: Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos.

La grafica 5.5 muestra la relación de los caudales máximos anuales y sus años de monitoreo. De manera adicional, las figuras 5.9 y 5.10, muestran el área de la cuenca de la estación Gaviotas II y longitud de su cauce principal, 1,311.24km² y 74,878.87m, respectivamente.

Media aritmética	$\bar{X}$	912.33
Mediana	M	954.68
Desviación estándar	S	174.020214
Coeficiente asimetría	Ca	-0.1003422
Coeficiente de variación	Cv	0.1907432
Coeficiente de curtosis	Ck	2.51558419

Tabla 5.7. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Gaviotas II.



Grafica 5.5. Serie de caudales máximos anuales para la estación Gaviotas II.

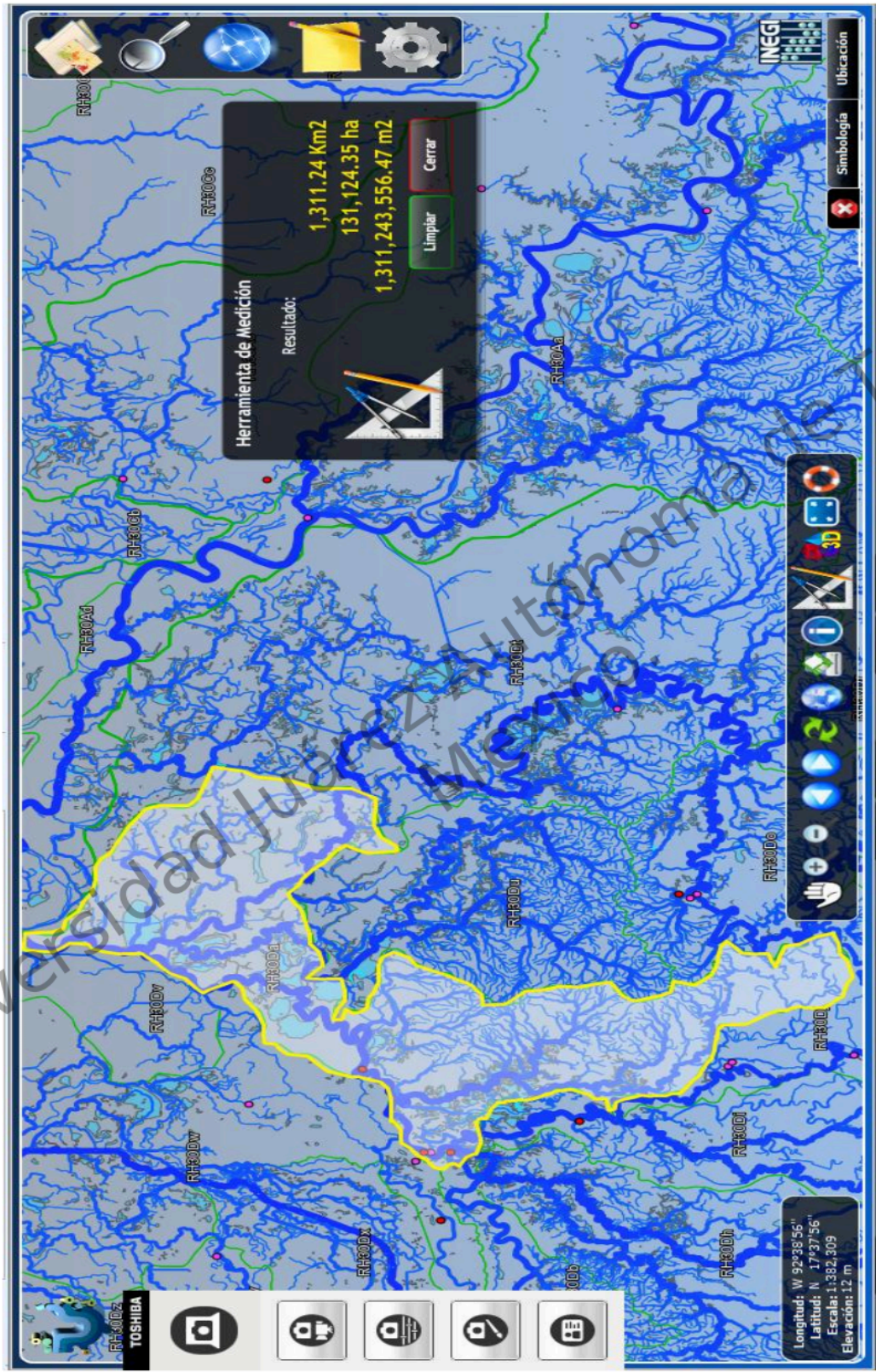


Figura 5.9. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Gaviotas II

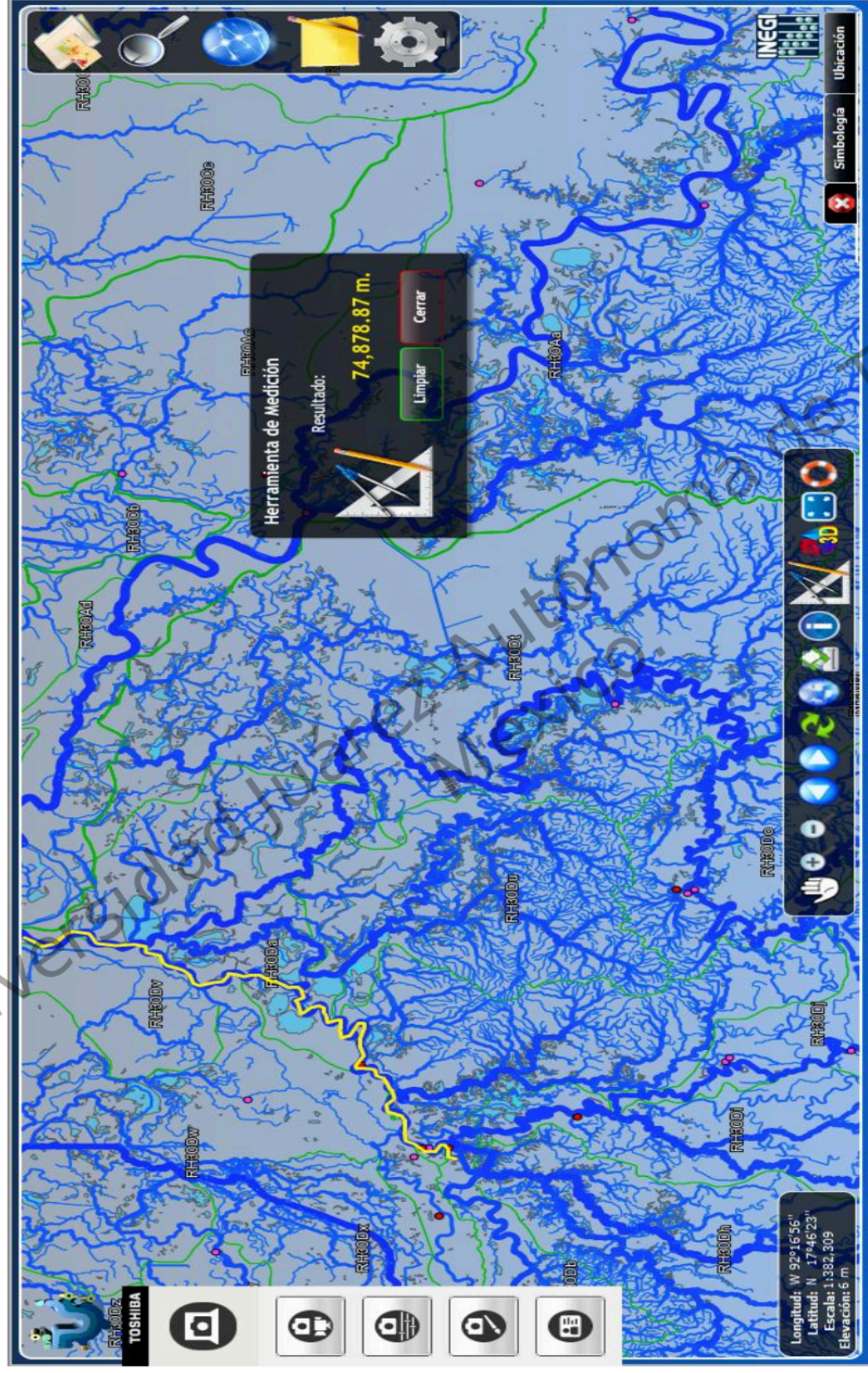


Figura 5.10. Longitud del cauce principal en la estación Gaviotas II

5.2.6.- ESTACIÓN: TAPIJULAPA

Corriente: RIO TACOTALPA

El río Tacotalpa es uno de los principales formadores del río de la Sierra, nace en la meseta Central de Chiapas, con el nombre de río Chacté, en las inmediaciones de los poblados de Oxchuc y Pantelho, pasa junto a la población de Sitalá y se dirige hacia el noroeste, recibiendo las aportaciones del río Plátanos a la altura de Simojovel, Chiapas, y un poco más adelante las del río Zacatic, a esta altura se le conoce como río Almendro; continúa su curso y atraviesa el límite entre Chiapas y Tabasco en Oxolotán para pasar junto a Tacotalpa, en donde toma el nombre de río Tacotalpa, hasta su confluencia con el río Teapa.

Está situada sobre el río Tacotalpa, a dos kilómetros aguas abajo de la población de Tapijulapa, a unos 70 Km al sureste de Villahermosa, y a 15 Km aguas abajo de la estación hidrométrica Oxolotán, en el municipio de Tacotalpa, estado de Tabasco.

