



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

División de Ingeniería y Arquitectura



HIDROVÍA FLUVIAL. CASO: VILLAHERMOSA, TABASCO.

Ana Karenina Pérez González

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA**

DIRECTOR:

DR. JOSÉ GPE. FABIÁN RIVERA TREJO

CODIRECTOR:

DR. LUIS MANUEL PÉREZ SÁNCHEZ

DICIEMBRE 2013



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/2709/13

FECHA: 28 de Octubre de 2013

ASUNTO: Autorización de Impresión
definitiva.

C. ING. ANA KARENINA PÉREZ GONZÁLEZ

PASANTE DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA HIDRÁULICA
PRESENTE.

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 DR. JOSÉ GUADALUPE FABIÁN RIVERA TREJO y el DR. LUIS MANUEL PÉREZ SÁNCHEZ Profesores Investigadores de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura denominado:

"HIDROVÍA FLUVIAL CASO: VILLAHERMOSA, 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. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ RIVERA
DIRECTOR



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



DAIA

MEMORANDUM

DE: COMISIÓN REVISORA
ASUNTO: APROBACIÓN DE TESIS
FECHA: 24 DE OCTUBRE DE 2013
CCP: ARCHIVO
MEM/MIH/010/13

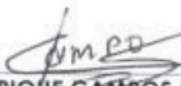
PRESENTE

Una vez hecha la revisión detallada del Trabajo Recepcional denominado:

"HIDROVÍA FLUVIAL. CASO: VILLAHERMOSA, TABASCO"

Desarrollado por la C. **ING. ANA KARENINA PÉREZ GONZÁLEZ** de la **Maestría en Ingeniería Hidráulica** bajo la modalidad de "tesis" le comunicamos que aceptamos la impresión de dicho trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

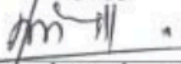
COMISION REVISORA


M.I.H. ENRIQUE CAMPOS CAMPOS

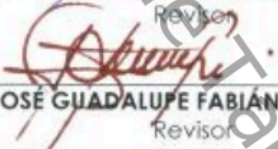
Revisor


DRA. LAURA LORENA DÍAZ FLORES

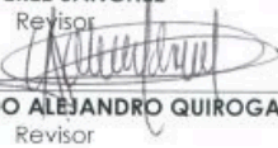
Revisor


DR. LUIS MANUEL PÉREZ SÁNCHEZ

Revisor


DR. JOSÉ GUADALUPE FABIÁN RIVERA TREJO

Revisor


M.I.H. LEOBARDO ALEJANDRO QUIROGA

Revisor

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Por este medio, tengo a bien conceder mi autorización para que la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado de Maestría en Ingeniería Hidráulica titulada "Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco", del cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco podrá hacer uso de la tesis mencionada para propósitos educativos, de difusión y sin fines de lucro; así mismo se autoriza para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID), o a cualquier otra red académica que por conveniencia educativa sea considerada por la Universidad.

Por lo anterior, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco queda liberada de cualquier reclamación legal que se pudiera llegar a ejercer, relativa al uso y manipulación de dicha tesis para los fines ya estipulados en el presente.

Se firma la presente autorización a los 18 días del mes de noviembre de 2013, en la ciudad de Cunduacán, Tabasco.

Autoriza



Ana Karenina Pérez González

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A DIOS, POR HABERME DADO LA SABIDURÍA, EL ENTENDIMIENTO Y LA FORTALEZA PARA PODER LLEGAR AL FINAL DE LA MAESTRIA, POR NO HABER DEJADO QUE ME RINDIERA EN NINGÚN MOMENTO E ILUMINARME PARA SALIR ADELANTE.

A MIS PADRES, A QUIENES LES DEDICO ESTA TESIS, POR HABERME BRINDADO SU COMPENSIÓN Y APOYO INCONDICIONAL DURANTE TODA MI VIDA, POR SUS CONSEJOS QUE ME ORIENTARON A TOMAR LAS MEJORES DECISIONES Y POR CREER EN MI.

A MI ESPOSO, POR SU AMOR INCONDICIONAL, APOYO Y COMPENSIÓN DE TODOS LOS DÍAS.

A MI HERMANA SILVIA, QUE SIEMPRE HA SIDO MI MEJOR AMIGA Y CONSEJERA.

A MIS MAESTROS, QUE ME TRANSMITIERON SUS EXPERIENCIAS Y CONOCIMIENTOS. Y EN ESPECIAL, AL DR. JOSÉ GPE. FABIAN RIVERA TREJO, POR LAS SUGERENCIAS, SEGUIMIENTO Y SUPERVISIÓN DE LA MISMA, PERO SOBRE TODO POR LA MOTIVACIÓN Y EL APOYO RECIBIDO DURANTE LA MAESTRIA.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

División de Ingeniería y Arquitectura



HIDROVÍA FLUVIAL. CASO: VILLAHERMOSA, TABASCO.

Ana Karenina Pérez González

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA**

DIRECTOR:

DR. JOSÉ GPE. FABIÁN RIVERA TREJO

CODIRECTOR:

DR. LUIS MANUEL PÉREZ SÁNCHEZ

NOVIEMBRE 2013

RESUMEN

Rescatar la cultura y tradición del agua, además de promover el transporte fluvial es una acción que parece más que natural para aplicarse con éxito en Villahermosa. Una manera de atraer inversión y capitales a una región es asegurando excelentes vías de comunicación, rentables, que no involucren grandes costos de construcción, mantenimiento y que ofrezcan alternativas para los distintos tipos de usuarios, tanto, comercial, industrial y turístico. Después de la colonia y la fundación de San Juan Bautista la única forma de llegar a la capital del estado, era por su sistema hidrológico, para el siglo XIX el movimientos de barcos fue en ascenso, ya que contribuyó notablemente al impulso del comercio tanto interno como externo de la entidad; y este se ve interrumpido por la construcción de la carretera federal Circuito del Golfo en 1956, donde se dio por terminada la época de oro de la navegación fluvial en Tabasco.

En este trabajo se analizó la factibilidad técnica de implementar una vía de navegación fluvial (hidrovía) en la ciudad de Villahermosa, que considere a los ríos Carrizal, Grijalva, Pichucalco y de la Sierra, que la circundan. La hidrovía debe ser funcional la mayor parte del año y cumplir con las condiciones de eficiencia, seguridad y adecuada protección del medio ambiente. Esta investigación forma parte de la tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Hidráulica, es único ya que no se ha hecho investigación con el aprovechamiento de la hidrovía en Villahermosa, Tabasco; mismo que puede ser el inicio para trabajos futuros de carácter hidráulico.

El mapa fluvial y el diagnóstico de las condiciones actuales de los cauces, permitieron evaluar la posibilidad de usar a la hidrovía como polo de desarrollo, de tal manera que pueda ser incluida en los planes de desarrollo y crecimiento tanto Estatales como Municipales.

Se encontró que la ciudad tiene un potencial fluvial considerado en 21.6 km del río Carrizal, 8.15 km del río Grijalva, 27.7 km del río de la Sierra y 4.28 km del río Pichucalco; y que en un inicio comprende la ciudad de Villahermosa y la zona conurbada localizada en la zona suroeste de la ciudad, que comprende las colonias: Indeco, Casa Blanca 2da. Sección, José María Pino Suárez I, II y III etapa, Carrizales, Bosque de Saloya, Espejo I y II, Miguel Hidalgo I, II y III etapa, Buenavista Río Nuevo, Anacleto Canabal 1era. Y 2da. Sección, Villa Parrilla, Pueblo Nuevo, El Censo, Gaviotas Sur sector Armenia, San Jose, La Manga I y II, Gaviotas Norte, Centro Histórico y Casa Blanca.

Í N D I C E

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I HIDROVIAS	12
1.1 Hidrovías en el mundo	12
1.2 Hidrovías en México	17
1.3 Hidrovías en la región sureste de México.	18
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA	25
2.1 Reconocimiento de campo	25
2.2 Ubicación y levantamiento de Infraestructura en los ríos.	27
2.3 Terminales fluviales de pasajeros	32
2.4 Terminales fluviales privadas	43
CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	47
3.1 Análisis de frecuencia de gastos máximos anuales	50
3.1.1 Análisis en el río Carrizal	52
3.1.2 Análisis en el río Grijalva (Porvenir).	55
3.1.3 Análisis en el río Grijalva (Gaviotas)	58
3.1.3 Análisis en el río de la Sierra	60
3.1.5 Análisis en el río Pichucalco	63
3.2 Análisis de gastos mínimos	70
CAPÍTULO 4 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA	93
4.1 Modelo topográfico	93
4.2 Modelación numérica y resultado.	94

CAPÍTULO 5 ZONAS CON POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE TERMINALES FLUVIALES	119
5.1 Mapa de navegación.	123
5.2 Propuesta de rutas de navegación.	155
CONCLUSIONES.....	158
REFERENCIAS	161
ANEXOS.....	163

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 HIDROVIAS.

Figura 1.-Proyecto de integración fluvial de los países andinos.	13
Figura 2.-Sistema de remolque en el transporte intermodal de cadena.	15
Figura 3.-Mapa de las rutas de comercio marítimo en el área maya para la época de la Conquista (Andrews, 1998).	18
Figura 4.-En la época que los ríos constituían la principal arteria comercial que llegaban a Villahermosa.	19
Figura 5.-El vapor "Palacio Sánchez Mármol", inaugurado el 5 de junio de 1902 por la Tabasco-Chiapas Trading Transportation.	20
Figura 6.-Vapores medianos.	20
Figura 7.-Rutas de canales de navegación en 1901.	22

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

Figura 8.-Zona de estudio de los ríos Carrizal, Grijalva y de la Sierra.	26
Figura 9.-Ubicación de los puentes sobre el río Carrizal, Grijalva y Pichucalco.	27
Figura 10.-Ubicación de los 4 Pasos Fluviales del río Grijalva.	32
Figura 11.-Ubicación del Paso Fluvial El CICOM en ambas márgenes del río Grijalva.	33
Figura 12.-Ubicación del Paso Fluvial Macuilis margen derecho del río Grijalva.	35
Figura 13.-Ruta del Paso Fluvial El Duende del río Grijalva.	37
Figura 14.-Ubicación del Paso Fluvial La Manga margen derecho del río Grijalva.	39
Figura 15.-Ubicación de la Marina Grijalva.	43
Figura 16.-Ubicación de la Marina Zapote I.	45

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

Figura 17.- Sistema lagunar de Villahermosa, Tabasco.	48
Figura 18.- Laguna de las Ilusiones, Villahermosa.	48
Figura 19.- Estaciones hidrométricas del estado de Tabasco.	51
Figura 20.- Función Gamma (momentos) 3p.	54
Figura 21.- Función Exponencial (momentos).	57
Figura 22.- Función Normal (momentos).	59
Figura 23.- Función Doble Gumbel (momentos).	62
Figura 24.- Función Exponencial (momentos)	65

CAPÍTULO 4 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA.

Figura 25.- Ubicación de las estaciones hidrométricas con gastos máximos y mínimo.	82
Figura 26.- Plano de la topografía de los ríos con secciones transversales	93
Figura 27.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río Carrizal	95
Figura 28.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río Carrizal	96
Figura 29.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río de la Sierra	96
Figura 30.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río Pichucalco	96
Figura 31.- Puente la Isla del río Carrizal.....	99
Figura 32.- Puente Carrizal I y II del río Carrizal	99
Figura 33.- Puente Carrizal IV del río Carrizal.	100
Figura 34.- Puente Carrizal III del río Carrizal.....	100
Figura 35.- Puente Carrizal V del río Carrizal.....	101
Figura 36.- Puente Tierra Colorada I del río Carrizal.....	101
Figura 37.- Puente Tierra Colorada II del río Carrizal.....	102
Figura 38.- Puente Carrizal VI del río Carrizal.	102
Figura 39.- Puente La Pigua del río Carrizal	103
Figura 40.- Puente Grijalva II del río Grijalva	103
Figura 41.- Puente Grijalva III del río Grijalva	104
Figura 42.- Puente Manuel Pérez Merino del río Grijalva.....	104
Figura 43.- Puente Grijalva I del río Grijalva	105
Figura 44.- Puente Grijalva IV del río Grijalva.	105
Figura 45.- Puente Majahua I del río Grijalva	106
Figura 46.- Puente Majahua II del río Grijalva.	106
Figura 47.- Perfil del río Carrizal con gasto máximo.	108
Figura 48.- Perfil del río Carrizal con gasto mínimo.	109
Figura 49.- Perfil del río Grijalva con gasto máximo.	110
Figura 50.- Perfil del río Grijalva con gasto mínimo.....	111
Figura 51.- Perfil del río Pichucalco con gasto máximo.	112
Figura 52.- Perfil del río Pichucalco con gasto mínimo.....	113
Figura 53.- Perfil del río de la Sierra con gasto máximo.	114
Figura 54.- Perfil del río de la Sierra con gasto mínimo.....	115

CAPÍTULO 5 ZONAS CON POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE TERMINALES FLUVIALES.

Figura 55.- Principales puntos de congestionamiento vehicular en Villahermosa.....	120
Figura 56.- Parques industriales en Tabasco.....	121
Figura 57.- Dirección de parques industriales en Tabasco.....	122
Figura 58.- Mapa del río Grijalva, bifurcación con el río Carrizal.....	123
Figura 59.- Mapa del río Grijalva, a la altura del Puente Grijalva I.....	124
Figura 60.- Mapa del río Grijalva sobre el Malecón.....	125
Figura 61.- Mapa del río Grijalva, a la altura del Puente El Mirador y Grijalva III.....	126
Figura 62.- Mapa del río Grijalva sobre el CICOM.....	127
Figura 63.-Mapa del río Grijalva a la altura de obra de captación.....	128
Figura 64.- Mapa del río Grijalva, a la altura del Puente Grijalva II.....	129
Figura 65.-Mapa del río Grijalva.....	130
Figura 66.-Mapa del río Grijalva a la altura de la estación hidrométrica Gaviotas.....	131
Figura 67.-Mapa de la bifurcación del río Grijalva - río de la Sierra – río Pichucalco.....	132
Figura 68.-Mapa del río de la Sierra.....	133
Figura 69.-Mapa del río de la Sierra.....	134
Figura 70.-Mapa del río de la Sierra.....	135
Figura 71.-Mapa del río de la Sierra.....	136
Figura 72.-Mapa del río de la Sierra.....	137
Figura 73.-Mapa del río de la Sierra.....	138
Figura 74.-Mapa del río de la Sierra.....	139
Figura 75.-Mapa del río de la Sierra, a la altura de la Escotadura Sabanilla.....	140
Figura 76.-Mapa del río de la Sierra, hasta la Escotadura El Censo.....	141
Figura 77.-Mapa del río Carrizal en confluencia con el río Grijalva.....	142
Figura 78.-Mapa del río Carrizal.....	143
Figura 79.-Mapa del río Carrizal.....	144
Figura 80.-Mapa del río Carrizal.....	145
Figura 81.-Mapa del río Carrizal.....	146
Figura 82.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente La Pigua.....	147
Figura 83.-Mapa del río Carrizal.....	148
Figura 84.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal VI.....	149

Figura 85.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Tierra Colorada I y II.	150
Figura 86.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal V.	151
Figura 87.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Tierra Colorada I y II.	152
Figura 88.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal IV.	153
Figura 89.-Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal I y II.	154
Figura 90.-Ruta de navegación sobre el río Carrizal.	155
Figura 91.- Ruta de navegación sobre el río Carrizal.....	156
Figura 92.-Ruta de navegación sobre el río Carrizal.	157

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO 1 HIDROVÍAS.

Fotografía 1.-Embarcación Barco Beuló que navega sobre el río Grijalva.....	24
---	----

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

Fotografía 2.-Ubicación del Paso Fluvial Cicom margen derecho del río Grijalva.	33
Fotografía3.-Estación de pasajeros en la Terminal Cicom margen derecho..	34
Fotografía4.-Ubicación del Paso Fluvial Cicom margen izquierdo del río Grijalva..	34
Fotografía 5.-Ubicación del Paso Fluvial Maculis margen derecho del río Grijalva.....	36
Fotografía 6.-Ubicación del Paso Fluvial Maculis margen izquierdo del río Grijalva.	36
Fotografía 7.-Ubicación del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.....	38
Fotografía 8.-Ubicación del Paso Fluvial El Duende margen derecho del río Grijalva.....	38
Fotografía 9.-Ubicación del Paso Fluvial La Manga margen derecho del río Grijalva.....	39
Fotografía 10.-Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.	40
Fotografía 11.-Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.	40
Fotografía 12.-Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.	41
Fotografía 13.-Reglamento en el Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen derecho del río Grijalva.....	41
Fotografía 14.-Lancha del Paso Fluvial El Duende.	42
Fotografía 15.-Salvavidas en las lanchas del paso fluvial El Duende..	42
Fotografía 16.-Embarcadero de Marina Grijalva..	44
Fotografía 17.-Muelle de Marina Grijalva.....	44
Fotografía 18.-Muelle de Marina Zapote I.....	45
Fotografía 19.-Área de maniobras y alojamiento del Muelle Zapote I.	46

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

Fotografía 20.-Niveles mínimos en el río Grijalva.	70
---	----

ÍNDICE DE TABLAS**CAPÍTULO 1 HIDROVÍAS.**

Tabla 1.-Extensión de vías navegables en Brasil (GEIPOT, 2000).....	14
Tabla 2.-Vapores noruegos.	21
Tabla 3.-Vapores mexicanos..	21
Tabla 4.-Ríos que comunicaban a la capital.	23

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

Tabla 5.-Puentes sobre el río Carrizal.	28
Tabla 6.-Puentes sobre el río Grijalva.	30
Tabla 7.-Puentes sobre el río Pichucalco.	31

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

Tabla 8.-Estaciones hidrométricas y años de registro.	51
Tabla 9.-Gastos máximos anuales estación González.....	52
Tabla 10.-Gastos máximos calculado por la función Gamma (momentos) 3p.	53
Tabla 11.-Gastos máximos anuales estación Porvenir.....	55
Tabla 12.-Gastos máximos calculado por la función Exponencial (momentos)..	56
Tabla 13.-Gastos máximos anuales estación Gaviotas.	58
Tabla 14.-Gastos máximos calculados por la función Normal (momentos) 2p.	59
Tabla 15.-Gastos máximos anuales estación Pueblo Nuevo.....	60
Tabla 16.-Gastos máximos calculado por la función Doble Gumbel.	61
Tabla 17.-Gastos máximos anuales estación San Joaquín.	63
Tabla 18.-Gastos máximos calculados por la función Exponencial (momentos).....	64
Tabla 19.-Gastos máximos anuales de las estaciones hidrométricas en estudio.....	65
Tabla 20.-Análisis de frecuencia de las estaciones hidrométricas.....	66
Tabla 21.- Calculo de la media, desviación estándar, coef. Variabilidad, coeficiente de sesgo y k.	68

Tabla 22.-Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio...	77
Tabla 23.-Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio...	78
Tabla 24.-Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio...	79
Tabla 25.-Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio...	80
Tabla 26.-Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio...	81

CAPÍTULO 4 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA.