Se accesa por la carretera federal 195, partiendo de Villahermosa hasta la población de Teapa; de aquí se continúa por camino de terracería hasta Tapijulapa.

El objetivo de aforar era el conocer el régimen del río Tacotalpa, para posibles aprovechamientos hidráulicos.

El tramo es recto en una longitud de 160 m, con cauce profundo labrado en material areno arcilloso y el fondo del cauce cubierto con acarreos gruesos y grava.

La sección de aforos es de forma trapezoidal, con márgenes altas en material areno arcilloso, con acarreos gruesos y piedras en el fondo del cauce.

La escala está localizada en la margen izquierda a dos metros aguas abajo de la sección de aforos, y formada por nueve tramos de concreto de un metro cada uno, con capacidad total de nueve metros. El cero se encuentra a la cota 11.00 m, referida a un banco de nivel arbitrario. Se cuenta con datos de lectura de escala a partir del 11 de marzo de 1964.

Se utilizaba una estructura de cable y canastilla, apoyado en bases de concreto, con un claro total de 150 m.

Los aforos por el método de sección y velocidad, realizados con molinete hidráulico, se iniciaron el 11 de marzo de 1964.

Para el registro gráfico y automático de la variación de niveles, se cuenta con un limnógrafo Stevens, tipo E, instalado en una estructura de piedra y concreto con altura total de 11 metros (caseta y pozo), con galería horizontal de 6 metros de longitud y comunicación por medio de tubos. Esta estructura está ubicada en la margen izquierda a cinco metros aguas abajo de la sección de aforos. El día 13 de octubre de 1965 inició su operación este aparato, continuando funcionando hasta la fecha.

Se practican análisis de sedimentos a partir del 1° de septiembre de 1966; se toman muestras superficiales.

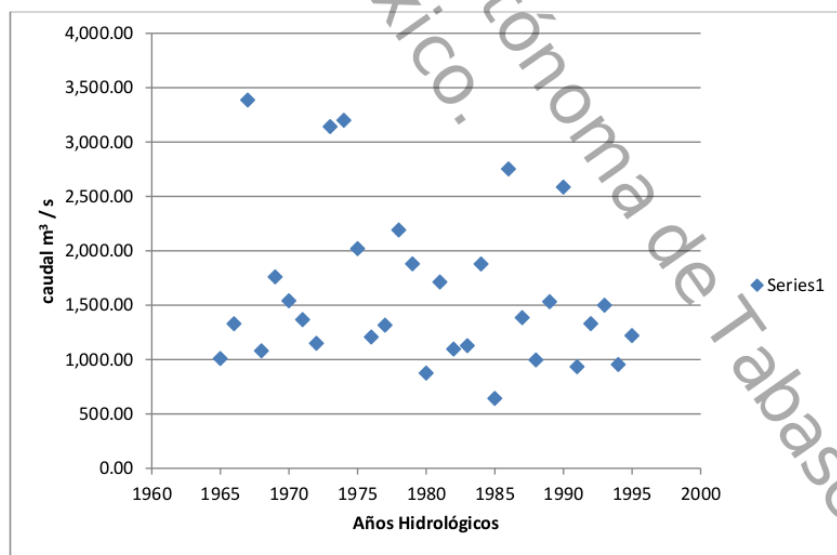
La estación climatológica está instalada en la población de Tapijulapa, cuenta con pluviómetro, termómetro y evaporómetro, con los cuales se iniciaron las observaciones a partir de abril de 1942. La estación climatológica es operada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

En la tabla 5.4 se presenta la estadística descriptiva de esta serie, comprendiendo un total de 31 años de información, el cálculo se realizó utilizando las formulas descrita por Campos Aranda en su libro: Análisis probabilístico univariado de datos

hidrológicos, la gráfica 5.6 es el resultados de los caudales máximos anuales para la estación Tapijulapa, así mismo, las figuras 5.11 y 5.12 describen el área de la cuenca y la longitud de su cauce principal, 1,042.69km² y 67,697.34m, respectivamente.

Media aritmética	$\bar{X}$	1,616.29
Mediana	M	1,367.10
Desviación estándar	S	724.4523821
Coeficiente asimetría	Ca	1.180512929
Coeficiente de variación	Cv	0.448220022
Coeficiente de curtosis	Ck	3.787760648

Tabla 5.8. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Tapijulapa.



Grafica 5.6. Serie de caudales máximos anuales para la estación Tapijulapa.

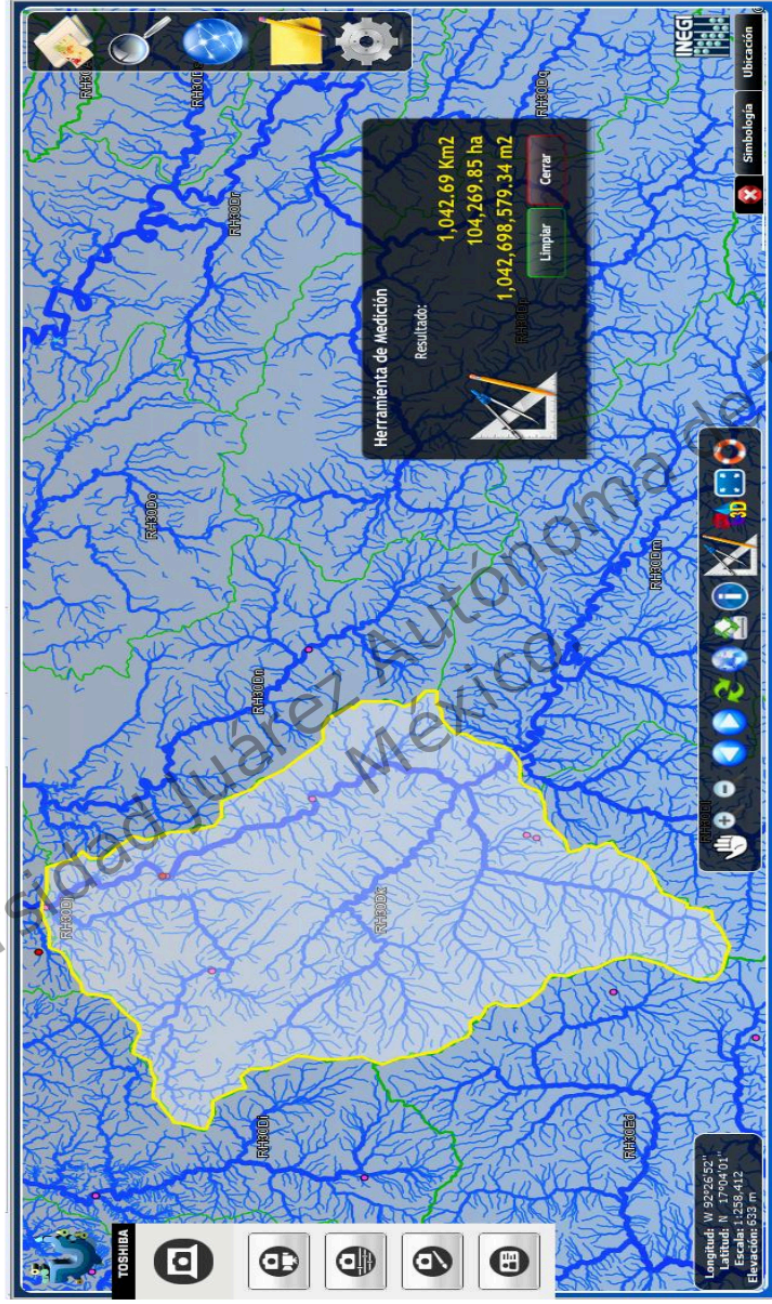


Figura 5.11. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Tapiulapa

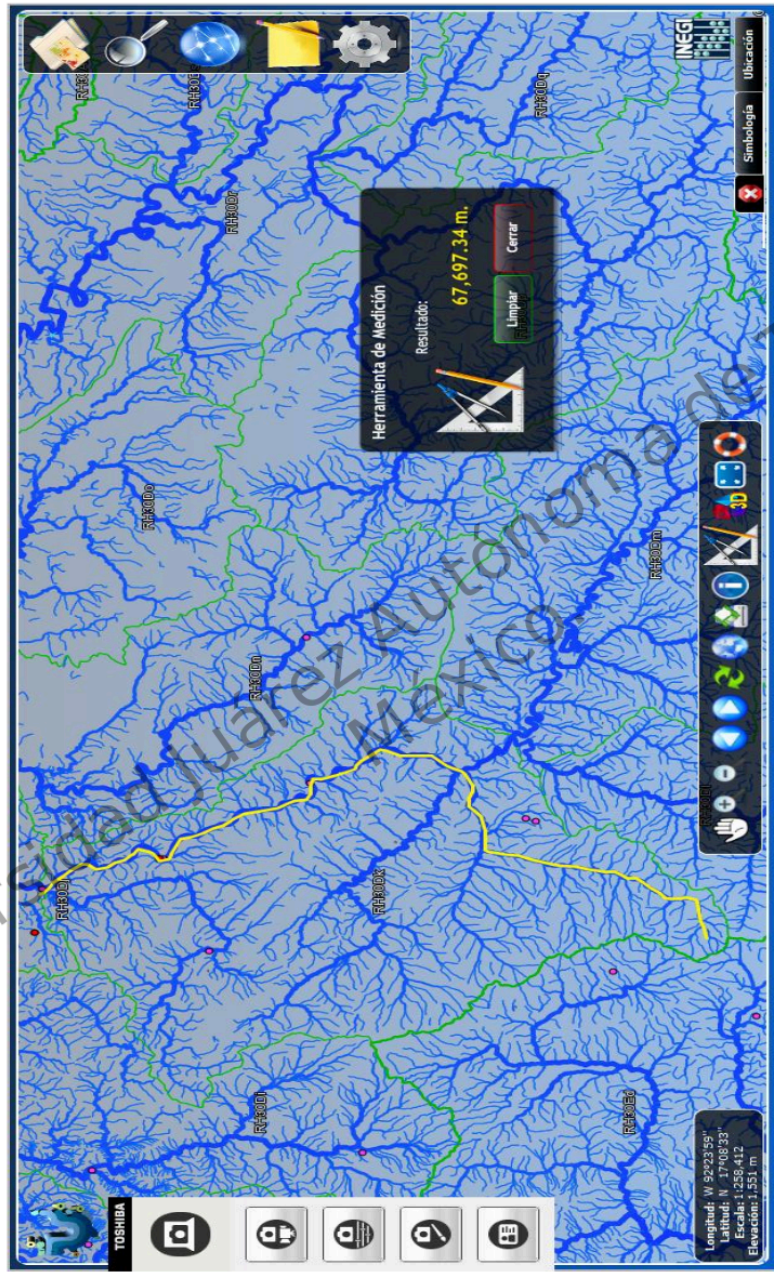


Figura 5.12. Longitud del cauce principal en la estación Tapijulapa

5.2.7.- ESTACIÓN: PLATANAR

Corriente: RIO PLATANAR.-

El río Platanar es uno de los principales afluentes del río Mezcalapa que afluyen a él por su margen derecha en el tramo comprendido entre las estaciones hidrométricas "Las Peñitas y El Dorado" (suspendida), nace en las inmediaciones del poblado La Unión, Chiapas, a una altitud aproximada de 1000 m.s.n.m. corre en dirección noreste y recorre aproximadamente 40 Km desde su origen hasta su confluencia.

La estación Platanar se encuentra sobre el río del mismo nombre aproximadamente a 8 Km al norte del poblado Jesús María, 5 Km aguas arriba de la confluencia con el río Mezcalapa, en el municipio de Pichucalco, en el estado de Chiapas.

Se accesa por la carretera federal 180 hasta Cárdenas, Tabasco, para continuar por la carretera a la presa Netzahualcóyotl hasta Huimanguillo y de ahí seguir al poblado de San Manuel a 18 Km y de este poblado a Platanar, Chiapas otros 5 Km.

El objetivo de su instalación fue el conocer las aportaciones del río Platanar al río Mezcalapa.

El cauce tiene una longitud en línea recta de 150 m, márgenes arcillosas y el lecho arenoso, la sección de aforar es de forma trapecial y perpendicular a la corriente, las márgenes son arcillosas y el lecho del río arenoso.

Los niveles se leen en una escala seccionada en 5 tramos de un metro cada uno, lo que logra una capacidad total de 5 m; cuatro de los tramos son de concreto y uno de madera y están colocados en posición escalonada en la margen izquierda a 4 m aguas abajo de la sección de aforos. La cota del cero está a 15 m respecto

a un banco de nivel colocado sobre una escala de concreto junto a la caseta del limnógrafo en la margen izquierda y con cota arbitraria 20 m. Datos disponibles a partir del 17 de abril de 1964 a la fecha.

Cuenta con estructura para aforos compuesta de dos torres de concreto, para cable de acero y canastilla, el cual cubre un claro total de 60 m.

Se afora por el método de sección y velocidad, con molinete hidráulico Gurley 622, desde la canastilla. Se tienen datos disponibles a partir del 16 de abril de 1964 a la fecha.

Existe una estructura para limnógrafo en la margen izquierda a 4 m aguas arriba de la sección de aforos, con caseta, pozo y galería de block y concreto en la cual se encuentra instalado un limnógrafo Stevens, el cual inició sus registros el 2 de septiembre de 1964.

Se iniciaron los análisis de sedimentos a partir del 21 de noviembre de 1966, utilizando muestras de tipo superficial.

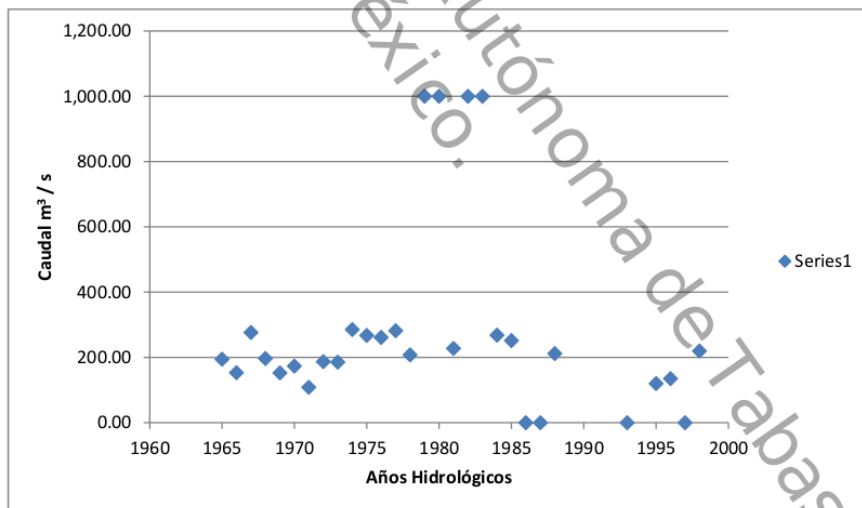
La estación climatológica se encuentra en la margen izquierda y cuenta con pluviómetro, termómetro, evaporómetro y veleta, la controla la Secretaría de Recursos Hidráulicos y opera desde junio de 1964 con los dos primeros aparatos y desde septiembre del mismo año con todos los aparatos mencionados.

En la tabla 5.9 se presenta la estadística descriptiva de esta serie, comprendiendo un total de 21 años de información, el cálculo se realizó utilizando las formulas descrita por Campos Aranda en su libro: Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos. La grafica 5.7 corresponde a la relación existente entre los caudales máximos anuales y sus años de monitoreo.

La figura 5.13 y 5.14, de marcan el área de la estación y la longitud de su cauce principal, 404.17km² y 42,434.57m, respectivamente.

Media aritmética	$\bar{X}$	288.45
Mediana	M	208.00
Desviación estándar	S	307.286316
Coefficiente asimetría	Ca	1.83618044
Coefficiente de variación	Cv	1.06530184
Coefficiente de curtosis	Ck	5.07134726

Tabla 5.9. Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos medios diarios anuales para la estación Platanar.



Grafica 5.7. Serie de caudales máximos anuales para la estación Platanar.