Tabla 27.-Características geométricas de los puentes.....	97
Tabla 28.-Datos para la calibración del modelo.....	107
Tabla 29.-Resultados del perfil del río Carrizal.	108
Tabla 30.-Resultados del perfil del río Carrizal.	109
Tabla 31.-Resultados del perfil del río Grijalva.	110
Tabla 32.-Resultados del perfil del río Grijalva.	111
Tabla 33.-Resultados del perfil del río Pichucalco	112
Tabla 34.-Resultados del perfil del río Pichucalco	113
Tabla 35.-Perspectivas del río Carrizal con puentes	116
Tabla 36.-Perspectivas del río Carrizal con puentes	117
Tabla 37.-Perspectivas del río Grijalva con puentes	118

CAPÍTULO 5 ZONAS CON POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE TERMINALES FLUVIALES.

Tabla 38.-Parámetros de eficiencia comparativa entre diferentes modos de transporte	121
---	-----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL .

Gráfica 1.-Niveles en la estación González	72
Gráfica 2.-Niveles en la estación Gaviotas.....	73
Gráfica 3.-Niveles en la estación Porvenir.....	74
Gráfica 4.-Niveles en la estación Pueblo Nuevo.....	75
Gráfica 5.-Niveles en la estación San Joaquín.....	76
Gráfica 6.-Gastos mínimos en la estación hidrométrica Gaviotas.....	83
Gráfica 7.-Niveles mínimos en la estación hidrométrica Gaviotas	84
Gráfica 8.-Gastos mínimos en la estación hidrométrica Porvenir	85
Gráfica 9.-Niveles mínimos en la estación hidrométrica Porvenir.....	86
Gráfica 10.-Gastos mínimos en la estación hidrométrica San Joaquín.....	87
Gráfica 11.-Niveles mínimos en la estación hidrométrica San Joaquín	88
Gráfica 12.-Gastos mínimos en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo	89
Gráfica 13.-Niveles mínimos en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo.....	90
Gráfica 14.-Gastos mínimos en la estación hidrométrica González	91
Gráfica 15.-Niveles mínimos en la estación hidrométrica González.....	92

INTRODUCCIÓN

24

El transporte fluvial es un instrumento integrador de regiones y detonador del desarrollo. Es bien conocido que durante muchos años la región Sur-sureste ha compartido un desarrollo desigual con relación al Centro y Sur de la República Mexicana. Las causas son variadas, van desde poca infraestructura desarrollada en los corredores industriales, apoyos preferentes, falta de programas concretos que consoliden una cultura empresarial y poco uso e innovación de tecnología de vanguardia. La creación de vías de navegación interiores (hidrovías), por su parte, han demostrado ser un instrumento eficaz en el desarrollo de economías y sociedades. Algunos ejemplos son: la hidrovía del Orinoco en Venezuela; la hidrovía del Amazonas en Brasil; y la hidrovía de la Plata en Argentina. La implementación del tráfico fluvial en estas hidrovías ha creado una nueva generación de puertos fluviales a lo largo de las mismas en Brasil, Argentina y Uruguay y en el corto plazo, se producirá lo mismo en Bolivia y Paraguay (CAF, 2008). Por otra parte, la Unión Europea (EU) está dando grandes apoyos a este tipo de proyectos e impulso a este tipo de transporte, pues considera que reduce costos e incentiva la creación de empresas y la generación de nuevos empleos. (SCADplus, 2009).

Ante este hecho se debe empezar definiendo que es una hidrovía fluvial. Una hidrovía es cualquier masa de agua navegable. Incluyen ríos, lagos, océanos y canales. La hidrovía consiste en el traslado de productos o pasajeros de un lugar a otro a través de ríos con profundidades adecuadas (UNESCO, 2006). El transporte fluvial es una importante vía de comercio interior, por lo que, ríos con infraestructura suficiente son de gran relevancia para las economías.

Para que una masa de agua sea navegable, debe satisfacer varios criterios:

- suficientemente profunda para permitir el calado de las embarcaciones que la utilizan
- ancho suficiente para permitir el paso de las embarcaciones que la utilizan
- estar exenta de barreras para la navegación, como cascadas y rápidos, o disponer de una vía a su alrededor (como por ejemplo esclusas)
- lo suficientemente tranquila como para permitir que las embarcaciones avancen sin dificultad.

38

El presente trabajo tuvo el objetivo de evaluar el potencial de navegación fluvial (hidrovías) de los ríos Carrizal, Grijalva, de la Sierra y Pichucalco en la ciudad de Villahermosa, Tabasco. En la puesta de las hidrovías fluviales, la metodología de trabajo se aplicó cinco etapas; I) investigación documental exhaustiva, referente a las rutas fluviales que han existido internacional, nacional y local; y el tipo de embarcaciones que pueden circular; II) recopilación de datos hidrológicos de las estaciones hidrométricas; III) se efectuó en campo la ubicación y levantamiento de infraestructura en los ríos (puentes), y por medio de la CONAGUA, se obtuvieron los datos topobatimétricos de los diferentes ríos los cuales fueron realizados en el año 2007; IV) posteriormente se realizó la simulación hidrodinámica en las condiciones de gasto máximo y mínimo y V) Finalmente se obtuvo la propuesta de zonas con potencial para el desarrollo de hidrovías en dichos ríos.

CAPÍTULO I HIDROVIAS.

1.1 Hidrovías en el mundo.

Las grandes civilizaciones del pasado y muchas poblaciones actuales se han desarrollado en zonas aledañas a corrientes naturales, Egipto con el río Nilo y Mesopotamia con los ríos Tigris y Éufrates son ejemplo de ello (González, 1993). El transporte fluvial ha sido parte vital de estos desarrollos, pues permite el traslado de productos o pasajeros de un lugar a otro a través de ríos con la profundidad adecuada. Aunque, hace unas décadas el transporte fluvial pasó por un cierto declive, en la actualidad se están habilitando antiguos ríos que fueron importantes en su época para hacerlos nuevamente navegables. Ejemplo de ríos que siguen siendo importantes vías comerciales son en América: el Mississippi con 6,270 km de longitud, el Amazonas con 7,020 km de longitud, el sistema de los ríos Paraguay y Paraná con 3,440 km y que vinculan a Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina. Otros ejemplos son El río Nilo en África con 6,671 km, que atraviesa Uganda, Sudán y Egipto, desembocando finalmente en el Mediterráneo; el río Danubio en Europa, con una longitud de 2,888 km y el río Azul, en Asia, con 6,380 km por mencionar a algunos.

La Unión Europea (UE) subraya que la competitividad económica depende en parte de los sistemas de transporte (SCADplus, 2009). Su objetivo es pasar a modos de transporte con menor intensidad energética, más limpios y más seguros. En este sentido, el transporte por vías navegables constituye la respuesta ideal. La navegación interior ha registrado una expansión significativa en los últimos 20 años, además se reconoce que es el modo de transporte más respetuoso del medio ambiente. La UE considera que el incremento de la navegación interior puede suponer una reducción de los gastos de transporte que beneficiaría a la implantación de empresas. Pero, además, este sector da empleo y podrían crearse más puestos de trabajo.

La hidrovía interior más larga del mundo abierta al transporte oceánico es la "Vía Marítima del San Lorenzo - Canal de los Grandes Lagos" en Canadá. Esta hidrovía, abierta en 1959, tiene 3.790 km de longitud, desde la Isla de Anticosti hasta la cabecera del Lago Superior. Por otra parte, casi el 70% de las exportaciones agrícolas de los Estados Unidos son transportadas a través de la parte alta del río de Mississippi y del sistema de hidrovías de Illinois (NBI, 2006).

En la mayoría de los países de América del Sur el desarrollo del transporte fluvial es todavía incipiente. Los más adelantados en este campo son Brasil, Argentina y Venezuela que han implementado hidrovías navegables de gran envergadura (CAF, 2008). Muchas de estas rutas fluviales han resultado ejes de desarrollo de las economías regionales de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, consolidando un eje troncal de integración regional, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1.- Proyecto de integración fluvial de los países andinos.

El sistema fluvial brasileño con un potencial de explotación para transporte hidroviario corresponde a cerca de 40 mil kilómetros de vías navegables, de los cuales aproximadamente 27 mil kilómetros son en la actualidad navegables en condiciones prácticamente naturales. Los 13 mil kilómetros restantes son tramos fluviales con potencialidad de aprovechamiento por la navegación y que necesitan obras de mejoramiento de mayor magnitud para establecer condiciones económicas y comerciales para el transporte fluvial.

11

De las vías explotadas por una navegación comercial permanente solamente 8 mil kilómetros son de vías navegables. La acción de mantenimiento de los canales de navegación y de la señalización está a cargo de un Ministerio de Transporte que dispone de oficinas regionales ubicadas en las grandes cuencas hidrográficas. La tabla siguiente presenta las cuencas y las extensiones de sus tramos navegables.

Tabla 1.- Extensión de vías navegables en Brasil (GEIPOT, 2000).

Cuenclas Hidrográficas y Tramos Navegables		
Brasil – Año 1997		
Cuenca	Extensión(Km.)	Principales Ríos y Lagunas
Amazónica	18.300	Amazonas, Solimões, Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá, Tapajós y Teles-Pires
Nordeste	3.000	Mearim, Pindaré, Itapecuru, y Parnaíba
Tocantins-Araguaia	3.500	Tocantins, Araguaia y das Mortes
San Francisco	4.100	San Francisco, Grande, Corriente, Preto y das Velhas
Leste	1.000	Doce y Paraíba do Sul
Paraná	4.800	Paraná, Tietê, Paranaíba, Grande, Piracicaba, Paranapanema, Ivaí e Ivinheima
Paraguay	2.800	Paraguay y Cuiabá
Sudeste	1.300	Jacuí, Taquari, Lagoa dos Patos e Mirim
Uruguay	1.200	Uruguay e Ibicui
Total	40.000	

Por otra parte, Inglaterra posee un sistema unificado de canales fluviales de alrededor de 3.500 km. a los que se agregan canales parciales por otros 1.000 km; en Francia, el desarrollo de los canales fue muy intenso, llegándose en la actualidad a 8.000 km. de los cuales 3.200 km., transcurren en ríos de caudal medio y 4.800 km. en canales subsidiarios tributarios del sistema. Esta red se apoya especialmente en los ríos Sena, Loire, Garma, Oise, Saona, Ródano y Rhin; Alemania posee el desarrollo fluvial más moderno e importante por el porte admitido, a través de los ríos Rhin, Weser, Ems, Elba y Oder y se integra con 840 km. de canales y 3.200 km de vías navegables, o sea un total de 4.040 km; Holanda, es el país del mayor desarrollo de canales en relación a su superficie, dado que alcanzan 5.600 km. de canales y 900 km. de vías navegables. Esta cifra se hace más importante si se considera que una quinta parte admite embarcaciones de porte superior a 1.500 Toneladas. Gran parte de este sistema, intrincado y eficiente se apoya en los dos brazos en que se divide el Rhin al aproximarse a su desembocadura en el Mar del Norte; por su parte Bélgica, tiene un sistema muy importante dado que con territorio pequeño desarrolla 900 km. de canales y 850 km. de vías navegables, ubicadas entre los ríos Mosa y Scheldt.

Los cuatro sistemas mencionados están interconectados, y a través de la Comunidad Europea, están avanzando rápidamente en la estandarización de las embarcaciones en procura de mejorar costos de construcción, mantenimiento y operación.

El concepto de transporte fluvial-marítimo no es un fenómeno nuevo. Ha sido desarrollado en Europa, pero el volumen del tráfico sólo se encuentran en un número muy limitado de rutas (Rissoan, 1994). La calidad del canal de red interior es un factor decisivo para el desarrollo del transporte fluvial-marítimo, incluso en las desarrolladas vías navegables europeas, uno se enfrenta a varias restricciones que limitan el rango geográfico. El concepto de transporte marítimo-fluvial está destinado a satisfacer estas condiciones: es la barcaza llamada Push River-Sea (RSPB). El núcleo del concepto (RSPB) es la construcción de lanchas de empuje de diseño especial, que se puede utilizar en las vías navegables y marítimas así, las características principales de estas embarcaciones es la posibilidad de adaptarse a las condiciones diferentes de manera óptima. Por un lado las embarcaciones deben ser garantizadas como marinero y por otra parte que debe proporcionar un tiro muy limitada de accesibilidad extendida en las vías navegables. Se muestra en la Figura 2, una representación esquemática del concepto de transporte RSPB. (Konings-Ludema, 2000).

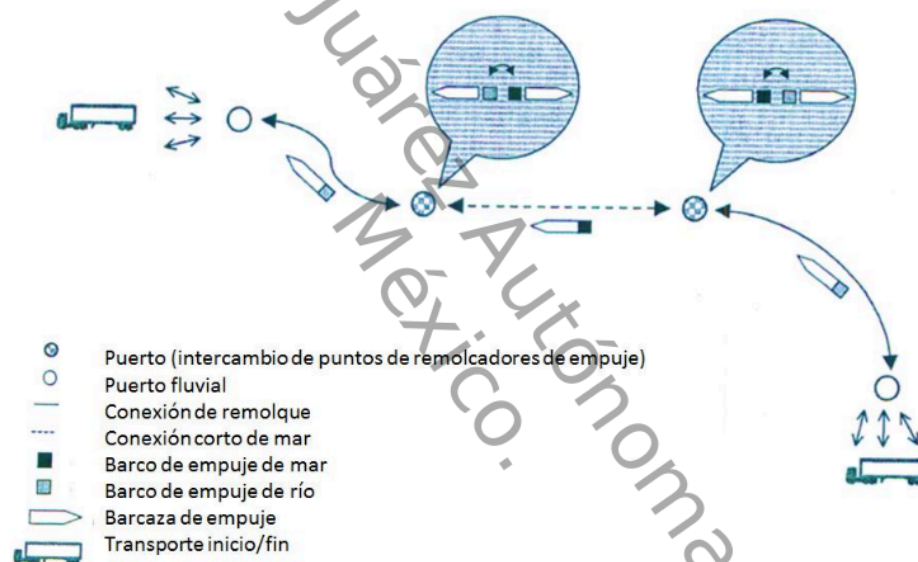


Figura 2.- Sistema de remolque en el transporte intermodal de cadena.

En Italia, la navegación por agua dulce se centra en los ríos Po, Sila y Mincio que ofrecen 1.090 km. de vías navegables más los 890 km. de canales que se concentran en las inmediaciones de Milán y Venecia; Suecia, muestra un desarrollo de canales reducido pero muy significativo, por la facilidad con que atraviesa todo el territorio, comenzando por el río Göta, el lago Vänern y en canal Trollhätte y es importante mencionar que funciona desde 1832; En Polonia existen buenos ejemplos con su principal afluente el río Vistula; Yugoslavia utiliza el río Danubio con su afluente del río Tisza y ha sido reconstruido para albergar embarcaciones de hasta 1.000 ton.; Rusia, merece especial atención a su desarrollo de navegación y canales (1.500 km. de canales), como por las interconexiones entre cuencas fluviales que logran materializar. Desde el Mar Blanco y con el Báltico se unen los sistemas a través de los lagos Ladoga y Onega, en los canales que comunican la ciudad de Moscú con el río Volga, la habilitación de las esclusas

5 tienen compuertas de (200x30) metros, con calado mínimo admisible de 18 pies. Permiten el ingreso de buques de ultramar de buen porte, además de otros objetivos, como ser el suministro de agua dulce para Moscú, tráfico de pasajeros por aliscafos (barcos cuyos cascos sobresalen del agua cuando la velocidad es elevada) y para recreación. De esta forma Moscú tiene acceso al Mar Caspio y mediante otro canal al Mar Negro y por canales y ríos profundizados al Mar Báltico, además hay otras conexiones aledañas y estamos hablando tan sólo de la Rusia europea. También hay un buen desarrollo con canales e hidrografía hasta la frontera de Afganistán.

2 En cuanto a América, el desarrollo en navegación fluvial, se debe separar a América del Norte, con un gran desarrollo de los sistemas, de América Latina que en general a pesar de poseer ríos de notable caudal y longitud, han tenido poco desarrollo.

2 Canadá, tiene el sistema del río San Lorenzo que permite a los barcos de ultramar llegar hasta el lago Ontario, mientras que por otro canal, con una antigüedad desde el año 1829 reconstruido y ampliado en esclusas de hasta constar de ocho juegos de compuertas de (255x24x9) metros que permiten salvar el obstáculo de las cataratas del Niágara, se llega al lago Erie. Otros canales unen el lago Erie con el Ontario y otros más pequeños, donde de esta forma se obtiene un curso continuo desde el lago Michigan hasta el Atlántico. Otro camino fluvial, artificial canadiense tiene un origen estratégico, el Rideau construido en 1812, usado primigeniamente para transportar tropas y su sostén logístico hasta el lago Ontario, fuera del alcance táctico norteamericano, con una extensión de 200 km. Llegando hasta Ottawa, por canales pequeños para evitar los rápidos de este río. Por su parte, los Estados Unidos, son un país líder en navegación fluvial y canales, de forma que con calados admisibles de hasta 9 pies se llega a ciudades tan mediterráneas como Sioux City, Minneapolis, Pittsburg y Knoxville (Referencia). La construcción de canales ha flexibilizado todo el sistema, al extremo que una embarcación puede pasar del Golfo de San Lorenzo a la Bahía de Hudson por aguas interiores, o de Nueva Orleans a Ottawa, vía Mississippi o a través de los Grandes Lagos, desde la bahía de Chesapeake hasta Key West, o la vía que recorre la costa estadounidense del Golfo de México en iguales condiciones. El sistema comprende casi 50.000 km. de vías navegables, la mitad de los cuales admiten como mínimo 9 pies de calado, con inversión tanto del Estado y particular que se encargan de mantenerlas y mejorarlas, lo que indica la importancia de estas.

13 En América del Sur están en fase de análisis importantes proyectos de navegación interior, por ejemplo la Hidrovía en la cuenca del Paraná-Uruguay, llegándose hasta el río Paraguay pasando por Asunción y llegando hasta Puerto Cáceres en Brasil. La extensión total de la Hidrovía es de 3.44 km, y permite la interconexión entre Argentina, Bolivia, Brasil, Paragua y Uruguay.

1.2 Hidrovías en México.

En México, se propuso desarrollar el canal intracostero en el estado de Tamaulipas, el cual abriría la posibilidad al país de unirse al sistema de navegación interior de los Estados Unidos y Canadá, y crear una nueva vía de comunicación para el intercambio comercial. Hoy día el transporte de bienes entre los tres países se da por la vía terrestre y ferroviaria en su mayoría, lo cual representa costos más elevados a los que se tendrían a través de un sistema de barcas en navegación interior.