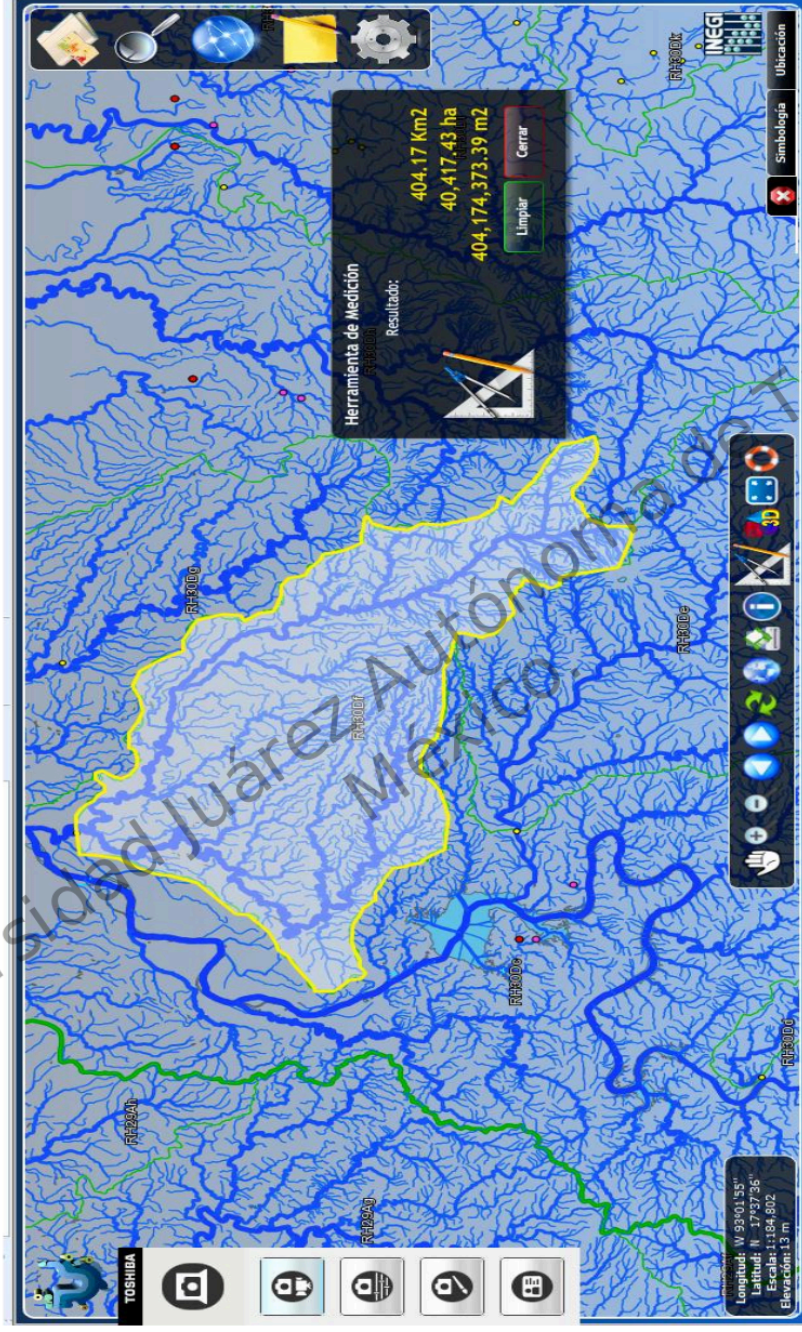


Figura 5.13. Ubicación geográfica y demarcación de la estación Platanar

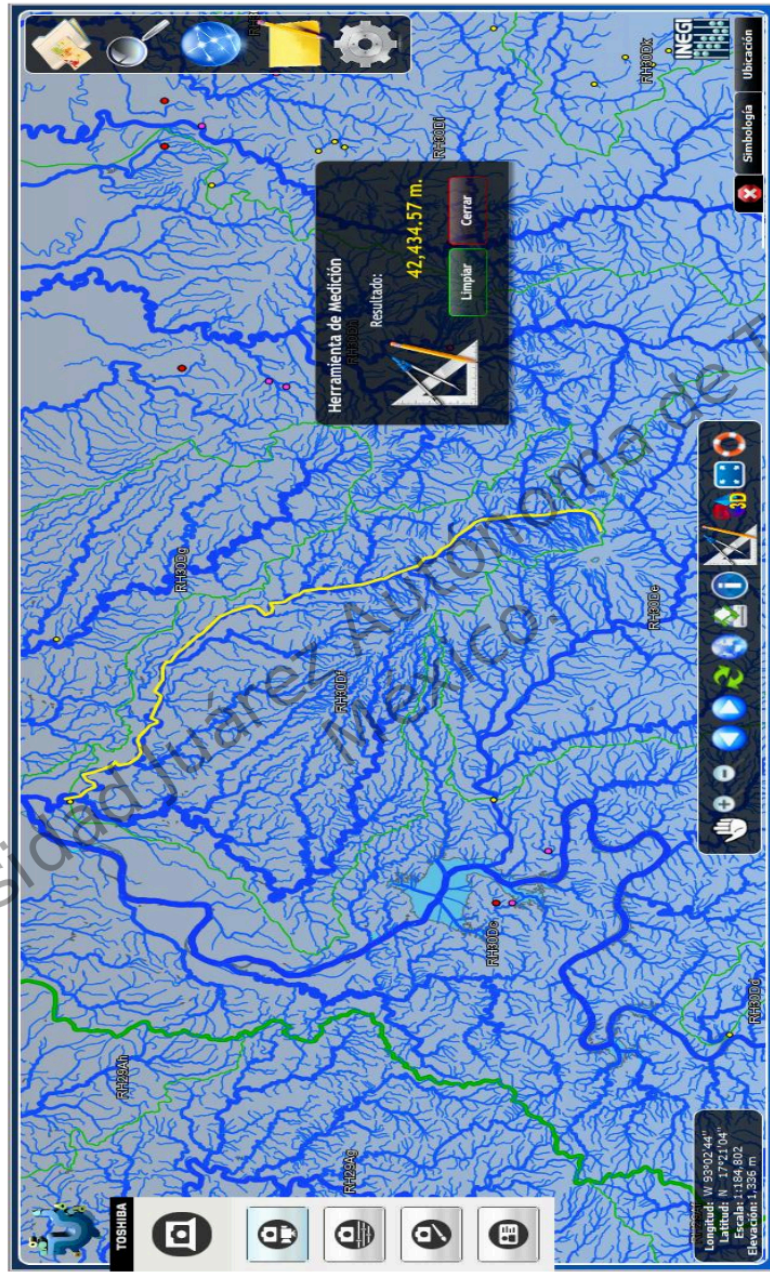


Figura 5.14. Longitud del cauce principal en la estación Platanar

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

Dado que la estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, es uno de los principales procedimientos en la hidrología, que tiene como fin la determinación del caudal de diseño para una determinada estructura hidráulica o para el trazado de mapas de inundación.

El trabajar la regionalización con gastos ⁹ máximos permite superar estos inconvenientes, ya que se basa en el uso simultaneo de los datos registrados en todas las estaciones hidrométricas ubicadas dentro de una zona considerada hidrológicamente homogénea, con lo que la serie resultante es mucho más larga que la de una estación en particular, además de que permite el cálculo de caudales máximos en cualquier cuenca que no tenga estación hidrométrica, ya que establece relaciones entre las características fisiográficas de las cuencas y los caudales máximos.

En la tabla 6.1, se muestran los valores de volumen de sedimentos medio anual de las 7 estaciones hidrométricas que fueron seleccionadas con tamaño de registro de 10, 11, 12, 15, 29, 30 y 31 años.

La tabla 6.2 y 6.3, contienen datos generales de las estaciones hidrométricas de la región hidrológica No. 30 (Tabasco- Chiapas) que cuentan con registro de sólidos en suspensión, las cuales serán utilizadas en el análisis regional para determinar homogeneidad entre las zonas geográficas para los diseños hidrológicos.

NUM	PENITAS	P. NUEVO	B. CERRO	GONZALEZ	GAVIOTAS II	TAPIJULAPA	PLATANAR
1	9541.99	442.72	5470.65	4426.52	2295.84	429.31	248.06
2	15411.47	820.39	4670.19	4290.28	1242.71	1331.26	166.04
3	17908.38	2443.55	4098.1	3363.86	1238.25	2021.72	92.51
4	14087.87	1287.71	7672.95	462.89	1286.52	1076.29	146.4
5	29727.74	1888.42	6004.83	783.91	1381.13	326.76	43.26
6	31578.81	1578.91	4940.32	786.38	1293.36	2825.49	95.18
7	22269.98	1412.28	5190.58	1022.63	1229.37	2089.83	166.46
8	12306.45	2323.03	5516.66	1070.46	896.65	2335.21	186.87
9	19840.6	2397.84	4150.56	561.94	2243.64	1235.91	142.1
10	17414.16	2401.14	6093.03	511.59	1897.15	3184.51	49.83
11	28945.01	1952.59	3651.69	731.11	1565.66	1080.79	
12	14973.97	1572.41	3204.04	336.58	2577.18		
13	22304.34	2214.33	2317.43	415.4			
14	31635.73	1727.68	2599.69	427.07			
15	18867.24	1165	6988.95	966.33			
16	18687.52	1433.07	6795.54				
17	700.7	1828.11	7766.26				
18	3602.28	1571.13	6812.54				
19	2347.17	2269.52	9970.42				
20	1335.1	2537.45	10904.28				
21	3795.53	1095.13	6702.65				
22	73.1	882.93	13959.49				
23	586.57	2478.22	12573.39				
24	4439.62	2414.73	12271.47				
25	2523.44	2239.02	8928.11				
26	331.4	1307.36	8025.28				
27	1434.15	2383.64	7673.49				
28	807.52	3805.47	12527.14				
29	2976.53	6177.3	14887.43				
30	2087.56		13504.4				
31			13504.51				
PRO	11751.398	2001.761379	7529.052	1343.7967	1595.62167	1630.643636	133.671

Tabla 6.1. Datos anuales de acarreo en suspensión (10^3 m^3) en las 7 estaciones hidrométricas indicadas en la región hidrológica No. 30 (Tabasco-Chiapas).

Tabla 6.2 Datos generales de las estaciones hidrométricas de la región hidrológica No. 30 (Tabasco- Chiapas) que cuentan con registro de sólidos en suspensión.

NUM	ESTACIÓN	CLAVE	CORRIENTE	CUENCA	AREA(Km ²)	PERIODO (n)	VEMA(10 ³ m ³)	VSMA(10 ³ m ³)	%MS	%Smin	%Smax
1	PEÑITAS	30015	RIO MEZCALAPA	RIO GRUJALVA	1453.82	1950-1979 (30)	21440317	11751.3977	0.0548098	73.1	31635.7
2	PUEBLO NUEVO	30016	RIO DE LA SIERRA	RIO GRUJALVA	1095.7	1950-1982 (29)	5999315.28	2001.76138	0.0333665	442.72	6177.3
3	BOCA DEL CERRO	30019	RIO USUMACINTA	RIO USUMACINTA	2141.07	1951-1982 (31)	59111414.5	7529.052	0.0127371	2317.4	14887.4
4	GONZALEZ	30062	RIO CARRIZAL	RIO GRUJALVA	1173.76	1963-1980 (15)	6136270.4	1343.79667	0.0218992	336.58	4426.52
5	LAS GAVIOTAS II	30083	RIO GRUJALVA	RIO GRUJALVA	1311.24	1964-1978 (12)	8263454.39	1595.62167	0.0193094	896.65	2577.18
6	TAPIULAPA	30093	RIO TACOTALPA	RIO GRUJALVA	1042.85	1968-1980 (11)	3412508.64	1630.34364	0.0477755	326.76	3184.51
7	PLATANAR	30094	RIO GRUJALVA	RIO GRUJALVA	404.17	1967-1977 (10)	926201.82	133.671	0.0144322	43.26	248.06

SIMBOLOGIA

- N Número de datos anuales
- VEMA Volumen escurrido medio anual
- VSMA Volumen de sedimentos medio anual
- %MS Porciento medio de sedimento por volumen
- %Smin Porciento de sedimentos anual mínimo por volumen
- %Smax Porciento de sedimento anual máximo por volumen

En la tabla 6.3, se observa que la llamada aportación de sedimentos medio anual varía de 404.17 a 2141.07m³/km² siendo este intervalo bastante amplio de acuerdo a las magnitudes citadas en la literatura especializada (Morris y Fan, 1998) y con ello, se generara confianza para iniciar las pruebas de confianzas con respecto a la homogeneidad de la región y con ello, se generara cierta confianza con respecto a la homogeneidad de la región.

De manera adicional, se presentan los principales parámetros físicos de las cuencas de las siete estaciones hidrométricas que serán utilizadas.

Tabla 6.3 Características fisiográficas de las cuencas de estaciones hidrométricas seleccionadas de la región hidrológica No.30 que tienen registro de volumen de sólidos suspendidos.

NUM	ESTACION	V SMA	A (Km²)	AS(m³/Km²)	PMA(MM)	Sc	Em(M.S.N.M)	Lcp(Km)	Scp	p/(Km/Km²)	Dc(1/Km²)	Dd(Km/Km²)
1	PEÑITAS	11751398	1453.82	8083.117874	3305.6	20.1	530	168.2	0.42	2.7794		2.1077
2	PUEBLO NUEVO	2001761	1095.7	1826.924687	2054.2	27.1	1240	101.67	1.63	2.3008		1.6125
3	BOCA DEL CERRO	7529052	2141.07	3516.490393	2312.1	8	70.5	97.729	3	3.3317		1.1333
4	GONZALEZ	1343797	1173.76	1144.864938	1988.6	0.08	4.467	46.483	0.02	2.2033		0.667
5	GAVIOTAS II	1595622	1311.24	1216.879953	1959.7	0.66	17	74.879	0.01	2.9877		0.7721
6	TAPIJULAPA	1630344	1042.85	1563.353924	3574.1	42.3	908	67.697	2.29	1.5261		1.5386
7	PLATANAR	133671	404.17	330.7296435	2986.4	42.3	1240	42.435	2.29	1.5261		1.5386

Volumen de sedimentos medio anual

V SMA

Área de la cuenca

A

Aportación de sedimentos medio anual

AS

Máxima

M

Mínima

M

Precipitación media anual

PMA

Pendiente promedio de la cuenca

Sc

Elevación media de la cuenca

Em

Longitud del colector principal

Lcp

Pendiente promedio del colector principal

Scp

Parámetro de forma o índice de Gravelius

Pf

Densidad de corriente (número total de corrientes entre a)

Dc

Densidad de drenaje (longitud total de corrientes entre a)

Dd

El método de momentos de probabilidad pesada ha sido considerado por Greenwood et al 1979, como una vía alternativa para la estimación de parámetros de la función de distribución de probabilidad general de valores extremos (GVE) para el análisis de gastos máximos anuales ya que presenta una mayor flexibilidad de modelación para grandes cantidades de datos sin ninguna dificultad, los resultados se muestran en la tabla 6.4.

NUM	ESTACIÓN	INSESGADOS					SESGADOS				
		B ₀	B ₁	B ₂	n	B ₁	B _{1/B₀}	B _{1-P}	B ₂	B _{2/B₀}	B _{2-P}
1	PEÑITAS	11751.3977	8883.060218	7106.74857	30	8724.1	0.742384701	0.1614	6900.1	0.587169329	0.1276
2	PUEBLO NUEVO	2001.76138	1257.119236	940.622325	29	1237.9	0.618420107	0.13	917	0.458095115	0.0963
3	BOCA DEL CERRO	7529.052	4907.690237	3670.88482	31	4836.6	0.642386234	0.1443	3584.5	0.47609322	0.1069
4	GONZALEZ	1343.79667	1011.851952	849.160095	15	975.75	0.726114624	0.0789	794.64	0.591338897	0.0643
5	GAVIOTAS II	1595.62167	946.7471212	694.187652	12	914.187652	0.573062219	0.0498	654.59	0.410238384	0.0357
6	TAPIJULAPA	1630.34364	1092.177455	827.606909	11	1044.8	0.640829754	0.0511	770.67	0.47270566	0.0377
7	PLATANAR	133.671	85.66388889	63.4539722	10	81.776	0.611770579	0.0443	58.957	0.441061876	0.032
	SUMAS				138.00		4.554968218	0.6598		3.436702481	0.5005
	PROMEDIOS				19.714		0.650709745			0.490957497	

Tabla 6.4 Momentos de probabilidad pesada muestrales (b_r) in sesgados y sesgados ponderados

Estac.	30015		30016		30019		30069		30083		30093		30094
Año	Vol	Año	Vol	Año	Vol	Año	Vol	Año	Vol	Año	Vol	Año	Vol
1942	2065.20	1948	795.00	1949	4,089.00	1958	808.00	1963	1,178.00	1965	1,009.12	1965	194.60
1943	6991.25	1949	747.00	1950	5,163.00	1959	890.00	1964	678.67	1966	1,328.88	1966	153.25
1944	580.00	1950	708.00	1951	3,860.00	1960	719.00	1965	950.80	1967	3,386.00	1967	276.30
1945	714.20	1951	739.00	1952	5,589.00	1961	851.00	1966	717.22	1968	1,080.20	1968	196.68
1946	746.47	1952	889.00	1953	5,150.00	1962	938.00	1967	958.56	1969	1,760.00	1969	152.40
1947	771.20	1953	767.00	1954	5,252.00	1963	966.90	1968	662.20	1970	1,541.04	1970	173.50
1948	692.50	1954	744.00	1955	5,835.00	1964	905.50	1969	772.00	1971	1,367.10	1971	108.40
1949	2614.00	1955	788.00	1956	5,442.00	1965	990.00	1970	731.10	1972	1,149.80	1972	186.95
1950	2336.00	1956	737.00	1957	4,394.00	1966	676.08	1971	639.70	1973	3,142.25	1973	185.70
1951	437.00	1957	750.00	1958	4,270.00	1967	1,038.94	1972	613.00	1974	3,200.00	1974	285.20
1952	594.23	1958	805.00	1959	3,614.00	1968	789.14	1973	1,000.00	1975	2,020.00	1975	267.40
1953	545.50	1959	750.00	1960	5,249.00	1969	972.00	1974	1,297.00	1976	1,207.50	1976	261.20
1954	516.35	1960	771.00	1961	4,024.00	1970	970.00	1975	1,032.00	1977	1,316.00	1977	281.75
1955	1600.00	1961	929.00	1962	4,576.00	1971	461.20	1976	1,110.00	1978	2,190.92	1978	208.00
1956	639.00	1962	932.00	1963	5,300.00	1972	725.10	1977	722.70	1979	1,880.00	1979	1,000.00
1957	362.00	1963	889.00	1964	4,133.13	1973	985.50	1978	868.00	1980	876.00	1980	1,000.00
1958	2232.00	1964	960.00	1965	6,070.00	1974	610.00	1979	1,009.00	1981	1,713.00	1981	227.72
1959	615.50	1965	834.90	1966	6,074.00	1975	476.60	1980	1,149.00	1982	1,097.00	1982	1,000.00
1960	2003.00	1966	842.00	1967	6,600.00	1976	473.80	1981	1,000.00	1983	1,128.00	1983	1,000.00
1961	795.00	1967	922.40	1968	5,322.31	1977	601.00	1982	918.00	1984	1,878.52	1984	268.00
1962	1137.00	1968	920.00	1969	6,146.86	1978	493.50	1983	811.18	1985	642.64	1985	251.60
1963	1226.00	1969	907.33	1970	5,811.20	1979	524.50	1984	1,037.00	1986	2,752.63	1986	0.00
1964	453.75	1970	874.00	1971	4,583.20	1980	649.13	1985	628.00	1987	1,385.12	1987	0.00
1965	649.80	1971	944.00	1972	6,102.00	1981	379.00	1986	670.50	1988	996.66	1988	211.80
1966	958.00	1972	806.00	1973	5,909.08	1982	305.00	1987	874.10	1989	1,532.01	1993	0.00
1967	900.00	1973	900.50	1974	6,270.00	1983	285.63	1988	1,000.00	1990	2,585.24	1995	119.99
1968	1338.00	1974	831.00	1975	6,435.00	1984	368.00	1989	1,000.00	1991	934.27	1996	135.07
1969	340.00	1975	868.00	1976	4,873.67	1985	377.10	1990	1,000.00	1992	1,330.49	1997	0.00
1970	356.60	1976	820.00	1977	4,728.00	1986	456.67	1991	1,000.00	1993	1,499.42	1998	219.54
1971	1109.00	1977	857.00	1978	6,058.00	1987	345.24	1992	1,000.00	1994	954.85		285.20
1972	932.00	1978	922.00	1979	6,376.00	1988	542.29	1993	1,000.00	1995	1,220.25		
1973	1349.00	1979	904.00	1980	5,652.00	1989	1,000.00	1994	824.92		3,386.00		
1974	680.00	1980	906.00	1981	0.00	1990	1,000.00	1995	935.79				
1975	488.00	1981	950.00	1982	7,620.00	1991	343.29	1996	1,117.43				
1976	900.09	1982	890.00	1983	5,251.00	1992	380.50	1997	858.01				

1977	790.67	1983	696.00	1984	5,478.00	1993	521.93	1998	1,079.90				
1978	988.89	1984	881.00	1985	3,872.00	1994	419.87		1,297.00				
1979	1620.00	1985	677.00	1988	7,583.83	1995	222.40						
1980	400.25	1986	888.13	1989	7,231.69	1996	758.82						
1981	2831.67	1987	1,000.00	1990	7,578.88	1997	928.81						
1982	4440.40	1988	1,000.00	1991	5,049.90	1998	782.84						
1983	178.92	1989	988.57	1992	5,560.51	1999	1,340.53						
1984	693.71	1990	1,275.00	1993	5,784.86		1,340.53						
1985	493.93	1991	718.50	1994	4,975.38								
1986	416.17	1992	1,021.00		7,620.00								
1987	518.24	1993	723.00										
1988	105.02	1994	692.50										
1989	227.45	1995	837.60										
1990	638.17	1996	865.51										
1991	308.87	1997	840.06										
1992	371.76	1998	831.80										
1993	216.20	1999	894.87										
1994	199.03		1,275.00										
1995	173.60												
1996	0.00												
1997	169.14												
1998	713.32												
1999	0.00												
	6991.25												

Tabla 6.5 Gasto máximos anuales de las 7 estaciones

En las tablas 6.6 – 6.11, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de las pruebas utilizadas para revisar la homogeneidad de cada una de las siete series de datos, mediante las técnicas de: T de Student, Cramer y Helmert.