20

De acuerdo con un estudio del experto Roberto Bustamante (2010), si por navegación interior se conecta la importante red americana en el puerto de Brownsville, Texas, con el canal intracostero de Tamaulipas, con un canal de 350 kilómetros de longitud, este tendría un costo equivalente al de una carretera de dos carriles de la misma longitud; pero con un importante flujo de mercancías a mejores costos de transporte.

El futuro canal mexicano intracostero del Golfo daría la opción de mover por esa vía de México a Estados Unidos, material pétreo, que tiene una gran demanda como material de construcción, así como la explotación de los cinco enormes bancos de concha de ostión fósil, que se localizan a lo largo del trazo del futuro canal intracostero. El primero de ellos en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, que ya ha iniciado su explotación y exportará dos millones de toneladas anuales y a ese ritmo, dicho banco podría operar del orden de cien años. En el mismo sitio se construirán una fábrica de cal y una de cemento.

Bustamante (2010), refiere que el 40% de las embarcaciones que navegan por la red de navegación americana son yates, lo que daría como opción que a lo largo de todo el canal intracostero desde Tuxpan hasta el Río Bravo, podrían desarrollarse muchos e importantes centros turísticos para atención a una nueva corriente de visitantes.

1.3 Hidrovías en la región sureste de México.

Durante muchos años la región sur-sureste ha compartido un desarrollo desigual con relación al centro y sur de la República Mexicana. Las causas van desde escasa infraestructura desarrollada en corredores industriales, falta de programas concretos que consoliden una cultura empresarial y poco uso e innovación de tecnología de vanguardia. La creación de vías de navegación interiores (hidrovías) ha demostrado ser un instrumento eficaz en el desarrollo de economías y sociedades, pues el transporte fluvial es un instrumento integrador de regiones y detonador del desarrollo (SCADplus, 2009).

Durante el periodo denominado Posclásico, el sitio costero más importante fue Potonchán, capital de la provincia de lo que hoy es Tabasco, y se localizaba sobre la margen oeste del río Grijalva. Hernán Cortés y Bernal Díaz del Castillo (1970) la describieron como un gran puerto marítimo que comerciaba con productos provenientes de muchos lugares a lo largo y ancho de Mesoamérica. Por otra parte Andrews (1998) consideró a los mayas como los “fenicios de Mesoamérica”, afirmación que tiene mucho de cierta, ya que las investigaciones realizadas en los últimos 20 años han revelado una compleja estructura asociada al comercio y la navegación, tanto marítima como fluvial. Andrews afirmó que el río Grijalva debió de ser uno de los ríos más importantes a través del cual se transportaba gran parte del volumen de comercio maya. Por ello es natural pensar la importancia del área de Frontera como puerto y enclave comercial, vital para la red de comercio que se distribuía a lo largo del área maya. (Figura 3).



Figura 3.- Mapa de las rutas de comercio marítimo en el área maya para la época de la Conquista (Andrews, 1998).

Así, el estado de Tabasco mantuvo desde la época colonial hasta mediados del presente siglo, una estructura económica con base en la agricultura de exportación, teniendo como actividades principales las producciones platanera y cacaotera. Hasta la década de los cuarentas toda la infraestructura y organización territorial reflejaba las condiciones que se requerían para dicha actividad, la comunicación fluvial y terrestre que conectaba las zonas de

producción se canalizaba fundamentalmente al puerto exportador de Frontera. En la década de los cuarentas con la crisis de la producción platanera debida a inundación de la hoya de la Chontalpa se produjo un estancamiento en el crecimiento de las grandes ciudades; además, de una modificación sustancial a las vías navegables (Balcázar, 2003). Por sus caudalosos ríos se realizaba el tráfico fluvial de cayucos, canoas, vapores de regular tamaño en un movimiento que convergía en Villahermosa por ser, como capital del estado, el centro administrativo y comercial más importante de la región.

Desde el punto de vista comercial el puerto de Frontera constituía la puerta que comunicaba todo el estado de Tabasco y el norte de Chiapas con el resto de la república y el extranjero. En las márgenes del río se encontraban construidas las principales poblaciones y casi todas las fincas de campo, haciendas, rancherías, etc. y se exportaban los variados productos de esas riquísimas tierras y también por esos ríos se hacían todas las importaciones y en general el comercio entre poblaciones y haciendas (Figura 4).



Figura 4.- En la época que los ríos constituían la principal arteria comercial que llegaban a Villahermosa.

Balcázar (2003) dijo que en Tabasco existían casi 2,000 kilómetros de ríos navegables sin interrupción, por lo que resulta natural que en esta región se haya tenido un gran auge de la navegación fluvial, que en principio se hacía exclusivamente con las embarcaciones primitivas impulsadas a remos, llamados cayucos, canoas o búngos, etc.

Así, se aprecia que desde sus orígenes, Tabasco ha sido una entidad eminentemente fluvial, los barcos constituían hasta mediados de los años 50, el principal medio de transporte, tanto dentro del Estado, como para comunicarse con Chiapas, Veracruz, Campeche y Yucatán. A mediados del siglo XIX comenzaron a surcar los ríos tabasqueños vapores con propulsores de rueda o hélices y hacia 1906, navegaban por los ríos de Tabasco unos 26 vapores de diverso tonelaje que hacían el tráfico estrictamente fluvial por los ríos tabasqueños. Los vapores que surcaron estos ríos eran de dos tamaños: i) los que median cinco pies de calado como máximo y alcanzaba una velocidad de marcha de ocho nudos por hora, estos vapores que eran los más grandes que tenían capacidad para veinte pasajeros en primera clase y veinticinco en segunda, y cuando menos veinticinco toneladas de carga (Figura 5); ii) los vapores medianos de un calado no inferior a las nueve pulgadas, alcanzaba una velocidad de seis nudos por hora y tenían capacidad para ocho pasajeros y quince toneladas de carga cuando menos, Figura 6 (Balcázar, 1994).



Figura 5.- El vapor "Palacio Sánchez Mármol", inaugurado el 5 de junio de 1902 por la Tabasco-Chiapas Trading Transportation.

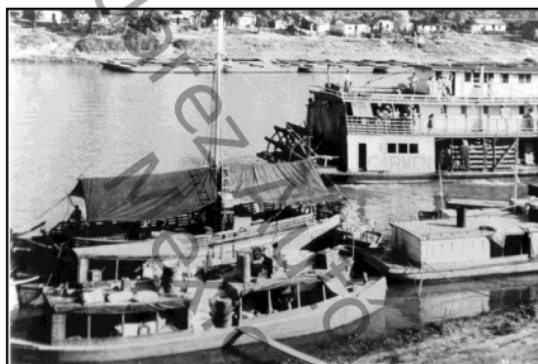


Figura 6.- Vapores medianos.

El tráfico fluvial de los ríos de Tabasco era de San Juan Bautista, que era como se conocía a la hoy ciudad de Villahermosa, hacia la región llamada de los Ríos, mientras que en otros viajaban desde San Juan Bautista hacia el puerto de Frontera o por el río Palizada hasta Isla El Carmen y efectuaban viajes permanentes a los estados vecinos de Chiapas y Campeche. Conforme daba conclusión el siglo XIX y entraban los años del siglo XX el movimiento de barcos en este puerto fue en ascenso. El auge comercial en los lugares apuntados y luego la integración de Tabasco como región bananera al mercado norteamericano hicieron de Frontera un puerto importante en el Golfo y una puerta vital para la vida económica y social de la entidad. La importancia que tuvo la transportación fluvial en la economía tabasqueña fue considerable, ya que contribuyó notablemente al impulso del comercio tanto interno como externo de la entidad cuya principal actividad desde la época prehispánica fue la agricultura, principalmente el cultivo del cacao, que continuó cultivándose durante la época colonial para exportación, igual que el palo de tinte, el café, la pimienta, y otros productos, mientras que la agricultura de subsistencia se basaba en el cultivo de alimentos básicos como maíz, frijol, calabaza, yuca y otros productos que, complementados con la pesca y la crianza de animales de patio, permitirán subsistir al indígena y al campesino tabasqueño.

4

Al iniciarse la segunda década del siglo XX, el Puerto de Frontera tenía un gran movimiento de embarcaciones nacionales y extranjeras. Además los vapores que traficaban permanentemente los ríos de Tabasco, llegaban a este puerto un promedio mensual de 34 embarcaciones nacionales y extranjeras. Un promedio de 25 de vapores nacionales y extranjeros del Atlántico, ya fuese de un puerto del Golfo de México, o desde Boston, New York, Filadelfia, Baltimore y sobre todo de New Orleans y Galveston. En 1913 y 1914, llegaban a Frontera vapores alemanes, ingleses, norteamericanos, daneses, cubanos y noruegos (Balcázar, 2003). En las siguientes tablas se muestran los vapores que arribaron en ese entonces y su capacidad:

Tabla 2.- Vapores noruegos.

Nombre del Barco	Peso TON.
Burstad	960
Comodoro Rollings	1,566
Vicendio di Giorgio	1,611
Livingstone	1,004
Raum	1,245
Antares	1,840
Aguella	940
Habana	891
Colombia	851

Tabla 3.- Vapores mexicanos.

Nombre de barco	Peso TON.
Sonora	1,650
Tabasco	1,298
Tamaulipas	1,298
Tehuantepec	844
Yucatán	781
Campeche	355
San Cristóbal	2,159
Frontera	394

4 Conforme entró el siglo XX, y creció el movimiento de los barcos en el Golfo y en el Atlántico, el mayor obstáculo que tenía el Estado para realizar su tráfico con el exterior era la poca profundidad de la Barra de Frontera y su azolvamiento permanente (Balcázar, 2003) problema que a la fecha sigue latente. Con la inauguración del Ferrocarril del Sureste, la carretera del Golfo, la incorporación de nuevas tierras a la producción, la explotación de yacimientos de petróleo y gas natural, en el decenio de 1950 – 1960, se dio por terminada la época de oro de la navegación fluvial en Tabasco (Velásquez, 1994).

En la figura 7, se rescatan las rutas navegables en el estado de Tabasco en el año de 1901, clasificándolas de acuerdo al tamaño de las embarcaciones que las podían surcar, en grandes, pequeños vapores y caños (Balcázar, 2003).



Figura 7.- Rutas de canales de navegación en 1901.

Fuente: Hidrovía Fluvial en Tabasco, Ana Karenina Pérez González, 2010.

El tráfico fluvial dentro del Estado y las distancias existentes que comunicaba a San Juan Bautista (centro comercial más importante en el estado), con el Puerto de Frontera, así como las demás cabeceras municipales, poblados y rancherías ubicados en las márgenes de los ríos, se aprecia en el siguiente cuadro:

Tabla 4.- Ríos que comunicaban a la capital.

De San Juan Bautista		Ríos	Kms.
4 A Frontera	Grijalva		96
A Jonuta	Grijalva	Y Usumacinta	160
A Montecristo	Grijalva	Y Usumacinta	234
A Balancán	Grijalva	Y Usumacinta	284
A Tenosique	Grijalva	Y Usumacinta	400
A Macuspana	Grijalva	Chilapa y Macuspana	200
A Tacotalpa	Grijalva	Y de la Sierra	71
A Jalapa	Grijalva	Y de la Sierra	53
De San Juan Bautista a Ermita (a 9km. De Teapa)	Grijalva	Y de la Sierra y Teapa	64
Paso de Cárdenas (a 6km. De Cárdenas)	Grijalva	Y Mezcalapa	90
Huimanguillo	Grijalva	2 González Canal Arrastradero	110
Paraíso	Laguna de Mecoacán, brazo del Bellote y Río Seco		112

7 Casi tres mil embarcaciones se encuentran matriculadas ante la Capitanía de Puerto de Villahermosa (2012), por lo que cuentan con los permisos correspondientes para navegar por los cuatro ríos más importantes del estado –Carrizal, Grijalva, Usumacinta y San Pedro–, a fin de realizar acciones relacionadas con el turismo, la pesca y el comercio.

El comandante del resguardo marítimo federal de dicha Capitanía, Ulises Rafael Saavedra Santamaría, precisó el 26 de julio de 2012, que de las 2 mil 912 embarcaciones matriculadas, 7.5 están determinadas como particulares; 395 son para la pesca ribereña; mil 944 pertenecen a sociedades cooperativas y 348 a embarcaciones mercantiles.

Todas ellas forman parte de la jurisdicción a cargo de la Capitanía de Villahermosa, de la cual forman parte los municipios de Centro, Macuspana, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta, Tenosique, Teapa y Nacajuca, añadió.

Estas son las características de las embarcaciones registradas para navegar en cuatro grandes ríos de la entidad:

Naves particulares: 225

Pesca Ribereña: 395

Sociedades cooperativas: mil 944

Mercantiles: 348.

En la Fotografía 1, se hace referencia de la embarcación de giro turístico en la ciudad de Villahermosa.



Fotografía 1.- Embarcación Barco Beuló que navega sobre el río Grijalva.

Como se describió en los párrafos anteriores las hidrovías cobran cada día mayor relevancia como medio de transporte en el Mundo, sin embargo, México y en particular el estado de Tabasco han hecho poco por incentivar este medio de transporte. Aún más, Tabasco que alguna vez pudo haber sido considerado como la potencia nacional en lo que se refiere a navegación fluvial, hoy en día, está muy ¹³ debajo de años pasados. La continua modificación de sus cauces, originada tanto por fenómenos naturales como la erupción del Volcán Chichónal en 1982, hasta las grandes obras de aprovechamiento hidráulico tanto para generación de energía como protección, han modificado drásticamente el entorno fluvial. A continuación en el siguiente capítulo, se hace un análisis sobre la factibilidad técnica de reactivar la navegación fluvial en los alrededores de la ciudad de Villahermosa.

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

La realización del análisis de factibilidad la hidrovía fluvial de Villahermosa, comprende una serie de estudios, tanto técnicos como socioeconómicos que permitan emitir un diagnóstico integral sobre las ventajas y desventajas de implementar o reactivar un proyecto de este tipo. Sin embargo, los alcances de este trabajo se limitaron solamente al aspecto técnico, quedando para estudios posteriores el aspecto socioeconómico, por quedar fuera del ámbito de competencia de los responsables de esta investigación.

El estudio comprendió: reconocimiento y levantamiento de campo; hidrología; estudios batimétricos y análisis numérico a partir de los cuales se construyó un mapa de navegación fluvial, y se emitieron las características del tipo y/o características de embarcaciones que pueden circular por la misma durante todo el año, así como las modificaciones y/o adecuaciones que se deben hacer a los cauces para un adecuado funcionamiento.

A continuación se describen cada uno de estos procesos.

2.1 Reconocimiento de campo.

La primera etapa para elaborar el mapa de navegación fluvial de Villahermosa, partió del reconocimiento de campo de las corrientes consideradas en el estudio. En este caso se recorrió desde el embarcadero que se localiza sobre la carretera que va al aeropuerto de la ciudad de Villahermosa, hacia aguas arriba sobre el río Grijalva hasta llegar a la confluencia formada por los ríos Grijalva y Carrizal. A partir de este punto se recorrieron de manera independiente: en dirección hacia aguas arriba del río Grijalva, hasta llegar a su confluencia formada por los ríos de la Sierra y el Viejo Mezcalapa, para continuar sobre el primero hasta la zona de las escotaduras, con un recorrido aproximado de 32 km. Por el lado del río Carrizal se recorrió hasta la planta potabilizadora de Anacleto Canabal, con un recorrido aproximado de 25 Km.

Durante estos reconocimientos se estaba interesado en identificar todo tipo de obra, estructura o formación natural sobre el cauce que por su naturaleza fuera de interés para el mapa de navegación.

En la siguiente Figura 8 se muestra la zona de estudio recorrida y en las figuras subsecuentes se muestran las características de los elementos identificados. Durante estos recorridos se hizo una memoria fotográfica con localización por medio de GPS.

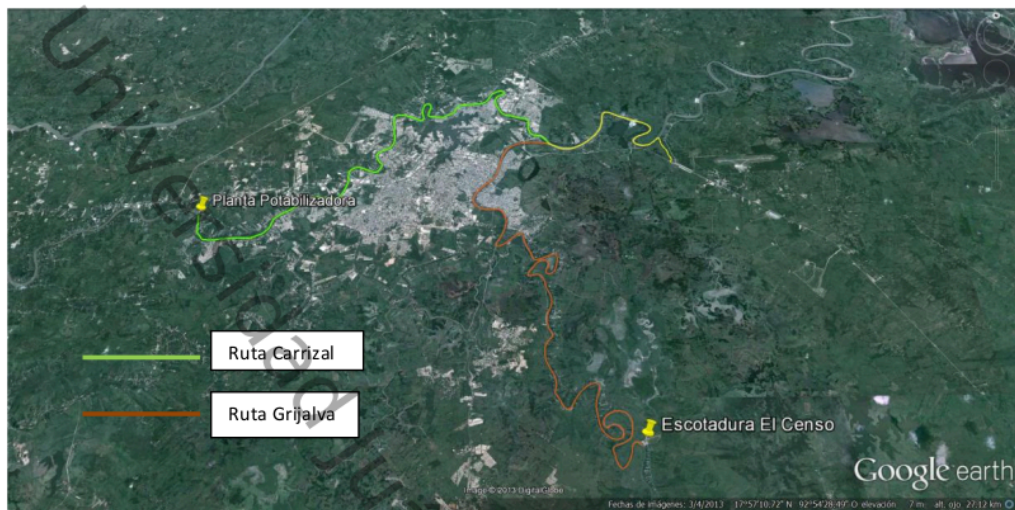


Figura 8. Zona de estudio de los ríos Carrizal, Grijalva y de la Sierra.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

2.2 Ubicación y levantamiento de Infraestructura en los ríos.

La ciudad de Villahermosa está rodeada por el río Carrizal, Grijalva y Pichucalco de los cuales existen puentes, obras de captación y descargas de aguas negras, los cuales son obstáculos que pueden obstruir el transporte fluvial. Se presenta en la siguiente Figura 9, la ubicación de los puentes que rodean la ciudad de Villahermosa.