Como puede observarse en la tabla 6.6, los resultados de las tres pruebas aplicadas a la serie de caudales de la estación peñitas, en la que Helmer concluye que la serie no es homogénea, sin embargo Student y Cramer confirman la homogeneidad de la serie.

Serie Estación Peñitas – 30015						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:	0.2421	τ -40	0.1422
34	21	13	Grados de libertad	56	τ -16	-0.3556
Estadístico:			De tabla: t =	2.003	t-40	0.5544
N		56	El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 56 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie es Homogénea.		t-16	-2.1916
$-(n_i-1)^{0.5}$		-7.41			De tabla: t =	2.003
$(n_i - 1)^{0.5}$		7.41			El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 56 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie es Homogénea.	
El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_i-1)^{0.5}$ y $(n_i - 1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie no es homogénea						

Tabla 6.6 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Peñitas

En este caso, para la prueba de Helmer el rango de aceptación está dado entre -7.4161 y 7.4161, quedando el estadístico (13) fuera del rango. La prueba T de Student arroja un estadístico $t = 0.2421$, siendo este inferior al límite de aceptación dado por un t de tabla igual a 2.003 correspondiente a un nivel de significancia $\alpha = 0.05\%$ y 56 grados de libertad. Por último la prueba de Cramer entre dos estadísticos t_{40} y t_{16} , en el que el primer t_{40} su valor está por debajo del estadístico de comparación de tabla, mientras que el valor de t_{16} tiene un valor por arriba del estadístico $t = 2.021$.

Dado que en los resultados presentados, la serie es aceptada como homogénea en dos de tres, se procede a aplicarse al estudio del análisis de frecuencia de eventos extremos.

La tabla 6.7, muestra los resultados de las tres pruebas aplicadas a la serie de caudales de la estación Pueblo Nuevo, arrojan idénticas conclusiones acerca de la aceptación de la homogeneidad de los valores de la serie.

Serie Estación Pueblo Nuevo – 30016						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:	-0.3296	τ -30	-0.1373
28	21	7	Grados de libertad	50	τ -20	0.2060
Estadístico:			De tabla: t =	2. 009	t-30	-1.1821
N	50		El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie es Homogénea.		t-20	0.6043
$-(n_j-1)^{0.5}$	- 7				De tabla: t =	2.009
$(n_j - 1)^{0.5}$	7				El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie es Homogenea.	
El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_j-1)^{0.5}$ y $(n_j - 1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es Homogénea						

Tabla 6.7 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Pueblo Nuevo

Para la prueba de Helmert el rango de aceptación esta dado entre -7 y 7, quedando el estadístico (7) en dicho rango. La prueba T de Student arroja un estadístico $t = -0.3296$, siendo éste inferior al límite de aceptación dado por un t de tabla igual a 2.009 correspondiente a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y 50 grados de libertad. Por último la prueba de Cramer entrega dos estadísticos t-30 y t-20, ambos inferiores al valor estadístico de comparación de tabla: $t = 2.0105$.

Dado los resultados presentados, la serie es aceptada como homogénea y puede ser aplicable al estudio de análisis de frecuencia de eventos extremos.

Los siguientes datos, que se presentan en la tabla 6.8, corresponden a los resultados de las tres pruebas aplicadas a la serie de la estación Boca del cerro, presentan discrepancias entre sí. Sin embargo, por los criterios de aceptación planteados previamente, dos de las tres indican que la serie es homogénea, resultando en una de las dos de mayor robustez numérica a la hora decidir.

Serie Estación Boca del Cerro – 30019						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:	-2.7194	τ -26	-0.2743
24	18	6	Grados de libertad	43	τ -17	0.4195
Estadístico:			De tabla: t =	2.017	t-26	-2.3092
N	43		El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie es Homogenea.		t-17	2.3092
$-(n_j-1)^{0.5}$	-6.48				De tabla: t =	2.052
$(n_j-1)^{0.5}$	6.48				El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie NO es Homogenea.	
El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_j-1)^{0.5}$ y $(n_j-1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es Homogénea						

Tabla 6.8 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Boca del Cerro

Por esto se acepta, que los valores que conforman la serie provienen estadísticamente de una misma población, indicando así que los datos son útiles para el proceso de ajuste de distribuciones para el análisis de frecuencia de eventos extremos.

La tabla 6.9, muestra los resultados de las tres pruebas aplicadas a la serie de la estación González, presentan discrepancias entre sí.

Es decir, la técnica Helmert y Student muestran que la serie de datos correspondientes a la estación González, no son homogéneos, lo cual podría considerarse que dichos datos no provienen estadísticamente de la misma población.

Serie Estación González – 30069						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:	3.7228	τ -30	0.04
35	4	31	Grados de libertad	42	τ -10	-0.1230
Estadístico:			De tabla: t =	2.018	t-30	0.4392
N	40	El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_j - 1)^{0.5}$ y $(n_j - 1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es NO Homogénea	El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 43 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie NO es Homogénea.		t-10	-0.4392
$-(n_j - 1)^{0.5}$	- 6.2449				De tabla: t 43=	2.042
$(n_j - 1)^{0.5}$	6.2449				El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 42 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie es homogénea.	

Tabla 6.9 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación González

En este caso, para la prueba de Helmert el rango de aceptación ésta dado entre -6.2449 y 6.2449, quedando el estadístico (31) fuera de dicho rango. La prueba T de Student arroja un estadístico $t = 3.7228$, siendo muy superior al límite de aceptación dado por un t de tabla igual a 2.018 correspondiente a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Por último la prueba de Cramer entrega dos estadísticos t_{30} y t_{10} , ambos menores al valor estadístico de comparación de tabla: $t = 2.042$ la cual acepta la homogeneidad de los datos de la estación.

Esta circunstancia de no aceptación de la homogeneidad de los datos, indican que la serie ha sufrido modificaciones o bien naturales o por acción del hombre, que han alterado su consistencia numérica, impidiendo de esta manera que los datos sean útiles para el proceso de ajuste de distribuciones para el análisis de frecuencia eventos extremos.

Sin embargo, para este caso de estudio, los datos de la presente estación, será considerada por las siguientes razones:

- Del estado del arte realizado, solo se encontraron estas 7 estaciones con datos de gastos y de sólidos.
- La estación Gonzales se encuentra sobre el río Carrizal que le pertenece a la cuenca del río Grijalva, dicho río es de vital importancia, dado el número de bancos de arenas y del número de familias que se ubican sobre sus márgenes.

Por lo anterior, se aceptarán los datos de la estación González, aun cuando dos de tres métodos de homogeneidad confirman la consistencia de sus datos.

En la tabla 6.10, los resultados que se muestran, corresponden a las tres pruebas aplicadas a la serie de caudales de la estación Las Gaviotas II, arrojan idénticas conclusiones acerca de la aceptación de la homogeneidad de los valores de la serie.

Serie Estación Las Gaviotas II – 30083						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:		τ -15	0.1003
13	14	-1	Grados de libertad		τ -14	-0.1075
Estadístico:			De tabla: t =		t-15	0.5425
N			28		t-14	-0.5620
$-(n_j-1)^{0.5}$			- 5.1961		De tabla: t =	
$(n_j-1)^{0.5}$			5.1961		2.131	
El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_j-1)^{0.5}$ y $(n_j-1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es Homogénea			El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie es Homogénea.		El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie es Homogénea.	

Tabla 6.10 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Gaviotas II

En este caso, para la prueba de Helmert el rango de aceptación está dado entre -5.1961 y 5.1961, quedando el estadístico (-1) comprendido en dicho rango. La prueba t de Student arroja un estadístico $t = 0.4921$, siendo éste inferior al límite

de aceptación dado por el t de tabla igual a 2.045 correspondiente a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y 29 grados de libertad. Por último la prueba de Cramer entrega dos estadísticos t_{15} y t_{14} , ambos inferiores al valor del estadístico de comparación de tabla: $t = 2.131$.

Dado los resultados presentados, la serie es aceptada como homogénea y puede ser aplicable al estudio de análisis de frecuencia de eventos extremos.

Los resultados en la tabla 6.11, indican que la serie supera las tres pruebas aplicadas, aceptándose por ello la homogeneidad de los valores de la serie

Serie Estación Tapijulapa – 30093						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:	1.2595	τ -20	0.1342
14	16	-2	Grados de libertad	31	τ -11	-0.2441
Estadístico:			De tabla: t =	2.040	t-20	0.9914
N	31		El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie es Homogenea.		t-11	-0.9914
$-(n_j-1)^{0.5}$	-5.4772				De tabla: t =	2.052
$(n_j-1)^{0.5}$	5.4772				El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie es Homogenea.	
El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_j-1)^{0.5}$ y $(n_j-1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie es Homogénea						

Tabla 6.11 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Tapijulapa

En función de los valores obtenidos la serie puede ser aplicable al estudio de análisis de frecuencia de eventos extremos.

Como puede observarse en la tabla 6.12, los resultados de las tres pruebas aplicadas a la serie de la estación Platanar presentan desigualdades entre los resultados.