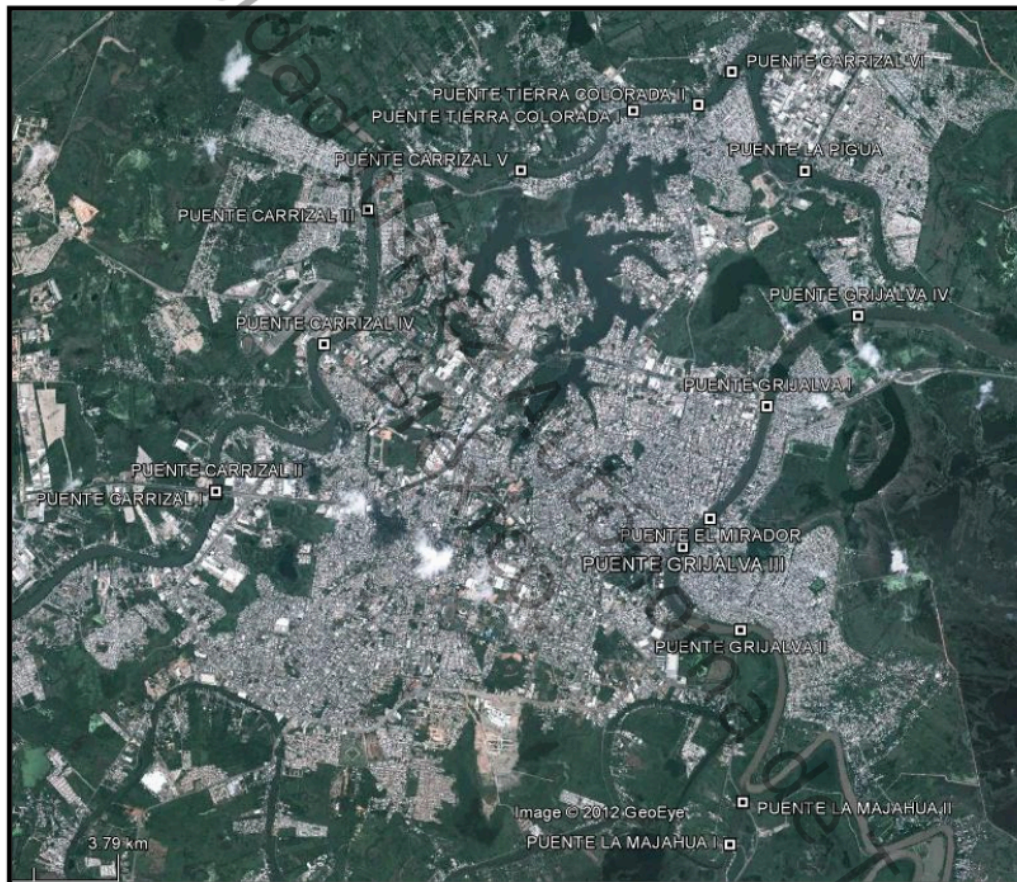


Figura 9. Ubicación de los puentes sobre el río Carrizal, Grijalva y Pichucalco.

Fuente: Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

A continuación, se presenta el listado de los puentes con su ubicación y posicionamiento:

Tabla 5.- Puentes sobre el río Carrizal.

PUENTE	UBICACIÓN	UBICACIÓN EN COORDENADAS	OBSERVACIONES	IMAGEN
CARRIZAL I	DE CARDENAS HACIA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA.	17°59'17.00"N 92°58'13.43"O	Puente de viga, con dos pilas rectangulares de 5 m. de ancho dentro del cauce. Elevación de la trabe inferior de 15.50 m., ancho de 11.36 m. y largo de 120m.	
CARRIZAL III	DE BOSQUES DE SALOYA HACIA VILLAHERMOSA.	18°1'0.26"N 92°57'16.82"O	Puente de arco con tablero inferior, sin pilotes ya que está apoyado sobre las márgenes del río. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 17m. y largo de 90 m.	
CARRIZAL IV	DEL PARQUE TABASCO HACIA VILLAHERMOSA.	18°0'11.33"N 92°57'32.91"O	Puente de arco con tablero inferior, sin pilotes ya que está apoyado sobre las márgenes del río. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 35 m. y largo de 90 m.	
CARRIZAL V	DE COLONIA TIERRA COLORADA I HACIA VILLAHERMOSA.	18°1'15.22"N 92°56'18.78"O	Puente de arco con tablero inferior, sin pilotes ya que está apoyado sobre las márgenes del río. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 32m. y largo de 140 m.	

PUENTE	UBICACIÓN	UBICACIÓN EN COORDENADAS	OBSERVACIONES	IMAGEN
CARRIZAL VI	DE TIERRA COLORADA II HACIA LA CARRETERA A NACAJUCA	18°1'51.87"N 92°54'58.88"O	Puente de viga, con dos pilas rectangulares de 5 m. de ancho en las márgenes. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 22 m. y largo de 110m.	
LA ISLA	DE REFORMA, CHIAPAS HACIA LA CARRETERA FEDERAL 180	17°58'8.86"N 93°7'54.93"O	Puente de viga, con 4 pilas rectangulares de 3 m. de ancho dentro del cauce. Elevación de la trabe inferior de 10 m., ancho de 10 m. y largo de 130 m.	
LA PIGUA	DE LA COLONIA EL RECREO HACIA CIUDAD INDUSTRIAL	18°1'16.24"N 92°54'30.69"O	Puente de viga, con 2 pilas rectangulares de 2.5 m. de ancho dentro del cauce. Elevación de la trabe inferior de 15.5 m., ancho de 25 m. y largo de 140 m.	
TIERRA COLORADA I	DE LA CARRETERA A NACAJUCA HACIA LA COLONIA TIERRA COLORADA	18°01'37.28"N 92°55'36.29"O	Puente de viga, con 2 pilas rectangulares de 2.5 m. de ancho dentro del cauce. Elevación de la trabe inferior de 8 m., ancho de 9 m. y largo de 105 m.	
TIERRA COLORADA II	DE LA COLONIA TIERRA COLORADA HACIA LA CARRETERA A NACAJUCA	18°1'39.67"N 92°55'11.45"O	Puente de viga, con 2 pilas rectangulares de 2.5 m. de ancho dentro del cauce. Elevación de la trabe inferior de 8 m., ancho de 8 m. y largo de 120 m.	

Tabla 6.- Puentes sobre el río Grijalva.

PUENTE	UBICACIÓN	UBICACIÓN EN COORDENADAS	OBSERVACIONES	IMAGEN
GRIJALVA I	DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA HACIA LA CARRETERA FEDERAL	17°59'50.91"N 92°54'43.96"O	Puente colgante, con 1 pila rectangular de 10 m. de ancho dentro del cauce. Elevación de la trabe inferior de 14 m., ancho de 29.5 m. y largo de 120 m.	
GRIJALVA II	DE LA CARRETERA VILLAHERMOSA-MACUSPANA HACIA LA COLONIA CASA BLANCA	17°58'29.66"N 92°54'53.03"O	Puente de viga, con pilas apoyadas dentro de la margen. Elevación de la trabe inferior de 14 m., ancho de 10 m. y largo de 100 m.	
GRIJALVA III	DE LA AV. PASEO TABASCO HACIA LA COLONIA LAS GAVIOTAS	17°58'59.59"N 92°55'15.36"O	Puente de viga, apoyado en las márgenes. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 22 m. y largo de 100 m.	
GRIJALVA IV	DEL ARCO NOROESTE HACIA LA COLONIA CASA BLANCA 2DA. SECCION	18°0'24.04"N 92°54'9.75"O	Puente de arco con tablero inferior, sin pilotes ya que está apoyado sobre las márgenes del río. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 20m. y largo de 110 m.	
PUENTE MANUEL PEREZ MERINO	DEL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD HACIA LA COLONIA GAVIOTAS	17°59'9.93"N 92°55'5.16"O	Puente de concreto, con tablero de arco, con 1 pilote circular de 5 m. de ancho y apoyado a la margen. Elevación de la trabe inferior de 14 m., ancho de 6 m. y largo de 120 m.	

Tabla 7.- Puentes sobre el río Pichucalco.

PUENTE	UBICACIÓN	UBICACIÓN EN COORDENADAS	OBSERVACIONES	IMAGEN
LA MAJAHUA I	DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA HACIA PARRILLA	17°57'12.02"N 92°54'56.10"O	Puente de viga, con 2 pilas rectangulares de 1.5 m. dentro del cauce y 2 pilas sobre las márgenes. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 9.5 m. y largo de 90 m.	
LA MAJAHUA II	DE PARRILLA HACIA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA	17°57'27.40"N 92°54'51.40"O	Puente de viga, apoyado sobre las márgenes. Elevación de la trabe inferior de 12 m., ancho de 10 m. y largo de 100 m.	

Fuente: Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

Como se observa en las Tablas 5 a la 7, de los 16 puentes existentes en la zona, al menos 2 puentes, que son los Tierra Colorada I y II, del río Carrizal; deben ser modificados pues para condiciones de bordo lleno, su claro no permite el paso libre de embarcaciones. Así como adecuarlos pilotes de estos puentes ya que están dentro del cauce, dificultando el paso de alguna embarcación.

2.3 Terminales fluviales de pasajeros.

En lo que respecta al río Grijalva, en las inmediaciones de Villahermosa, existe una zona donde se ubican cuatro pasos fluviales de las conocidas como “lanchitas”, siendo estos: El CICOM, El Duende, La Manga y El Macuilis. Donde más de 18 mil ciudadanos de las colonias Gaviotas Norte, Gaviotas Norte sector Popular, Gaviotas Sur (en sus sectores Armenia, Monal, Coquitos, Valle Verde y El Censo, entre otros), y La Manga I, II y III, los utilizan a diario. El paso del CICOM tiene un aforo promedio de mil personas; el paso Macuilis, 4 mil personas; el paso del Duende, 6 mil personas; y el paso de la Manga, 7 mil personas.

El 12 de Mayo del 2012, se realizó una visita de campo a los 4 pasos de la Terminal Fluvial El Cicom, Macuilis, El Duende y La Manga que se localizan como se muestra en la Figura 10.

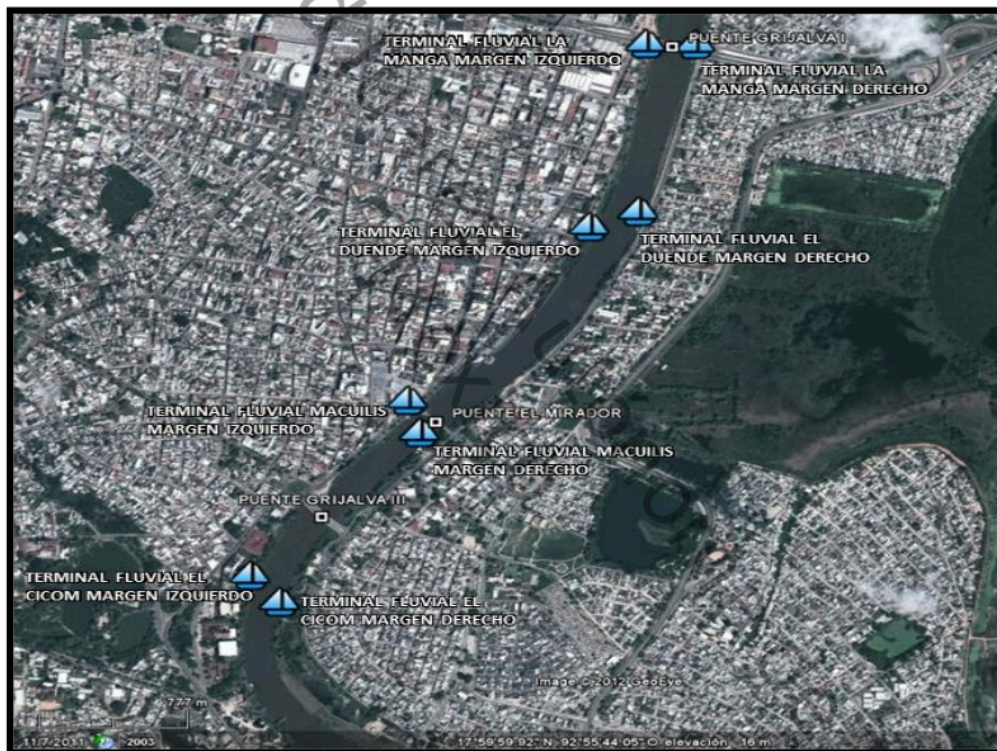


Figura 10.- Ubicación de los 4 Pasos Fluviales del río Grijalva.

Fuente: Hidrovía Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

A continuación se hace una breve descripción del estado físico que guarda cada una de ellas. Las cuales son las terminales fluviales el Cicom, Macuilis, El Duende y La Manga.

TERMINAL FLUVIAL EL CICOM



Figura 11.- Ubicación del Paso Fluvial El CICOM en ambas márgenes del río Grijalva.

Fuente: Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

Se ubica en la margen derecha del río Grijalva, con las coordenadas $17^{\circ}58'48.19''N$ $92^{\circ}55'19.16''O$ (Figura 11). Se encuentra en malas condiciones, ya que existe mucha vegetación en los taludes del río, no tiene escaleras adecuadas para poder acceder a las lanchas. Esta terminal beneficia a las colonias Mayito, Municipal, Gaviotas Norte y Sur, Torno Largo, Censo, Raíces y Parrilla. Cuenta con una estación de pasajeros la cual está abandonada y propicia a ser un lugar inseguro y peligroso. (Fotografías 2 y 3).



Fotografía 2.- Ubicación del Paso Fluvial Cicom margen derecho del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.



Fotografía 3.- Estación de pasajeros en la Terminal Cicom margen derecho.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

Ubicando la terminal de la margen izquierdo en las coordenadas $17^{\circ}58'51.10''N$ $92^{\circ}55'21.79''O$; que se encuentra a un costado de la Biblioteca Jose Ma. Pino Suárez y la estación de Bombeo Cicom, la cual descarga sus aguas alado de la terminal generando un ambiente insalubre para el paso de personas. (Fotografía 4).



Fotografía 4.- Ubicación del Paso Fluvial Cicom margen izquierdo del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

TERMINAL FLUVIAL MACUILIS

Se ubica en el río Grijalva, en las coordenadas de la margen izquierda $17^{\circ}59'10.21''\text{N}$ $92^{\circ}55'7.69''\text{O}$ y margen derecha $17^{\circ}59'6.69''\text{N}$ $92^{\circ}55'6.61''\text{O}$ (Figura 12). Esta terminal es una de las más importantes ya que se encuentra cerca de la Plaza de Armas el centro histórico, y palacio de gobierno de la ciudad de Villahermosa.



Figura 12.- Ubicación del Paso Fluvial Macuilis en ambas márgenes del río Grijalva.

Fuente: Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

Cabe señalar que la terminal de la margen izquierda es la única que no cuenta con una parada de transporte terrestre pública próxima, ya que se encuentra sobre el Malecón Carlos A. Madrazo; además, de que colinda con un puente peatonal “el Puente Solidaria”, el cual une al Centro Histórico de Villahermosa con la colonia Gaviotas Norte y Sur, Torno Largo, Censo Raíces y Parrilla (Fotografía 5 y 6).



Fotografía 5.- Ubicación del Paso Fluvial Macuilis margen derecho del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.



Fotografía 6.- Ubicación del Paso Fluvial Macuilis margen izquierdo del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

TERMINAL FLUVIAL EL DUENDE

Se ubica en la margen izquierda del río Grijalva, en las coordenadas $17^{\circ}59'29.18''\text{N}$ $92^{\circ}54'51.39''\text{O}$; y en su margen derecha en $17^{\circ}59'30.83''\text{N}$ $92^{\circ}54'47.0''\text{O}$. Esta terminal es la segunda más importantes ya que se encuentra cerca de plaza de armas, el centro histórico corazón de Villahermosa, y palacio de gobierno; los cuales son puntos de mayor importancia de la ciudad.

En la figura 13 se muestra el recorrido georeferenciado que realiza la lancha en esta terminal la cual comunica el centro de la ciudad de Villahermosa a Gaviotas Norte Sector Popular, Gaviotas Sur, La Manga I. El recorrido dura aproximadamente 10 minutos, siendo un recorrido de 300 metros de ida y vuelta; y con un costo del pasaje (Junio 2012) de \$1.00.



Figura 13.- Ruta del Paso Fluvial El Duende del río Grijalva.

Fuente: Hidrovía Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

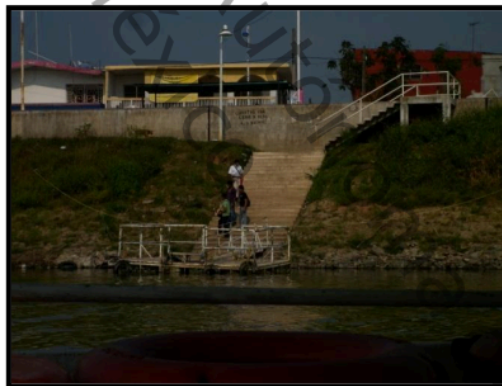
Cabe señalar que la terminal fluvial sobre la margen izquierda se encuentra sobre el Malecón Carlos A. Madrazo, pero se tiene que pasar sobre un área que esta desolada, enmontada y sin vigilancia, generando inseguridad a los usuarios, ya que es una de las terminales con mayor tránsito de personas.



Fotografía 7.- Ubicación del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

Las estructuras de los embarcaderos en ambas márgenes se encuentran muy oxidados, se perciben poco seguros y les hace falta mantenimiento; además, de una apropiada iluminación, ya que el horario de las lanchitas en esta terminal es de 24 horas (Fotografía 7 y 8)



Fotografía 8.- Ubicación del Paso Fluvial El Duende margen derecho del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

TERMINAL FLUVIAL LA MANGA

Se ubica en la margen izquierda del río Grijalva en las coordenadas $17^{\circ}59'49.19''\text{N}$ $92^{\circ}54'46.33''\text{O}$; y en la margen derecha en $17^{\circ}59'49.08''\text{N}$ $92^{\circ}54'41.89''\text{O}$ (Figura 14 y Fotografía 9). Esta terminal comunica al Mercado Pino Suárez con la colonia La Manga I y II y Gaviotas Norte, siendo esta la más transitada de todas las terminales y la que en peores condiciones se encuentra.



Figura 14.- Ubicación del Paso Fluvial La Manga margen derecho del río Grijalva.

Fuente: Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.



Fotografía 9.- Ubicación del Paso Fluvial La Manga margen derecho del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

Actualmente los pasos fluviales se encuentran en condiciones poco funcionales para los usuarios, que desde las 5:30 empiezan el servicio hasta las 21:30 horas, excepto la terminal El Duende que funciona las 24 horas; en las siguientes imágenes se describe la situación actual:

En la Fotografía 10, se muestran los barandales del embarcadero del paso El Duende, los cuales no están fijados de manera correcta, lo que genera inseguridad para los usuarios.



Fotografía 10.- Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

El muelle (Fotografía 11), se encuentra sobre bloques de espuma de poli estireno, lo que genera que el muelle pueda flotar sobre el río; sin embargo, se encuentra deteriorado debido a la acumulación de palotada, basura y Jacinto que arrastra el río.



Fotografía 11.- Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

En todas las terminales fluviales se encuentra el reglamento establecido por la Dirección General de Marina Mercante para los usuarios de los embarcaderos (Fotografía 12).



Fotografía 12.- Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen izquierdo del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

Y cerca de las terminales fluviales se encuentran paradas de transporte público en las cuales señalan un reglamento para estas (Fotografía 13).



Fotografía 13.- Reglamento en el Embarcadero del Paso Fluvial El Duende margen derecho del río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

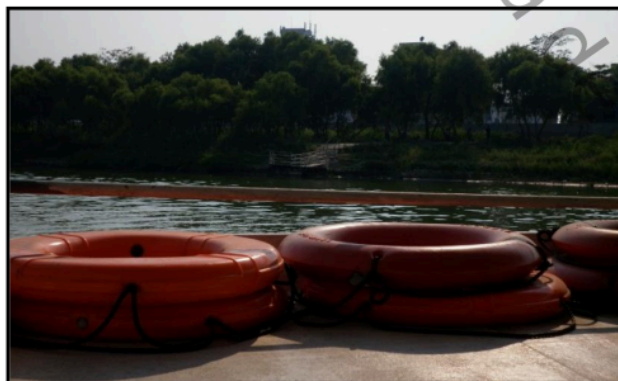
Actualmente las embarcaciones que circulan sobre el río Grijalva, Laguna de las Ilusiones, Laguna del Negro, Laguna del Espejo y Laguna del Camarón, tienen una capacidad de 100 personas pero por seguridad solo se permite transportar 70 personas por viaje (Fotografía 14).



Fotografía 14.- Lancha del Paso Fluvial El Duende.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

Por parte de la Dirección General de Marina Mercante pide que cada lancha cuente con chalecos salvavidas, remos, extinguidores y material para brindar el mantenimiento de las lanchas (Fotografía 15). Que en el recorrido solo se pudo observar que no se cuentan con suficientes salvavidas para la cantidad de personas que transitan diario. Después de la inundación del 2007, se empezó la construcción de los bordos de concreto sobre las márgenes del río Grijalva lo que provocó que en el 2010 se invirtiera por parte del Ayuntamiento del Centro 1 millón 759 mil 960 pesos la inversión total y 439 mil 990 pesos el costo de cada una de las lanchas, para su rehabilitación.



Fotografía 15.- Salvavidas en las lanchas del paso fluvial El Duende.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Junio, 2012.

Actualmente este es prácticamente el único uso que se le da al río como vía fluvial y como se aprecia está totalmente descuidado y sin atención; a pesar, de que como se mencionó de atención a cerca de 6000 personas por día.

El resto del aprovechamiento es básicamente recreativo y de pesca, contando con la siguiente infraestructura.

2.4 Terminales fluviales privadas.

Actualmente el tráfico fluvial de Tabasco es básicamente de lanchas de pequeño calado para pesca y recreativas, contándose con dos marinas para embarco y desembarco. La Marina Grijalva se ubica en la carretera Villahermosa-Teapa, km. 6, en la Ra. Majahua, del municipio del Centro, Tabasco; en las coordenadas $17^{\circ}56'44.69''\text{N}$ $92^{\circ}55'3.68''\text{O}$ (Figura 15), tiene una capacidad para 60 embarcaciones. Se divide en la marina húmeda, (Fotografía 16 y 17) desarrollada en una dársena de 4,108 m², con capacidad para 60 embarcaciones de diferentes esloras. Se distribuye en tres muelles de 36 metros de largo por 2.20 m de ancho, con base de estructura de acero, listones de madera y bloques de poli estireno. Cuenta además con acceso por el estacionamiento vehicular por una rampa botadero de 31 m de largo por 8 m de ancho; y por el río Pichucalco a través de un canal de 36 m de largo y 7.30 m de ancho que conecta a este con la dársena. La marina seca, se desarrolla en un área de 120.00 m², y dispone de un espacio techado para albergar hasta 20 embarcaciones, está ubicada en la parte noreste del predio contigua al estacionamiento.

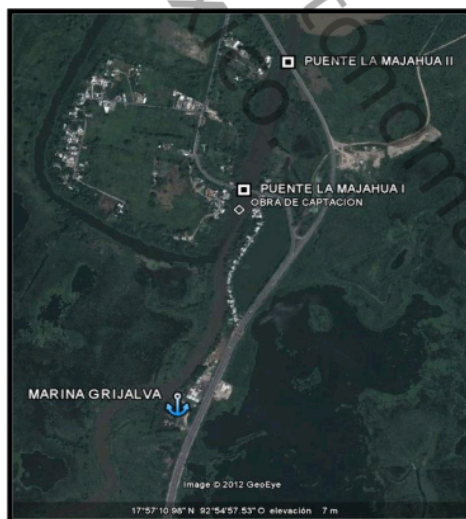


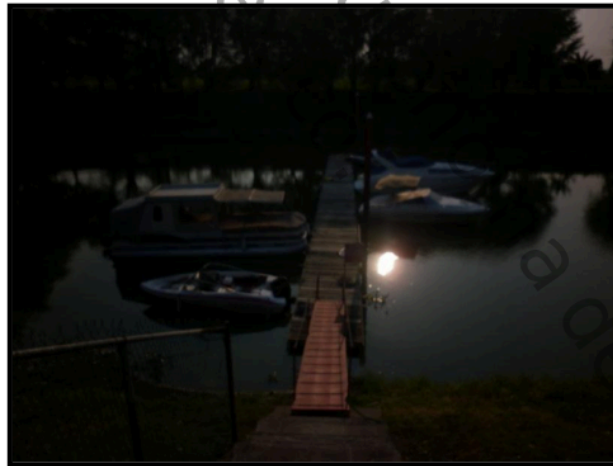
Figura 15.- Ubicación de la Marina Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2012.



Fotografía 16.- Embarcadero de Marina Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Octubre, 2012.



Fotografía 17- Muelle de Marina Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Octubre, 2012.

La Marina del arroyo Zapote I, se ubica en la carretera federal No. 186 Villahermosa-Macuspá, km. 8.9, sobre el puente Zapote I, municipio del Centro, Tabasco; en las coordenadas $17^{\circ}59'43.08''\text{N}$ $92^{\circ}50'43.56''\text{O}$ (Figura 16), dividida en el área de maniobras y alojamiento de embarcaciones; y una rampa de descenso, permitiendo descender solo una embarcación a la vez (Fotografía 17 y 18).



Figura 16.- Ubicación de la Marina Zapote I.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2012.



Fotografía 18- Muelle de Marina Zapote I.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Octubre, 2012.



Fotografía 19- Área de maniobras y alojamiento del Muelle Zapote I.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Octubre, 2012.

Lo que se ha descrito en los párrafos anteriores es la infraestructura básica que dispone la ciudad de Villahermosa.

Uno de los puntos clave del trabajo es determinar las dimensiones que pueden circular por la vía fluvial, por lo que a continuación se describe el análisis hidrológico llevado a cabo para estimar los caudales y niveles máximos y mínimos de la superficie del agua que se pueden esperar para los distintos periodos del año.

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

El Estado de Tabasco es una de las entidades federativas de la región sureste de la República Mexicana, su extensión territorial es de 24,661 km², representa 1.26 % de la superficie total del país. Ocupa el 24° lugar en extensión territorial respecto a los demás estados de la República Mexicana.

Por su ubicación y características morfológicas la hidrología superficial del municipio es compleja y juega un papel determinante en los diferentes procesos que afectan a la población durante las épocas de lluvia. El municipio se ubica en la Región Hidrológica No 29 considerada la Cuenca baja del río Grijalva. Esta zona está dominada por dos sistemas hidráulicos que provienen de la Sierra Norte de Chiapas. El primer sistema es el Mezcalapa – Grijalva, que recoge los escurrimientos de la zona Norte de Chiapas, y que en su parte alta se encuentra bloqueado por cuatro presas hidroeléctricas que producen un importante porcentaje de la energía eléctrica nacional y sirven de control de avenidas de agua hacia el estado de Tabasco. Este sistema cuando llega al municipio de Huimanguillo, se divide en dos brazos dando origen a los ríos Samaria y Carrizal. El segundo sistema es el formado por los ríos de la Sierra, el cual transporta el caudal de la zona serrana de la parte alta de Teapa, Reforma y Tacotalpa, que al entrar a Villahermosa cambia su nombre a río Grijalva, el cual recibe un importante caudal formado por la confluencia de los ríos Puyacatengo, de la Sierra y Tacotalpa.

Ambos sistemas atraviesan el municipio del Oeste hacia el Este bordeando la ciudad de Villahermosa tanto por el Norte como por el Sur. En el Sur de la ciudad, el afluente del río Viejo se une al río Grijalva que ingresa por la parte sur del Municipio, a partir de su conjunción, la dirección del flujo es con rumbo Norte atravesando la ciudad de Villahermosa para incorporarse nuevamente al río Carrizal en la zona Norte de la ciudad en una influencia. A partir de ese momento se mantienen los caudales unidos hasta la zona de Tres Brazos donde se incorporan al río Usumacinta para descargar sus aguas al Golfo de México en el puerto de Frontera.

Estas características facilitan la formación de gran número de pantanos y cuerpos de agua de fondos someros interconectados por canales. De esta forma, en las áreas aledañas a la ciudad de Villahermosa y en la misma ciudad se encuentra este tipo de formaciones que son el origen de las principales lagunas en el municipio como son: Las Ilusiones, El Negro, La Pólvara, El Camarón, La Lima y La Majahua; mismas que representan un importante porcentaje del área municipal. En la siguiente Figura 17-18, se muestra el sistema lagunar.

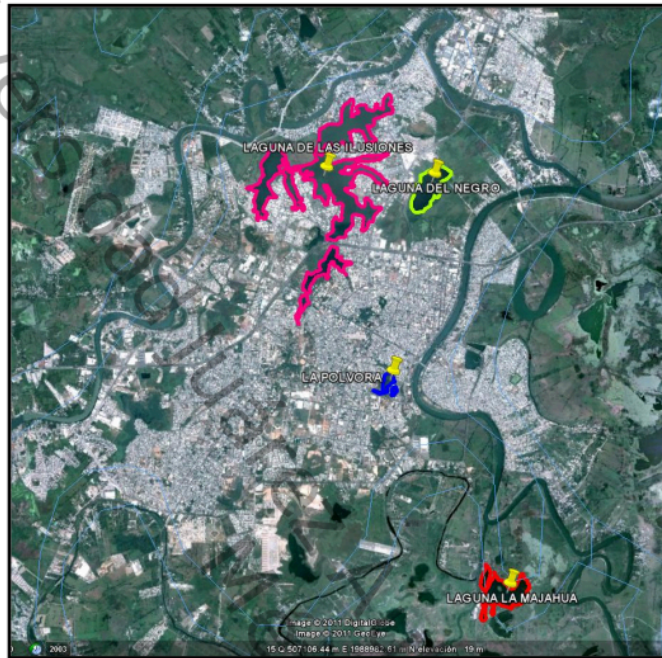


Figura 17.- Sistema lagunar de Villahermosa, Tabasco.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2012.



Figura 18.- Laguna de las Ilusiones, Villahermosa.

9

Así, Tabasco es la entidad de la República que presenta un mayor escurrimiento de agua a lo largo del año, la red hidrológica de la región es la más compleja del país, caracterizándose por entramados sinuosos de corrientes superficiales y una gran densidad de cuerpos de agua al estar constituido por una amplia planicie costera, en el que escurren las corrientes provenientes del sur del territorio, particularmente del estado de Chiapas y de la República Guatemala. Dentro de los cuerpos de agua que forman la red hidrológica de Tabasco, se encuentran los dos ríos con mayor caudal en la república mexicana, el Grijalva y el Usumacinta, que forman una de las regiones hidrológicas más extensas de México (11, 550, 700 ha) y la séptima más grande del mundo con una carga anual aproximada de 105,000 millones de m³ de agua (Velázquez, 1994).

9

La cuenca Río Grijalva-Villahermosa es la mayor con una extensión de 10 586.60 km² y la más importante de Tabasco, ya que en ella desembocan gran parte de los ríos que cruzan la llanura del Estado, como es el Usumacinta. Su corriente principal se origina en la Sierra de los Cuchumatanes, en territorio guatemalteco. Se forma por la unión de los ríos San Gregorio y San Miguel, los cuales cruzan por separado la frontera entre México y Guatemala, y al unirse en nuestro país constituyen el río Grande de Chiapas. El Grijalva recorre aproximadamente 600 km en tierras chiapanecas antes de entrar a Tabasco. Aguas abajo de la presa Netzahualcóyotl (Peñitas), en el lugar que sirve de límite entre Chiapas y Tabasco, es donde por primera vez recibe el nombre de río Mezcalapa o bajo Grijalva cuya denominación cambia a Grijalva en la ciudad de Villahermosa y lo conserva hasta su desembocadura al mar en la barra de Frontera. El alto Grijalva, a su vez, se forma en territorio tabasqueño por la unión de los ríos Oxolotán y Amatán, frente al pueblo de Tapijulapa; sigue con el nombre de Tacotalpa o de la Sierra; se le unen muchos arroyos y a 10 kilómetros del poblado de Pueblo Nuevo de las Raíces, se unen las corrientes de los ríos Teapa y Puyacatengo; en la zona conocida como la Majagua afluyen a él, por la margen izquierda, las corrientes unidas del Ixtacomitán o Pichucalco y el azolvado río Viejo o Viejo Mezcalapa; a partir de esta confluencia se denomina Grijalva; pasa frente a la ciudad de Villahermosa y 4 kilómetros abajo, se une al río Carrizal y de La Pigua.

3.1 Análisis de frecuencia de gastos máximos anuales.

Uno de los objetivos de este trabajo consistió en llevar a cabo un análisis hidrológico de valores extremos, tanto para los gastos máximos, como para los mínimos. A continuación se presentan las estimaciones obtenidas para los diferentes cauces que se encuentran en la zona en estudio, los cuales son los ríos Carrizal, Grijalva, de la Sierra y Pichucalco, en los tramos que a continuación se describen:

- Río Carrizal, desde su confluencia con el Río Grijalva hasta la estación hidrométrica González, ubicada a unos 30.52 km aproximadamente aguas arriba.
- Río Grijalva-Villahermosa, desde su confluencia con el Río Carrizal hasta 8 km aguas arriba.

Los objetivos planteados en la realización del presente estudio hidrológico fueron:

1. Analizar el régimen hidrológico de la zona en estudio considerando los registros de gastos máximos ocurridos en cada año (series anuales) en las estaciones hidrométricas que conforman la zona en estudio.
2. Analizar los gastos máximos en las estaciones hidrométricas González, Porvenir, San Joaquín, Pueblo Nuevo y Gaviotas, para definir los diferentes periodos de retorno para cada una de las estaciones.
3. Obtener los gastos-periodo de retorno para realizar el análisis hidráulico de la zona en estudio, considerando los periodos de retorno de 5 años, debido a que se obtuvo información de la Comisión Nacional del Agua, de los proyectos de Delimitación de Zonas Federales, que a partir de este periodo de retorno, los ríos en estudio llegan a su bordo lleno, teniendo así la consideración de utilizarlo para llegar a un gasto que es viable navegar sin correr el riesgo de presentarse un desbordamiento o inundación.

Para conocer los niveles máximos que se presentan en los diferentes cauces en estudio para diferentes periodos de retorno, se realizó un análisis estadístico a partir de datos de las diferentes estaciones hidrométricas (Ver figura 20 y Tabla 8), considerando para ello los gastos máximos anuales, con lo que se determinó la tendencia de los mismos y se obtuvieron los gastos asociados a diferentes periodos de retorno. Posteriormente a partir del análisis de gastos, se determinó un gasto de funcionamiento del sistema, y fue a partir de este que se realizaron simulaciones numéricas para predecir el comportamiento hidráulico de los cauces, bajo las condiciones de estudio.

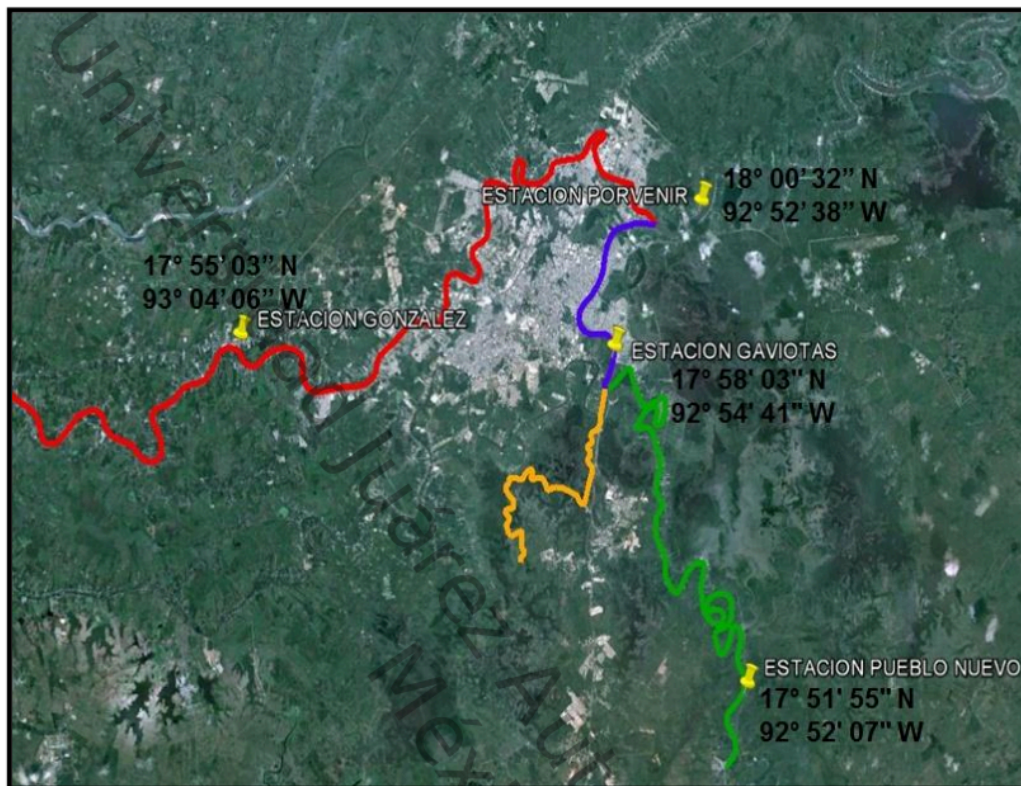


Figura 19.- Estaciones hidrométricas del estado de Tabasco.

Fuente: Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco. Ana Karenina Pérez González, 2012.

Tabla 8. Estaciones hidrométricas y años de registro.

ESTACIÓN	PERIODO	NO DE DATOS
González	1957 - 2012	56
Porvenir	1997 - 2012	15
San Joaquín	1956 - 2012	52
Pueblo Nuevo	1948 - 2012	65
Gaviotas	1996 - 2012	17

A continuación, se muestran los registros por estación y corriente analizada. En el cálculo estadístico se empleó el software Ax (Jimenez, 1996), que permite ajustar distintas funciones de probabilidad de acuerdo a la cantidad de datos suministrados, y entrega un resumen de los errores obtenidos, de donde se elige la mejor distribución que se piensa representa la

tendencia de los datos. A partir de esta distribución es que se generan las predicciones y los gastos de diseño.

3.1.1 Análisis en el río Carrizal.

Considera a la estación hidrométrica González que se localiza sobre el río al oeste de la ciudad de Villahermosa. Esta estación es de las más antiguas dentro del sistema hidrométrico de la CONAGUA en el estado de Tabasco, se contó con un registro de datos diarios de 1957 a 2012 del cual, se extrajeron los gastos máximos anuales. En la tabla siguiente se muestran los registros utilizados para el análisis de la estación hidrométrica González.