Serie Estación Platanar – 30094						
Pruebas de Helmert			Pruebas t de Student		Prueba de Cramer	
Nº de S	Nº de C	S- C	Estadístico t:	-1.2823	τ -15	0.0501
15	5	10	Grados de libertad	21	τ -6	-0.1252
Estadístico:			De tabla: t =	2. 080	t-15	0.3464
N	21		El valor absoluto del estadístico t es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 5\%$. Por lo tanto la serie es Homogénea.		t-6	-0.3464
$-(n_j-1)^{0.5}$	- 4.4721				De tabla: t =	2.444
$(n_j - 1)^{0.5}$	4.4721				El valor absoluto de ambos estadísticos t_w , es menor que el valor de tabla de t para 50 grados de libertad y para $\alpha = 5\%$. La serie es Homogenea.	
El estadístico (S-C) está comprendido entre $-(n_j-1)^{0.5}$ y $(n_j - 1)^{0.5}$. Por lo tanto la serie NO es Homogénea						

Tabla 6.12 Resultados de las pruebas de homogeneidad para la estación Platanar.

Es decir, la técnica Helmer concluye que los datos no son homogéneos, sin embargo Student y Cramer confirman la existencia de homogeneidad de los datos que conforman la serie de la estación Platanar y que están listos para ser aplicados al análisis de frecuencia de eventos extremos.

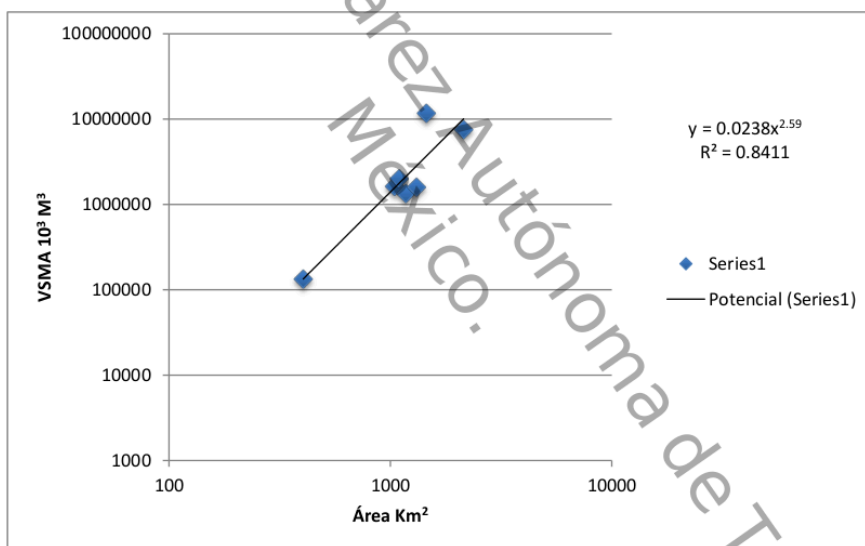
Los resultados anteriores confirman la existencia de homogeneidad de los datos, lo cual, permite realizar los análisis de correlación entre las variables de área y volumen de sedimentos media anual, gasto máximos.

En la tabla 6.13 se muestran las variables de área y volumen de sólidos, es decir, abscisas y ordenadas respectivamente, que serán correlacionadas para determinar la fuerza y la dirección entre ambas, quedando representada mediante la línea de mejor ajuste (ver grafica 6.1) $y = 0.0238X^{2.59}$ y $R^2 = 0.8411$.

De igual manera, con la expresión anterior se pueden estimar los volúmenes de suspensión en las Subcuenca de la Sierra del estado de Tabasco.

NÚMERO	ESTACIÓN	ÁREA KM ²	VOL. SÓLIDOS 10 ³ M ³
1	PLATANAR	404.17	133671
2	TAPIJULAPA	1042.85	1630343.64
3	PUEBLO NUEVO	1095.7	2001761.38
4	GONZALEZ	1173.76	1343796.67
5	GAVIOTAS II	1311.24	1595621.67
6	PEÑITAS	1453.82	11751397.7
7	BOCA DEL CERRO	2141.07	7529052

Tabla 6.13 Relación entre volumen de sedimentos medio anual (VSMA) y área de la cuenca (A)

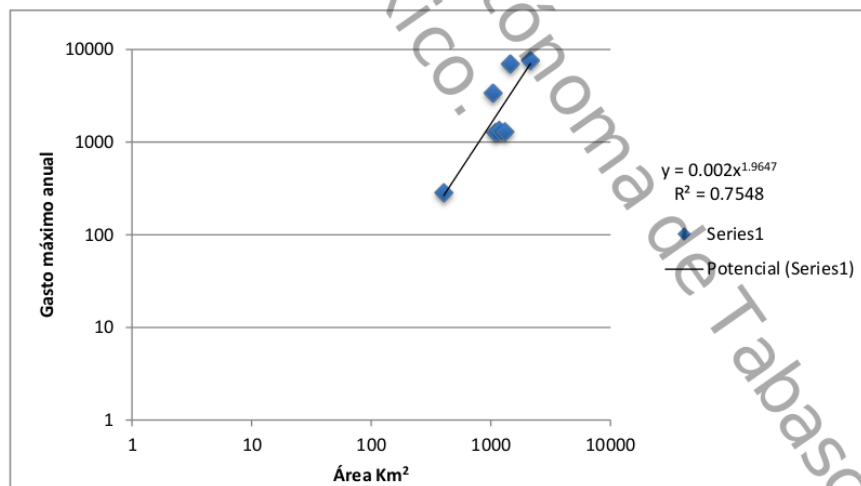


Grafica 6.1 Relación entre el volumen de sedimentos medio anual en miles de m³ y el área de cuenca en Km² en la región hidrológica.

En la tabla 6.14 se muestran las variables de área y gasto máximo anual, es decir, abscisas y ordenadas respectivamente, que serán correlacionadas para determinar la fuerza y la dirección entre ambas, quedando representada mediante la línea de mejor ajuste (ver grafica 6.2) $y = 0.002X^{1.9647}$ y $R^2 = 0.7548$.

ESTACIONES	ÁREA KM ²	Q _{MAX} ANUAL
Platanar	404.17	285.2
Tapijulapa	1042.85	3386
Pueblo nuevo	1095.7	1275
González	1173.76	1340.53
Gaviotas II	1311.24	1297
Peñitas	1453.82	6991.25
Boca del cerro	2141.07	7620

Tabla 6.14 Relación entre área y gasto máximo anual de las 7 estaciones

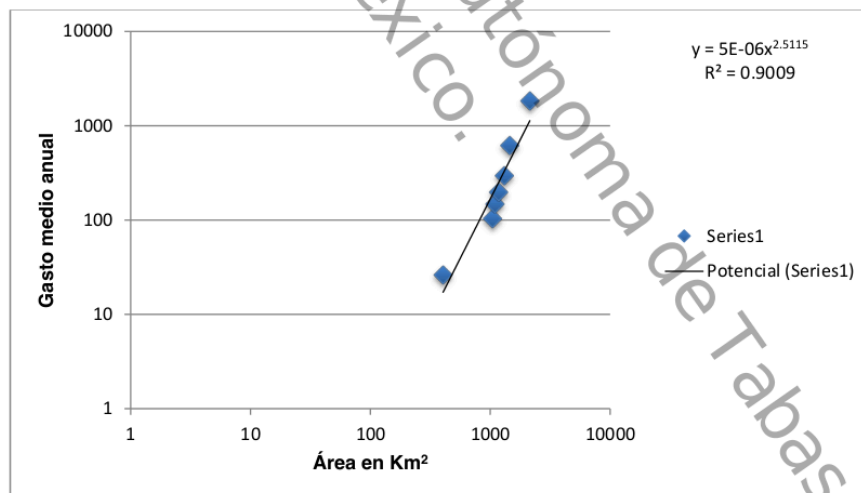


Grafica 6.2 Relación entre el área y gasto máximo anual

En la tabla 6.15 se muestran las variables de área y gasto medio anual, es decir, abscisas y ordenadas respectivamente, que serán correlacionadas para determinar la fuerza y la dirección entre ambas, quedando representada mediante la línea de mejor ajuste (ver grafica 6.3) $y = 5E - 06X^{2.5115}$ y $R^2 = 0.9009$.

ESTACIONES	ÁREA KM ²	QMEDIO ANUAL
Platanar	404.17	26.2262
Tapijulapa	1042.85	103.57604
Pueblo nuevo	1095.7	147.95618
González	1173.76	197.51564
Gaviotas II	1311.24	295.98296
Peñitas	1453.82	619.18
Boca del cerro	2141.07	1835.28125

Tabla 6.15 Relación entre área y gasto medio anual de las 7 estaciones



Grafica 6.3 Relación entre el área y gasto máximo anual

Las figuras 6.1 y 6.2 muestran el área de cada una de las estaciones que se analizaron.