Tabla 9. Gastos máximos anuales estación González.

AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1957	706	1985	377.104
1958	808	1986	456.667
1959	890	1987	345.235
1960	719	1988	542.286
1961	851	1989	494.2
1962	938	1990	374.5
1963	966.9	1991	343.286
1964	905.5	1992	380.5
1965	990	1993	521.933
1966	676.08	1994	419.867
1967	1038.936	1995	222.402
1968	789.136	1996	758.822
1969	972	1997	928.812
1970	970	1998	782.842
1971	461.2	1999	1340.533
1972	725.1	2000	951
1973	985.5	2001	856.556
1974	610	2002	806
1975	476.6	2003	575
1976	473.8	2004	570
1977	601	2005	730
1978	493.5	2006	716
1979	524.5	2007	1466
1980	649.125	2008	662
1981	379	2009	660
1982	305	2010	940
1983	285.625	2011	467
1984	368	2012	239

Fuente: CONAGUA, 2012.

- Resultados del cálculo estadístico donde se empleó el software Ax:

Resumen de errores estándar Archivo analizado: glez.aju				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	60.268	-----	60.268	-----
Lognormal	57.771	50.127	57.421	57.911
Gumbel	54.729	-----	52.218	-----
Exponencial	84.956	-----	344.059	-----
Gamma	50.319	49.737	50.089	51.928
Doble Gumbel	58.582			

Mínimo error estándar: 49.737

Calculado por la función: Gamma (momentos) 3 p.

Tabla 10. Gastos máximos calculado por la función Gamma (momentos) 3p.

Tr (años)	GASTO (m³/seg)
2	631.05
5	873.62
10	1015.77
20	1141.45
25	1291.92
50	1397.6
100	1498.38
200	1624.48
500	1716.19
1000	1805.99
5000	1916.81
10000	1985.59

Parámetros estadísticos de la muestra

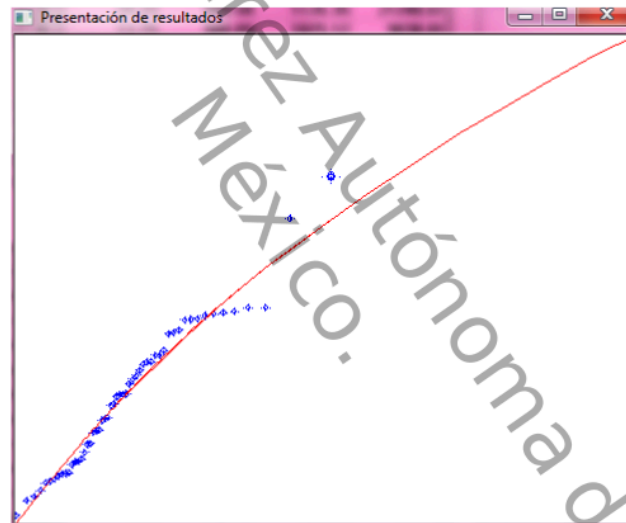
$\mu = 656.952$ $\gamma = 0.579$
 $\sigma = 270.291$ $\kappa = 3.388$

Parámetros de la función: Gamma (momentos)3p.

Parámetro	Alfa	Beta	Delta
Valor	78.259	11.9288	-276.5829

Error estándar = **49.737**

Figura 20.- Función Gamma (momentos) 3p.



3.1.2 Análisis en el río Grijalva (Porvenir).

Como se mencionó anteriormente, el río Grijalva se origina de numerosos arroyos y ríos que bajan de la Sierra de los Cachumatanes en Guatemala, toma el nombre de Grijalva a partir de la confluencia del río San Gregorio y San Miguel, atraviesa el valle de Chiapas con el nombre de río Grijalva, ya en el Estado de Tabasco el río Grijalva recibe el nombre de Mezcalapa, se bifurca en primero en el rompido de Samaria y el río Carrizal, y por la margen derecha en río Viejo Mezcalapa, recibe por su margen derecha las aportaciones del río Pichucalco y el río de la Sierra.

El sitio de estudio está influenciado por el volumen de agua que baja por el Río Carrizal y por los que bajan por el río de la Sierra, cabe destacar que estos últimos no tienen ningún control hidráulico y escurren libremente desde la sierra. Los gastos que bajan del río de la Sierra se miden en la estación hidrométrica Gaviotas, las del río Carrizal en la estación hidrométrica González, para posteriormente llegar a la confluencia (lugar de la zona de estudio), donde se mide el gasto en la estación hidrométrica Porvenir.

Será a partir de los registros de estas estaciones hidrométricas que se calibrará el modelo numérico.

Las observaciones del régimen de la corriente del río "Grijalva" se realizan en la estación hidrométrica "Porvenir", la cual geográficamente se localiza a los 18°00' 32" de latitud norte y 92°52' 38" de longitud oeste, dicha estación es relativamente de nueva operación, ya que solo cuenta registros a partir de 1997 hasta la fecha.

Tabla 11. Gastos máximos anuales estación Porvenir. Fuente: CONAGUA, 2012.

AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1997	1365.491
1998	1379.93
1999	1452.96
2001	1102
2002	1285
2003	1803
2004	1011
2005	1199
2006	1223
2007	2950
2008	1623
2009	936
2010	1682
2011	1207
2012	865

- Resultados del cálculo estadístico donde se empleó el software Ax:

Resumen de errores estándar Archivo analizado: porve.aju				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	256.769	-----	256.769	-----
Lognormal	219.071	208.971	251.887	317.990
Gumbel	209.333	-----	254.265	-----
Exponencial	192.232	-----	677.350	-----
Gamma	231.853	208.347	254.632	11111.000
Doble Gumbel	738.196			

Mínimo error estándar: 192.232

Calculado por la función: Exponencial (momentos)

Tabla 12. Gastos máximos calculado por la función Exponencial (momentos).

Tr (años)	GASTO (m ³ /seg)
2	1250.85
5	1713.03
10	2062.66
20	2412.28
25	2874.46
50	3224.09
100	3573.72
200	4035.9
500	4385.52
1000	4735.15
5000	5197.33
10000	5546.96

Parámetros estadísticos de la muestra

$\mu =$ 1405.625 $\gamma =$ 2.185
 $\sigma =$ 504.405 $\kappa =$ 9.379

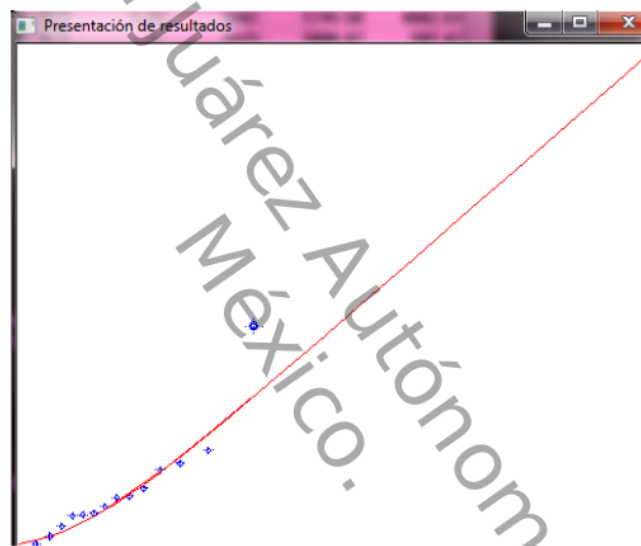
Exponencial

Parámetros de la función: (momentos)

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	504.4046	901.2207

Error estándar = **192.232**

Figura 21.- Función Exponencial (momentos).



3.1.3 Análisis en el río Grijalva (Gaviotas).

Estación Gaviotas.

Tabla 13. Gastos máximos anuales estación Gaviotas.

Fuente: CONAGUA, 2012.

AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1996	1110
1997	994
1998	1085
1999	928
2000	902
2001	722
2002	878
2003	801
2004	729
2005	712
2006	1040
2007	1772
2008	1340
2009	639
2010	1145
2011	1123
2012	359

- Resultados del cálculo estadístico donde se empleó el software Ax:

Resumen de errores estándar Archivo analizado: gav.aju				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	98.846	-----	98.846	-----
Lognormal	121.365	102.635	127.695	152.283
Gumbel	114.423	-----	104.671	-----
Exponencial	152.490	-----	442.341	-----
Gamma	111.789	1087.989	107.511	11111.000
Doble Gumbel	135.801			

Mínimo error estándar: 98.846

Calculado por la función:

Tabla 14. Gastos máximos calculados por la función Normal (momentos) 2p.

Tr (años)	GASTO (m³/seg)
2	922.65
5	1226.66
10	1386.46
20	1518.47
25	1667.01
50	1765.99
100	1856.55
200	1966.24
500	2043.16
1000	2115.78
5000	2206.25
10000	2271.11

Parámetros estadísticos de la muestra

$\mu = 922.647$ $\gamma = 0.185$

$\sigma = 362.316$ $\kappa = 4.65$

Parámetros de la función: Normal (momentos) 2p.

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	922.6471	362.3165

Error estándar = **98.846**

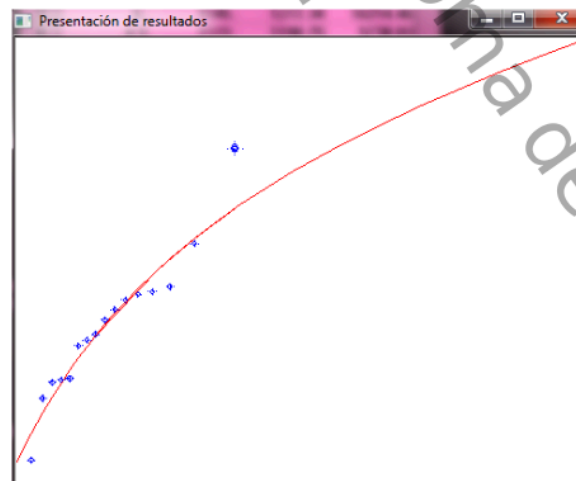


Figura 22.- Función Normal (momentos).

3.1.3 Análisis en el río de la Sierra.

La información hidrométrica con que se contó fue proporcionada por la supervisión de la CONAGUA y completada de los registros del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), y corresponde a los siguientes periodos:

La estación hidrométrica Pueblo Nuevo se localiza sobre el río de La Sierra al sureste de la ciudad de Villahermosa, esta estación es de las más antiguas dentro del sistema hidrométrico de la CONAGUA en el estado de Tabasco, se contó con un registro de datos diarios de 1947 a 2012 del cual, se extrajeron los gastos máximos anuales. En la tabla siguiente se muestran los registros utilizados para el análisis de la estación hidrométrica Pueblo Nuevo.

Tabla 15. Gastos máximos anuales estación Pueblo Nuevo.

AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1948	795	1972	806	1996	865.505
1949	747	1973	900.5	1997	840.06
1950	708	1974	831	1998	831.799
1951	739	1975	868	1999	894.868
1952	889	1976	820	2000	787.116
1953	767	1977	857	2001	883.541
1954	744	1978	922	2002	754.096
1955	788	1979	904	2003	874
1956	737	1980	906	2004	794
1957	750	1981	950	2005	875
1958	805	1982	890	2006	896
1959	750	1983	696	2007	1092
1960	771	1984	881	2008	1159
1961	929	1985	677	2009	1063
1962	932	1986	888.125	2010	1438
1963	889	1987	785.854	2011	1395
1964	960	1988	900	2012	862
1965	834.9	1989	988.571		
1966	842	1990	1275		
1967	922.4	1991	718.5		
1968	920	1992	1021		
1969	907.333	1993	723		
1970	874	1994	692.5		
1971	944	1995	837.596		
1971	944	1995	837.596		

Fuente: CONAGUA, 2012.

- Resultados del cálculo estadístico donde se empleó el software Ax:

Resumen de errores estándar Archivo analizado: pueblonew.aju

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	63.393	-----	63.393	-----
Lognormal	53.867	37.248	55.940	1023.000
Gumbel	42.833	-----	49.474	-----
Exponencial	38.214	-----	659.674	-----
Gamma	189.415	40.393	476.523	44.341
Doble Gumbel	34.263			

Mínimo error estándar: 34.263

Calculado por la función: Doble Gumbel

Tabla 16. Gastos máximos calculado por la función Doble Gumbel.

Tr (años)	GASTO (m³/seg)
2	838.9
5	942.66
10	1060.7
20	1226.73
25	1419.88
50	1551.73
100	1678.65
200	1843.07
500	1966.14
1000	2088.26
5000	2253.64
10000	2369.02

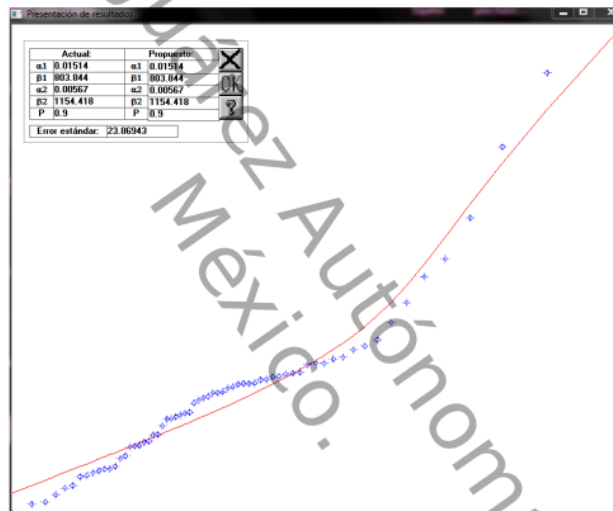
$\mu =$ 876.742 $\gamma =$ 1.923
 $\sigma =$ 145.704 $\kappa =$ 8.08

Parámetros de la función: Doble Gumbel

Parametro	Alfa	Beta
Valor 1	0.015136	803.844
Valor 2	0.00567	1154.418

Error estándar = **23.8694**

Figura 23.- Función Doble Gumbel (momentos).



3.1.5 Análisis en el río Pichucalco.

La estación hidrométrica San Joaquín se localiza sobre el río Pichucalco al norte de la ciudad de Pichucalco y al sur de la ciudad de Villahermosa, esta estación es de las más antiguas dentro del sistema hidrométrico de la CONAGUA en el estado de Tabasco, se contó con un registro de datos diarios de 1956 a 2012, del cual, se extrajeron los gastos máximos anuales.

En la tabla siguiente se muestran los registros utilizados para el análisis de la estación hidrométrica San Joaquín.

Tabla 17. Gastos máximos anuales estación San Joaquín.

AÑOS	GASTO MAXIMO (m ³ /seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m ³ /seg)
1956	400.25	1983	275.8
1957	542.75	1984	342.06
1958	416.87	1985	304.64
1959	445.12	1986	315.05
1960	275.96	1987	262.82
1961	592.43	1988	329.2
1962	275.83	1989	523.27
1963	315.38	1991	394.52
1964	707.38	1995	266.37
1965	664.53	1996	277.54
1966	225.62	1997	321.02
1967	1089.75	1998	242.12
1968	857.24	1999	210.86
1969	949.71	2001	470.32
1970	484.07	2002	352
1971	280.68	2003	294
1972	667.26	2004	641
1973	734.37	2005	559
1974	627.31	2006	405
1975	461.62	2007	584
1976	424.64	2008	574
1977	561.44	2009	305
1978	811.35	2010	586
1979	526.26	2011	388
1980	730.03	2012	357
1981	453.75		
1982	492.96		

Fuente: CONAGUA, 2012.

- Resultados del cálculo estadístico donde se empleó el software Ax:

Resumen de errores estándar Archivo analizado: joaquin.aju				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	132.870	-----	132.870	-----
Lognormal	75.285	72.416	89.702	97.645
Gumbel	85.856	-----	106.500	-----
Exponencial	69.624	-----	238.425	-----
Gamma	89.167	75.755	102.914	83.462
Doble Gumbel	72.340			

Mínimo error estándar: 69.624

Calculado por la función: Exponencial (momentos)

Tabla 18. Gastos máximos calculados por la función Exponencial (momentos).

Tr (años)	GASTO (m³/seg)
2	501.11
5	784.88
10	999.54
20	1214.21
25	1497.98
50	1712.64
100	1927.3
200	2211.07
500	2425.73
1000	2640.4
5000	2924.17
10000	3138.83

Parámetros estadísticos de la muestra

$\mu =$ 596.141 $\gamma =$ 1.974
 $\sigma =$ 309.693 $\kappa =$ 8.98

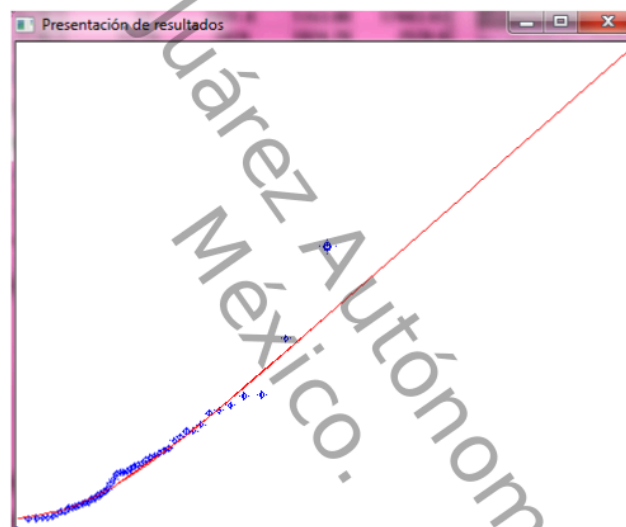
Exponencial

Parámetros de la función: (momentos).

Parámetro	Alfa	Beta	
Valor	309.6934	286.4478	

Error estándar = 69.624

Figura 24.- Función Exponencial (momentos).



Como resultado del análisis de frecuencia del gasto máximo a las diferentes estaciones hidrométricas se presenta la Tabla 19, como el resumen de los gastos obtenidos:

Tabla 19.- Gastos máximos anuales de las estaciones hidrométricas en estudio.