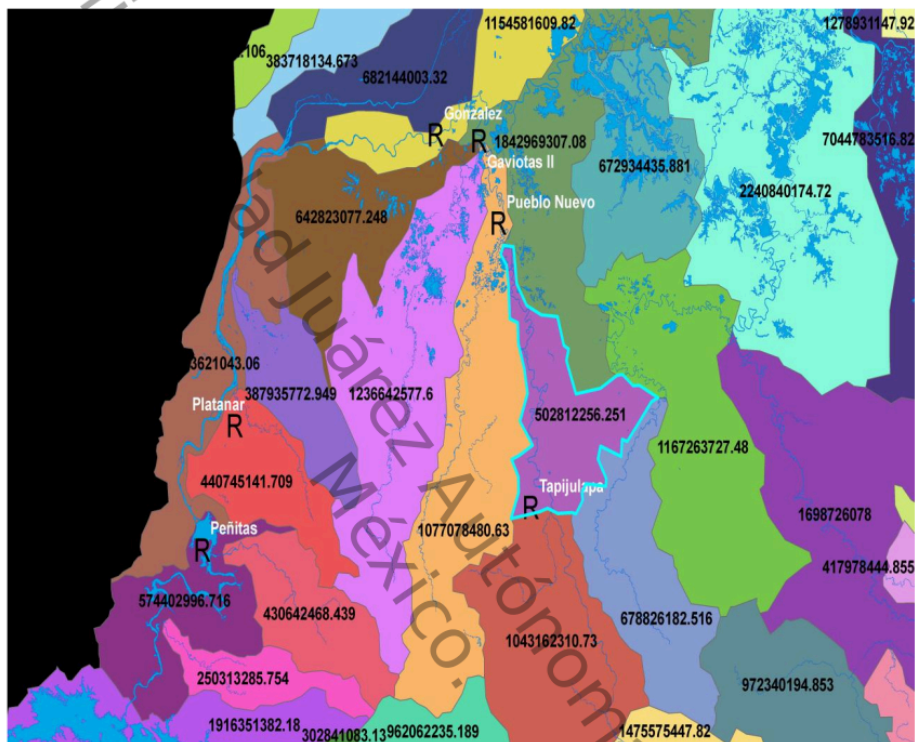


Figura 6.1 Localización de seis estaciones

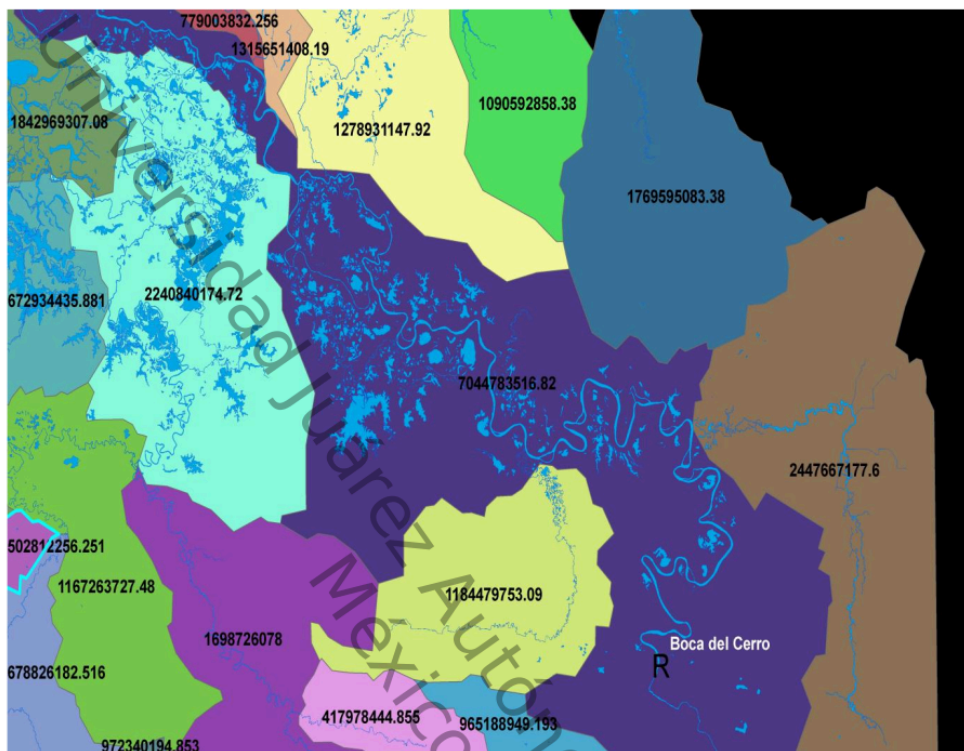


Figura 6.2. Localización estación Boca del Cerro

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- 1.- El presente estudio constituye un método alternativo para el análisis de gastos de sólidos en suspensión.
- 2.- El desarrollo de este trabajo, es una propuesta de las metodologías de regionalización hidrológica.
- 3.- El proceso de búsqueda de datos para el desarrollo de esta tesis, entregó un grupo de estaciones hidrométricas situadas en la subcuenca de la sierra del estado de Tabasco, la cual cuenta con 7 estaciones hidrométricas, en las que en algunas de ellas han sido suspendidas las mediciones de sólidos.
- 4.- Para la evaluación de la validez estadística de las series de caudales máximos medios diarios anuales de las estaciones indicadas se emplearon dos grupos de pruebas de homogeneidad e independencia, en el primero se aplicaron: T Student, Cramer, Helmert y de FAO 2012, respectivamente.
- 5.- Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología planteada, indican que las series de datos, previamente analizados son aptos para aplicársele todo el procedimiento, lo cual conlleva a una aplicación directa de la hidrología estadística, así mismo, deja entrever la importancia de contar con información hidrométrica real y confiable y aun mas de manera continua.
- 6.- Efectuando el análisis de frecuencia puntual para cada una de las estaciones, se efectuaron actividades de caracterización fisiográficas de cada una de las subcuencas de aporte. Ello permitió la aplicación de la metodología establecida para regiones homogéneas.
- 7.- La aplicación de este tipo de metodologías requiere de datos de caudales que cumplan ciertos requisitos estadísticos tanto de cantidad como de calidad. Por lo anterior es necesario remarcar la dificultad de conseguir este tipo de datos y de ahí viene la importancia de este tipo de metodologías y la urgencia de contar con nuevas estaciones de medición de caudales y/o darle continuidad de aquellas registros ya existentes en la región o zona de interés.

BIBLIOGRAFÍA

- Campos – Aranda D. F. Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos. Tema 6.6: Distribución General de Valores Extremos, pp. 99-102, Cap. 8: Análisis probabilístico con métodos regionales, pp. 133-161. Avances en Hidráulica 13. AMH-IMTA. México DF. 2006.
- Campos – Aranda D. F. Descripción y aplicación de la versión corregida del Test de Langbein para verificar homogeneidad regional. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*. Vol. XIII, número 4, páginas 411–416, octubre–diciembre de 2012. '11'.
- Campos – Aranda D. F. Estimación de crecientes en cuencas sin hidrometría en la región hidrológica No. 10 (Sinaloa). Revista *Tlálloc* (AMH), Año IX, Número 24, páginas 31–36, enero–abril del 2002.
- Campos – Aranda D. F. Predicciones de volúmenes de sólidos en suspensión en cuencas sin aforos en la Región Hidrológica No. 25 (San Fernando-Soto La Marina). *Tlálloc*, número 33, páginas 22–28, Enero–abril del 2005.
- Campos – Aranda D. F. Verificación de la homogeneidad regional mediante tres pruebas estadísticas. (**Nota Técnica**). *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. I, número 4, pp. 157–165, 2010.
- CUNNANE, C. "Methods and merits of regional flood frequency analysis". *Journal of Hydrology* 100(1-4): 269-290. Estados Unidos de América, 1998.
- Domínguez E. J. Y. Selección de estaciones hidrométricas homogéneas de una región hidrológica. XIV Congreso Nacional de Hidráulica. Tomo I, ponencia 20. Acapulco Guerrero de 1996.

Escalante S. C y Reyes Chávez L. Técnicas estadísticas en hidrología. Apéndice A, pp. 291-298. Facultad de Ingeniería de la UNAM. México DF. 2002.

Farías D. H. et al. Técnicas para la estimación de la producción de sedimentos en cuencas con escasos datos hidrológicos. Aplicaciones en la región NOA, Congreso regional de ciencia y tecnología NOA 2003.

Olmos A. L. et al. Estimación de la tasa de producción de sedimentos en la cuenca del río horcones (Prov. De salta y Santiago del estero), Primer simposio regional sobre hidráulica de ríos, 2003.

Preciado, J. M et al. Análisis entre escurrimiento y sedimentos históricos en la cuenca del río Apatlaco, Morelos, Aqua-LAC, Vol. 2, N° 2, Septiembre 2010, pp. 39-44.

TUCCI, C. E. M. "Hidrología, Ciencia y Aplicación". Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 1993.

Varas E. Estimación de momentos ponderados regionales de caudales máximos diarios, Ingeniería Hidráulica en México. XV (1): 51-61, enero –abril de 2000.

ANÁLISIS REGIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EN SUSPENSIÓN EN LA SUBCUENCA DE LA SIERRA DEL ESTADO DE TABASCO

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	pt.scribd.com Internet	611 words — 3%
2	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Internet	558 words — 3%
3	www.imta.gob.mx Internet	418 words — 2%
4	pa.bibdigital.ucc.edu.ar Internet	367 words — 2%
5	www.scribd.com Internet	307 words — 2%
6	pdfcookie.com Internet	231 words — 1%
7	www.efn.unc.edu.ar Internet	216 words — 1%
8	vsip.info Internet	152 words — 1%
9	docplayer.es Internet	86 words — < 1%
10	revistatyca.org.mx Internet	77 words — < 1%
11	repositorio.ulvr.edu.ec Internet	75 words — < 1%
12	www.docsity.com	

60 words — < 1%

13 [up-rid.up.ac.pa](#)
Internet

58 words — < 1%

14 [legismex.mty.itesm.mx](#)
Internet

57 words — < 1%

15 [fdocuments.ec](#)
Internet

54 words — < 1%

16 [ria.utn.edu.ar](#)
Internet

51 words — < 1%

17 [sinat.semarnat.gob.mx](#)
Internet

46 words — < 1%

18 [fluidos.eia.edu.co](#)
Internet

39 words — < 1%

19 [www.revistatlaloc.org.mx](#)
Internet

37 words — < 1%

20 [www.preventionweb.net](#)
Internet

34 words — < 1%

21 [www.scielo.org.mx](#)
Internet

31 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ONEXCLUDE SOURCES OFF
EXCLUDE MATCHES < 30 WORDS