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA UN GASTO MÁXIMO ANUAL CON TR= 5 AÑOS (m ³ /s)				
González	Porvenir	Gaviotas	San Joaquín	Pueblo Nuevo
873.62	1,713.03	1,226.66	784.88	942.66

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Tabla 20.- Análisis de Frecuencia de las Estaciones Hidrométricas.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RESÚMEN DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS														
ESTACIÓN	MODELO	TR (PERIODO DE RETORNO)										E.E.A.		
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000	5000	10000	
GONZÁLEZ	GAMMA (MOMENTOS) 3P	631.05	873.62	1015.77	1141.45	1291.92	1397.60	1498.38	1624.48	1716.19	1805.99	1916.81	1985.59	49.737
PORVENIR	EXPONENCIAL (MOMENTOS)	1250.85	1713.03	2062.66	2412.28	2874.46	3224.09	3573.72	4035.90	4385.52	4735.15	5197.33	5546.96	192.23
SAN JOAQUÍN	EXPONENCIAL (MOMENTOS)	501.11	784.88	999.54	1214.21	1497.98	1712.64	1977.30	2211.07	2425.73	2640.40	2924.17	3138.83	69.624
PUEBLO NUEVO	DOBLE GUMBEL	838.90	942.66	1060.70	1226.73	1419.88	1551.73	1678.65	1843.07	1966.14	2088.26	2253.64	2369.02	23.869
GAVIOTAS	NORMAL (MOMENTOS) 2P	922.65	1226.66	1386.46	1518.47	1667.01	1765.99	1856.55	1966.24	2043.16	2115.78	2206.25	2271.11	98.846

GONZÁLEZ		PUEBLO NUEVO	
AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1957	706	1948	795
1958	808	1949	747
1959	890	1950	708
1960	719	1951	739
1961	851	1952	889
1962	938	1953	767
1963	966.9	1954	744
1964	905.5	1955	788
1965	990	1956	737
1966	676.08	1957	750
1967	1038.936	1958	805
1968	789.136	1959	750
1969	972	1960	771
1970	970	1961	929
1971	461.2	1962	932
1972	725.1	1963	889
1973	985.5	1964	960
1974	610	1965	834.9
1975	476.6	1966	842
1976	473.8	1967	922.4
1977	601	1968	920
1978	493.5	1969	907.333
1979	524.5	1970	874
1980	649.125	1971	944
1981	379	1971	944
1982	305	1972	806
1983	285.625	1973	900.5
1984	368	1974	831
1985	377.104	1975	868
1986	456.667	1976	820
1987	345.235	1977	857
1988	542.286	1978	922
1989	494.2	1979	904
1990	374.5	1980	906

SAN JOAQUIN	
AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1956	400.25
1957	542.75
1958	416.87
1959	445.12
1960	275.96
1961	592.43
1962	275.83
1963	315.38
1964	707.38
1965	664.53
1966	225.62
1967	1089.75
1968	857.24
1969	949.71
1970	484.07
1971	280.68
1972	667.26
1973	734.37
1974	627.31

	PORVENIR				GAVIOTAS			
	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)	AÑOS	GASTO MAXIMO (m³/seg)
1991	343.286	1981	950				1975	461.62
1992	380.5	1982	890				1976	424.64
1993	521.933	1983	696				1977	561.44
1994	419.867	1984	881				1978	811.35
1995	222.402	1985	677				1979	526.26
1996	758.822	1986	888.125				1980	730.03
1997	928.812	1987	785.854				1981	453.75
1998	782.842	1988	900				1982	492.96
1999	1340.533	1989	988.571				1983	275.8
2000	951	1990	1275				1984	342.06
2001	856.556	1991	718.5				1985	304.64
2002	806	1992	1021				1986	315.05
2003	575	1993	723				1987	262.82
2004	570	1994	692.5				1988	329.2
2005	730	1995	837.596				1989	523.27
2006	716	1996	837.596				1991	394.52
2007	1466	1996	865.505				1995	266.37
2008	662	1997	840.06				1996	277.54
2009	660	1998	831.799				1997	321.02
2010	940	1999	894.868				1998	242.12
2011	467	2000	787.116				1999	210.86
2012	239	2001	883.541				2001	470.32
		2002	754.096				2002	352
		2003	874				2003	294
		2004	794				2004	641
		2005	875				2005	559
		2006	896				2006	405
		2007	1092				2007	584
		2008	1159				2008	574
		2009	1063				2009	305
		2010	1438				2010	586
		2011	1395				2011	388
		2012	862				2012	357
MEDIA	669.39		877.16					472.98
DESVIACIÓN ESTANDAR	268.59		143.80					197.06
CV	40.13		16.39					41.66
K	0.29		5.20					0.86
COEF. SESGO	0.57		1.93					1.01

Tabla 21.- Cálculo de la media, desviación estándar, coef. Variabilidad, coeficiente de sesgo y k. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

N gonzález=	56	N		
N pueblo		porvenir=	15	N pueblo nuevo= 52
nuevo=	67	N		
		gaviotas=	17	

1. Calcular el promedio o media aritmética $\bar{x}$.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

2. Calcular la desviación estándar σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

3. Calcular la CV

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

3.2 Análisis de gastos mínimos.

La mayor utilidad de los análisis de gastos mínimos anuales está en el uso del agua y su manejo. Por ejemplo, para el diseño de un sistema de suministro de agua se debe asegurar el suministro de los gastos requeridos mientras dure la sequía, por lo que se debe conocer de alguna manera la peor sequía que se presentara en la vida útil del sistema. En el caso particular del presente estudio se estaba interesado en conocer los tirantes mínimos que podía alcanzar el río, para a partir de esos establecer las dimensiones y el calado de las embarcaciones que pueden circular por él. Especialmente durante la época de estiaje.



Fotografía 20.- Niveles mínimos en el río Grijalva.

Fuente: Ana Karenina Pérez González; Octubre, 2012.

18

La diferencia entre un análisis de gastos máximos y de mínimos radica principalmente en que ahora el que se pretende determinar es la magnitud del gasto menor durante cierto periodo de retorno, es decir, que todos los gastos que se presenten en ese periodo excedan el gasto mínimo. En la siguiente imagen se presenta el río Grijalva en su escala mínima del año 2013. (Fotografía 20).

El déficit de precipitaciones que viene arrastrando Tabasco desde la segunda quincena del mes de octubre de 2012, y el pronóstico de una disminución de las mismas para los meses de enero y febrero 2013, de 20 a 50 por ciento por debajo del promedio mensual, han adelantado la temporada de estiaje, que regularmente se presenta en el mes de marzo, reconoció la Comisión Nacional del Agua (Conagua,2012).

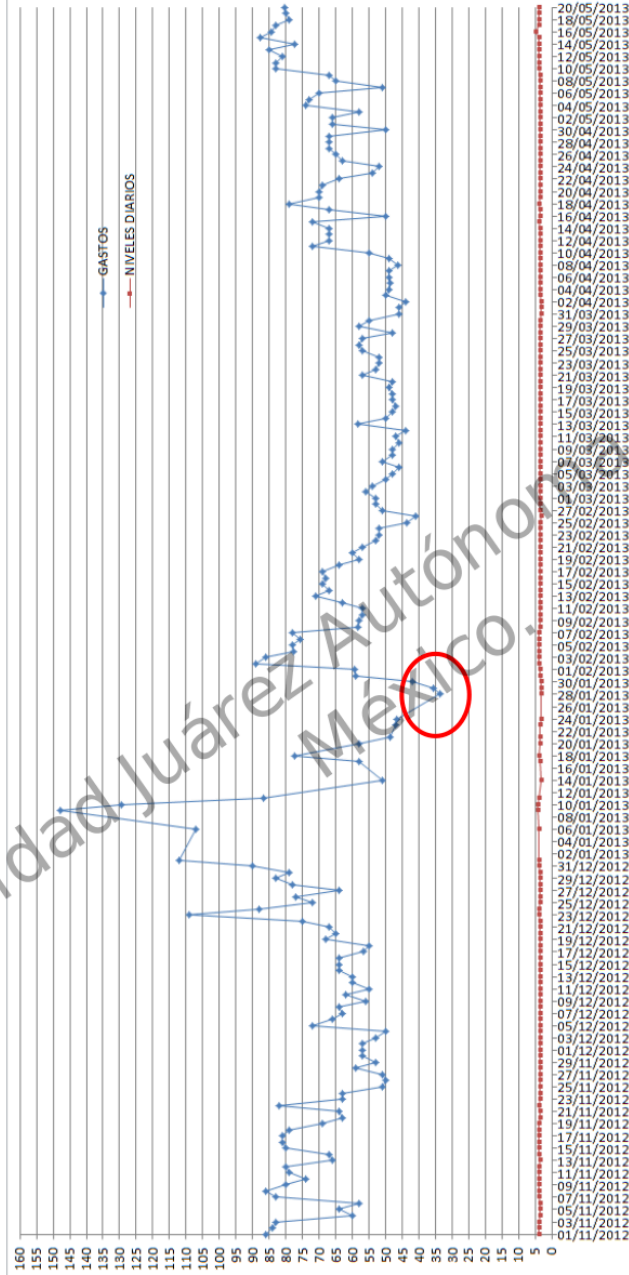
La dependencia federal explicó, que en el pasado mes de octubre se presentaron lluvias de 295 milímetros equivalentes al 80 por ciento del promedio para ese mes, que es de 372; en noviembre las lluvias fueron del orden de 30 milímetros que equivalen al 12 por ciento del promedio normal, que es de 243 milímetros; mientras que en lo que va de diciembre el acumulado de lluvias es de 26 milímetros equivalentes al 15 por ciento, de los 177 milímetros que se presentan en este mes.

Ante esta situación, señaló que los especialistas del Servicio Meteorológico Nacional están analizando la posibilidad que de continuar esta tendencia, el estado de Tabasco estaría empezando a enfrentar una situación de vulnerabilidad muy fuerte de estiaje adelantado, ya que todo dependerá de la cantidad de lluvia que pudiera acumularse a lo largo de los meses de enero y febrero, ya que ésta es la que de una u otra forma sirve para amortiguar estos efectos en las actividades agropecuarias.

Por lo tanto, en este trabajo se decidió obtener los gastos y niveles mínimos de cada estación en la fecha del 1 de noviembre del 2012, hasta el 20 de mayo de 2013. Los cuales han sido los meses con niveles mínimos históricos en cada uno.

A continuación se presenta las gráficas por gasto y nivel en cada corriente analizada, en las estaciones hidrométricas correspondientes:

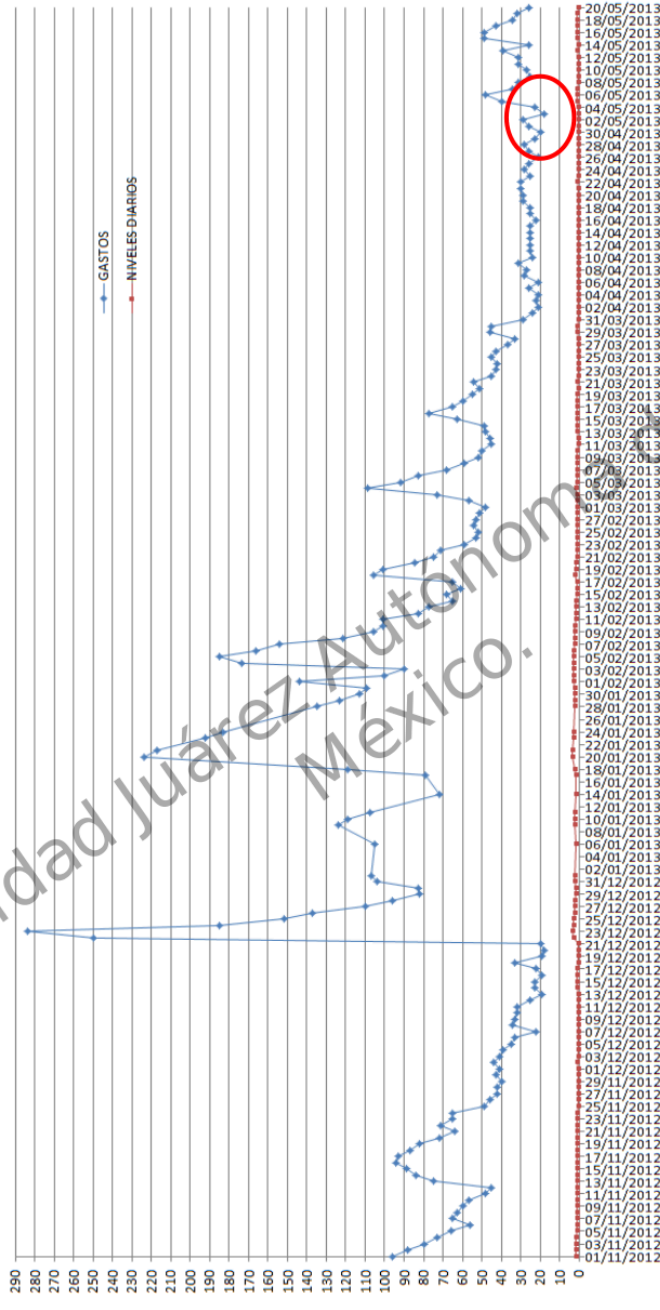
ESTACION GONZALEZ



Gráfica 1.- Niveles en la estación González. Fuente: CONAGUA, 2013.

El Gasto Mínimo de 33.61 m³/s y tirante de 3.22 m, del día 28 de enero de 2013, este será nuestro gasto para realizar la modelación del río Carrizal.

ESTACION GAVIOTAS



Gráfica 2.- Niveles en la estación Gaviotas. Fuente: CONAGUA, 2013.

El Gasto Mínimo de $18.00 \text{ m}^3/\text{s}$ y tirante de 0.50 m , del día **03 de mayo de 2013**, este será nuestro gasto para realizar la modelación del río Grijalva en su paso por la ciudad de Villahermosa.

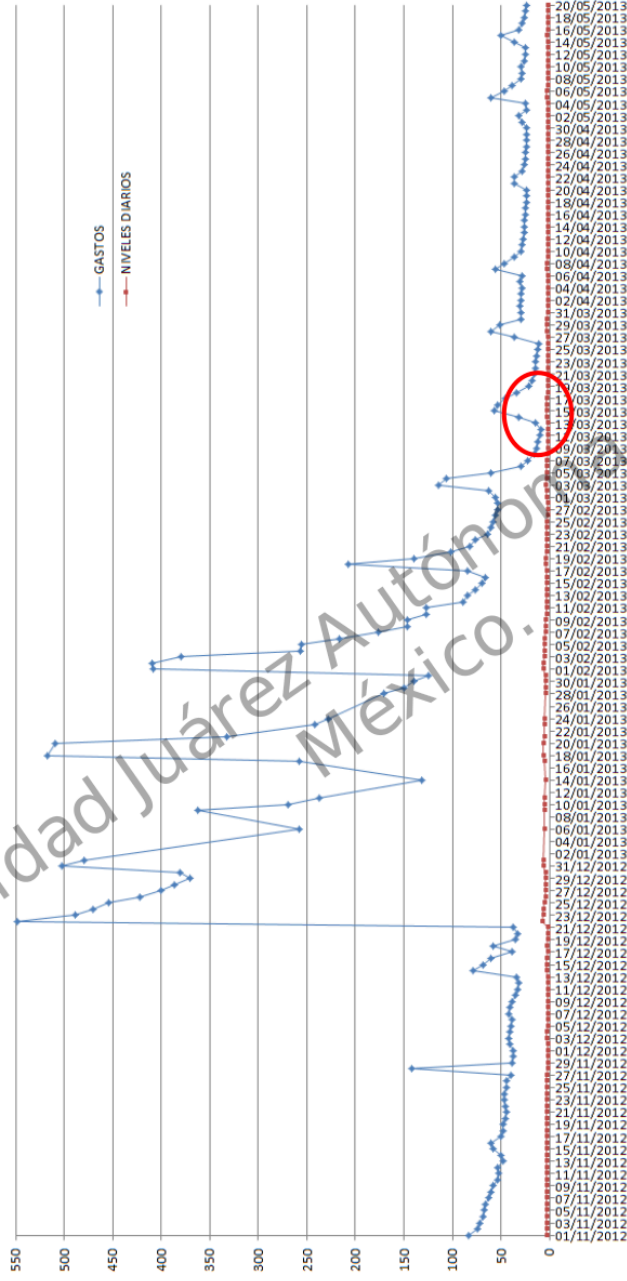
ESTACION PORVENIR



Gráfica 3.- Niveles en la estación Porvenir. Fuente: CONAGUA 2013.

El Gasto Mínimo de 38.00 m³/s y tirante de 0.28 m, el día 11 de marzo de 2013, este será nuestro gasto para realizar la modelación del río Grijalva aguas debajo de la ciudad de Villahermosa.

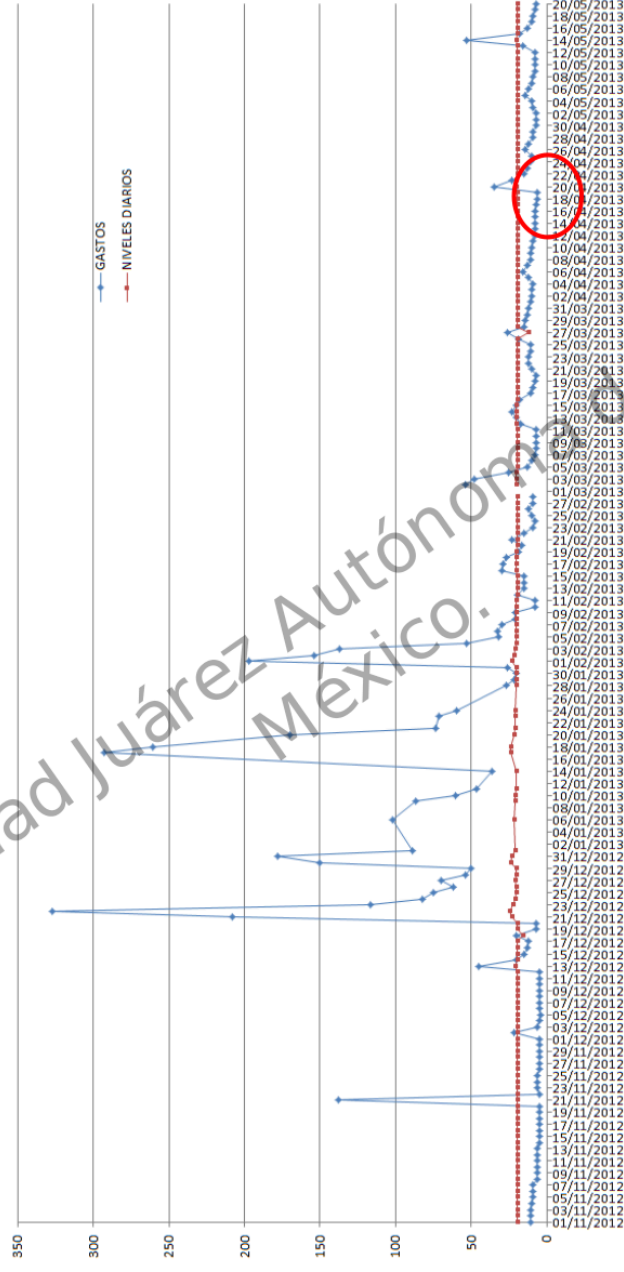
ESTACION PUEBLO NUEVO



Gráfica 4.- Niveles en la estación Pueblo Nuevo. Fuente: CONAGUA, 2013.

El Gasto Mínimo de 9.00 m³/s y tirante de 2.28 m, el día 12 de marzo de 2013, este será nuestro gasto para realizar la modelación del río de la Sierra.

ESTACION SAN JOAQUIN



Gráfica 5.- Niveles en la estación San Joaquín. Fuente: CONAGUA, 2013.

El Gasto Mínimo de 6.00 m³/s y tirante de 19.34 m, el día 18 de abril de 2013, este será nuestro gasto para realizar la modelación del río Pichucalco.

Se presenta el gasto y nivel (Tabla 22-26) correspondiente a los días del 01 de noviembre del 2012 al 20 de mayo del 2013, de las estaciones hidrométricas en estudio, y obtener el gasto mínimo.

Tabla 22.- Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio. Fuente: CONAGUA, 2013.

FECHA	ESTACIONES									
	GONZALEZ		GAVIOTAS		PORVENIR		PUEBLO NUEVO		SAN JOAQUIN	
	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL
01/11/2012	86	3.96	96	1.78	177	1.34	83	3.4	11	19.57
02/11/2012	84	3.96	88	1.7	-	-	74	3.27	11	19.56
03/11/2012	83	3.95	80	1.62	157	1.14	72	3.2	11	19.54
04/11/2012	60	3.72	73	1.55	141	0.98	69	3.14	10	19.52
05/11/2012	64	3.7	66	1.29	130	0.87	67	3.09	9	19.51
06/11/2012	58	3.64	56	1.19	122	0.79	66	3.04	9	19.5
07/11/2012	83	3.91	65	1.28	133	0.9	63	3.02	9	19.5
08/11/2012	86	3.91	63	1.26	236	0.9	60	2.94	6	19.47
09/11/2012	80	3.91	60	1.23	226	0.86	58	2.91	6	19.46
10/11/2012	74	3.85	57	1.2	220	0.8	53	2.86	6	19.46
11/11/2012	79	3.9	48	1.11	-	-	52	2.82	6	19.45
12/11/2012	80	3.86	45	1.08	204	0.64	54	2.79	6	19.4
13/11/2012	66	3.64	75	0.93	157	0.54	48	2.77	6	19.47
14/11/2012	67	3.88	84	1.02	161	0.77	50	2.76	5	19.46
15/11/2012	80	3.87	89	1.06	194	0.72	58	2.84	5	19.46
16/11/2012	81	3.88	94	1.11	199	0.76	60	2.92	5	19.46
17/11/2012	81	3.88	93	1.12	197	0.78	50	2.81	5	19.45
18/11/2012	79	3.86	87	1.06	189	0.7	48	2.73	5	19.45
19/11/2012	69	3.75	82	1.01	158	0.54	48	2.68	5	19.43
20/11/2012	63	3.65	72	0.91	149	0.48	45	2.64	5	19.42
21/11/2012	64	3.6	64	0.83	134	0.42	44	2.61	138	19.41
22/11/2012	82	3.86	71	0.92	171	0.54	45	2.59	5	19.4
23/11/2012	63	3.64	65	0.86	161	0.47	47	2.57	6	19.38
24/11/2012	63	3.64	65	0.86	161	0.47	47	2.57	6	19.38
25/11/2012	51	3.52	49	0.68	153	0.29	44	2.53	6	19.37
26/11/2012	50	3.46	46	0.65	104	0.3	44	2.51	5	19.37
27/11/2012	51	3.45	42	0.69	121	0.3	40	2.5	5	19.37
28/11/2012	59	3.53	42	0.69	122	0.3	142	2.47	5	19.37
29/11/2012	53	3.52	40	0.67	119	0.29	39	2.45	5	19.36
30/11/2012	57	3.54	43	0.7	119	0.29	38	2.43	5	19.36
01/12/2012	57	3.54	41	0.68	120	0.28	38	2.43	5	19.36
02/12/2012	57	3.54	44	0.71	105	0.32	41	2.46	22	19.53
03/12/2012	53	3.48	41	0.66	120	0.29	42	2.51	6	19.37
04/12/2012	50	3.48	39	0.68	121	0.29	41	2.49	5	19.37
05/12/2012	72	3.56	35	0.63	-	-	40	2.42	4	19.37
06/12/2012	66	3.56	33	0.61	112	0.2	39	2.4	5	19.35
07/12/2012	63	3.56	22	0.5	118	0.22	42	2.42	5	19.35
08/12/2012	64	3.57	34	0.62	118	0.22	41	2.4	5	19.34
09/12/2012	56	3.49	33	0.61	116	0.24	39	2.35	5	19.33
10/12/2012	62	3.48	32	0.6	123	0.21	35	2.33	5	19.33
11/12/2012	55	3.44	32	0.6	124	0.22	33	2.31	5	19.32
12/12/2012	60	3.5	25	0.65	130	0.28	32	2.28	5	19.32

Tabla 23.- Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio. Fuente: CONAGUA, 2013.

FECHA	ESTACIONES									
	GONZALEZ		GAVIOTAS		PORVENIR		PUEBLO NUEVO		SAN JOAQUIN	
	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL
13/12/2012	60	3.52	19	0.68	134	0.32	34	2.3	45	20.9
14/12/2012	64	3.58	23	0.9	148	0.46	79	3.2	20	19.72
15/12/2012	64	3.58	23	0.9	152	0.5	68	2.78	15	19.55
16/12/2012	64	3.58	19	0.85	140	0.38	61	2.5	13	19.48
17/12/2012	56.67	3.48	22	0.78	118	0.31	39	2.41	12	19.44
18/12/2012	55	3.46	33	0.61	117	0.19	58	3.46	20	16.17
19/12/2012	68	3.58	19	0.56	116	0.18	35	2.31	7	19.41
20/12/2012	65	3.58	18	0.55	115	0.17	33	2.28	7	19.4
21/12/2012	67	3.6	20	0.63	120	0.25	38	2.33	208	23.16
22/12/2012	75	3.66	250	2.93	266	1.71	549	7.44	327	24.35
23/12/2012	109	4	284	3.27	325	2.3	489	6.84	117	22.25
24/12/2012	88	3.8	185	3.05	315	2.2	470	6.08	82	20.83
25/12/2012	72	3.64	152	2.72	236	1.41	454	5.41	75	20.31
26/12/2012	77	3.66	137	2.41	252	1.72	422	4.77	62	20.14
27/12/2012	64	3.56	110	2.14	368	1.46	400	4.32	70	20.78
28/12/2012	78	3.63	96	2	338	1.34	387	4.07	54	20.24
29/12/2012	83	3.68	82	1.86	325	1.21	370	3.73	50	20.06
30/12/2012	79	3.64	83	1.87	320	1.16	381	3.96	150	24.05
31/12/2012	90	3.8	104	2.02	480	2	502	6.42	178	22.88
01/01/2013	112	4.02	107	2.05	492	2.12	480	5.98	88.77	21.13
06/01/2013	107	4	105	1.8	478	1.96	258	5.32	102	21.95
09/01/2013	148	4.39	123.8	2.32	543	2.41	362.2	5.92	86.95	21.12
10/01/2013	129.5	4.24	119.3	2.19	546.6	2.34	269.9	5.42	60.68	20.58
11/01/2013	86.83	3.86	107.6	2	502.5	2.16	237.3	4.95	46.4	20.33
14/01/2013	51	3.38	71.85	1.49	383	1.6	132	4.11	36	19.95
17/01/2013	58	3.5	79	1.45	362	1.48	258	5.02	293	24.1
18/01/2013	77.49	3.74	119.1	2.25	481.8	2.1	516.9	6.43	260.8	23.76
20/01/2013	58	3.55	224	3.3	458	2.34	509.8	6.13	170	21.36
21/01/2013	48.61	3.4	217.1	3.18	395	2.08	332.9	5.76	73.77	20.77
23/01/2013	47.12	3.4	192.4	2.88	470.1	1.97	241.9	4.99	71.36	20.95
24/01/2013	46.7	3.36	183	2.79	453.3	1.86	228.5	4.83	59.49	20.69
28/01/2013	33.61	3.22	134.5	2.49	377.7	1.6	171.2	4.26	26.59	19.99
29/01/2013	35.67	3.22	123.5	2.31	355.5	1.44	150.4	3.99	21.61	19.92
30/01/2013	42	3.32	113	2.2	346	1.34	140	3.8	19.86	19.86
31/01/2013	58.95	3.52	109.3	2.13	344	1.32	125	3.7	25.72	20.09
01/02/2013	59.29	3.54	143.6	2.6	361.7	1.5	408.3	5.98	196.9	23.08
02/02/2013	89	3.84	100	3.04	412	2	409	6	154	21.34
03/02/2013	86	3.81	90	2.94	414	2.03	380	5.42	137	20.67
04/02/2013	77.57	3.74	173.3	2.75	405.5	1.86	256.3	5.06	52.84	20.45
05/02/2013	78	3.8	185	2.83	409	1.9	256	5.36	32	20.26
06/02/2013	75.81	3.73	166.5	2.68	461.9	1.8	217	4.8	32.45	20.12

Tabla 24.- Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio. Fuente: CONAGUA, 2013.

FECHA	ESTACIONES									
	GONZALEZ		GAVIOTAS		PORVENIR		PUEBLO NUEVO		SAN JOAQUIN	
	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL
07/02/2013	77.9	3.73	154	2.49	440.9	1.66	176.6	4.3	29.75	20.03
08/02/2013	58.49	3.56	121.7	2.27	419.8	1.47	146.7	3.92	21	19.94
09/02/2013	58	3.56	106	2.11	407	1.34	147	3.68	21	20.25
10/02/2013	57	3.55	101	2.06	395	1.22	127	3.52	8	19.93
11/02/2013	57	3.6	101	1.8	395	1.08	127	3.3	8	19.85
12/02/2013	63.07	3.6	82.46	1.65	355.1	0.98	89.2	3.14	19.22	19.79
13/02/2013	71.1	3.63	77.12	1.51	341.8	0.86	84.5	3.01	14.94	19.75
14/02/2013	67	3.62	65	1.39	313	0.77	77	2.89	15	19.71
15/02/2013	69	3.63	68	1.3	307	0.7	70	2.8	15	19.71
16/02/2013	68	3.62	61	1.23	306	0.69	66	2.76	30	20.32
17/02/2013	69	3.63	65	1.19	314	0.61	85	3.15	29	20.3
18/02/2013	64	3.6	106	1.95	355	1.06	207	4.64	27	19.98
19/02/2013	58.01	3.6	100.9	1.8	352.4	1.02	139.9	3.88	18.53	19.85
20/02/2013	60.02	3.63	84.26	1.47	328.4	0.82	101.5	3.25	16.86	19.68
21/02/2013	57	3.53	75	1.27	294	0.68	82	2.95	23	19.73
22/02/2013	53	3.51	71	1.12	287	0.58	76	2.8	15	19.69
23/02/2013	52	3.5	59	1	273	0.44	64	2.68	9	19.66
24/02/2013	52	3.5	53	0.94	263	0.34	60	2.6	8	19.64
25/02/2013	43.65	3.42	52	0.92	265	0.36	58.38	2.53	10	19.61
26/02/2013	41	3.35	54	0.82	267	0.38	56	2.47	12	19.59
27/02/2013	51	3.47	53	0.8	170	0.36	53	2.43	9	19.62
28/02/2013	53	3.49	51	0.78	166	0.32	54	2.45	9	19.62
01/03/2013	53	3.49	48	0.73	162	0.28	56	2.48		
02/03/2013	56	3.52	57	0.82	168	0.34	63	2.61	54	20.47
03/03/2013	54	3.5	73	0.98	46	0.4	115	3.65	48	20.21
04/03/2013	50.05	3.48	109	1.34	68	0.62	106	3.56	25	19.93
05/03/2013	48	3.44	92	1.17	61	0.54	60	3.02	13	19.81
06/03/2013	46	3.5	83	1.07	54	0.47	30	2.71	10	19.73
07/03/2013	51.12	3.5	68	0.87	45	0.36	22.5	2.56	8	19.68
08/03/2013	48	3.49	59	0.76	43	0.34	16	2.47	7	19.64
09/03/2013	48	3.48	52	0.79	40	0.3	13	2.4	7	19.61
10/03/2013	46	3.48	50	0.73	40	0.3	12	2.34	7	19.59
11/03/2013	47	3.4	45	0.68	38	0.28	10	2.3	7	19.57
12/03/2013	44	3.52	46	0.69	165	0.32	9	2.28	17	19.87
13/03/2013	58.18	3.6	48	0.71	163	0.3	14	2.38	20	19.92
14/03/2013	50	3.55	49	0.72	159	0.26	32	2.5	23	20.03
15/03/2013	48	3.52	63	0.82	161	0.28	57	2.77	20	19.93
16/03/2013	47	3.53	77	0.96	167	0.34	54	2.7	18	19.83

Tabla 25.- Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio. Fuente: CONAGUA, 2013.

FECHA	ESTACIONES									
	GONZALEZ		GAVIOTAS		PORVENIR		PUEBLO NUEVO		SAN JOAQUIN	
	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL
17/03/2013	48	3.52	65	0.84	166	0.33	46	2.54	11	19.75
18/03/2013	48	3.48	60	0.78	166	0.32	34	2.42	9	19.69
19/03/2013	49.14	3.48	55	0.74	165	0.31	21	2.32	8	19.65
20/03/2013	48	3.47	51	0.7	161	0.27	18	2.25	7	19.6
21/03/2013	57	3.5	54	0.73	162	0.28	16	2.2	10	19.56
22/03/2013	53	3.52	45	0.63	160	0.26	15	2.18	12	19.53
23/03/2013	52	3.5	43	0.61	158	0.28	14	2.14	12	19.53
24/03/2013	52	3.5	42	0.59	157	0.29	13	2.1	11	19.5
25/03/2013	57	3.5	45	0.62	156	0.28	12	2.07	11	19.49
26/03/2013	58	3.5	43	0.6	155	0.27	11	2.04	19	19.73
27/03/2013	57	3.55	37	0.67	119	0.16	36	2.3	26	12.3
28/03/2013	48	3.5	33	0.68	126	0.26	61	3.19	15	19.6
29/03/2013	58	3.5	46	0.98	144	0.44	51	3.06	14	19.63
30/03/2013	55	3.47	45	0.96	142	0.42	30	2.6	13	19.57
31/03/2013	46	3.38	29	0.67	141	0.41	29	2.38	12	19.54
01/04/2013	46	3.38	24	0.58	112	0.14	31	2.24	11	19.52
02/04/2013	44.1	3.38	21	0.52	106	0.15	30	2.15	10	19.5
03/04/2013	50	3.45	22	0.54	110	0.18	29	2.1	10	19.47
04/04/2013	49	3.42	21	0.52	110	0.18	28	2.04	9	19.46
05/04/2013	48.68	3.45	26	0.56	129	0.28	31	2.04	12	19.49
06/04/2013	49	3.45	21	0.48	105	0.14	28	2.08	16	19.67
07/04/2013	49	3.44	28	0.6	123	0.32	56	2.89	13	19.54
08/04/2013	46.3	3.4	27	0.59	122	0.31	47	2.56	11	19.49
09/04/2013	49	3.42	31	0.65	119	0.22	36	2.3	11	19.47
10/04/2013	55	3.5	24	0.57	108	0.16	29	2.14	10	19.44
11/04/2013	72	3.7	25	0.6	115	0.2	28	2.08	9	19.41
12/04/2013	67	3.7	25	0.6	117	0.21	27	2.01	8	19.4
13/04/2013	67	3.7	25	0.6	115	0.2	26	1.94	8	19.4
14/04/2013	67	3.7	25	0.6	115	0.2	26	1.92	8	19.38
15/04/2013	72	3.74	25	0.59	112	0.18	26	1.91	8	19.37
16/04/2013	50	3.55	22	0.54	108	0.16	25	1.88	8	19.37
17/04/2013	67	3.7	25	0.56	112	0.18	25	1.84	7	19.36
18/04/2013	78.92	3.86	25	0.56	106	0.15	24	1.82	6	19.35
19/04/2013	70	3.7	29	0.62	115	0.24	24	1.81	6	19.34
20/04/2013	70	3.7	29	0.61	120	0.3	24	1.7	35	20.5
21/04/2013	69	3.68	30	0.62	117	0.28	36	2.28	23	20
22/04/2013	64	3.68	30	0.76	126	0.34	36	2.2	15	19.59

Tabla 26.- Gastos y niveles en las estaciones hidrométricas en estudio. Fuente: CONAGUA, 2013.

FECHA	ESTACIONES									
	GONZALEZ		GAVIOTAS		PORVENIR		PUEBLO NUEVO		SAN JOAQUIN	
	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL	GASTO	NIVEL
23/04/2013	54	3.52	25	0.6	113	0.26	28	2.04	13	19.53
24/04/2013	52	3.67	28	0.65	116	0.28	26	1.94	11	19.48
25/04/2013	63	3.68	26	0.66	104	0.2	25	1.88	10	19.46
26/04/2013	65	3.66	21	0.52	101	0.17	25	1.84	14	19.58
27/04/2013	67	3.67	26	0.56	100	0.18	24	1.8	12	19.47
28/04/2013	67	3.68	28	0.6	100	0.18	24	1.81	9	19.43
29/04/2013	67	3.68	23	0.56	100	0.18	24	1.78	9	19.43
30/04/2013	50	3.52	20	0.5	100	0.13	24	1.78	7	19.39
01/05/2013	66	3.68	26	0.56	104	0.2	28	1.82	7	19.37
02/05/2013	66	3.66	29	0.61	104	0.2	32	1.93	7	19.36
03/05/2013	58	3.52	18	0.5	104	0.2	24	1.82	9	19.39
04/05/2013	74	3.68	23	0.55	104	0.2	25	1.84	10	19.47
05/05/2013	73	3.67	40	0.8	135	0.4	60	3.16	14	19.61
06/05/2013	70	3.68	48	1.01	159	0.55	47	2.92	12	19.51
07/05/2013	51	3.53	34	0.77	153	0.49	39	2.44	10	19.45
08/05/2013	65	3.68	31	0.7	173	0.38	30	2.18	9	19.42
09/05/2013	67	3.66	25	0.6	155	0.27	28	2.05	8	19.4
10/05/2013	83	3.86	27	0.62	160	0.32	30	2.02	8	19.38
11/05/2013	83	3.87	31	0.66	161	0.38	26	1.92	8	19.37
12/05/2013	81	3.85	31	0.66	159	0.37	25	1.87	8	19.36
13/05/2013	85	3.9	39	0.78	260	0.54	25	1.85	16	19.68
14/05/2013	77.45	3.78	26	0.61	160.8	0.34	36	2.16	53	20.48
15/05/2013	87.57	3.9	49	0.96	274.3	0.63	50	2.7	18	19.64
16/05/2013	84.5	4.93	49	0.96	263.6	0.52	32	2.3	13	19.51
17/05/2013	83.02	3.88	43	0.86	170.5	0.44	28	2.06	10	19.45
18/05/2013	79	3.83	34	0.76	145	0.3	26	1.92	9	19.41
19/05/2013	80	3.84	32	0.73	144	0.29	25	1.86	8	19.39
20/05/2013	80.55	3.84	26	0.61	132	0.23	24	1.81	6.88	19.38

34

En la siguiente Figura 25, se muestra la ubicación de las estaciones hidrométricas, y los gastos máximos y mínimos utilizados en la modelación, con los niveles correspondientes a estos.

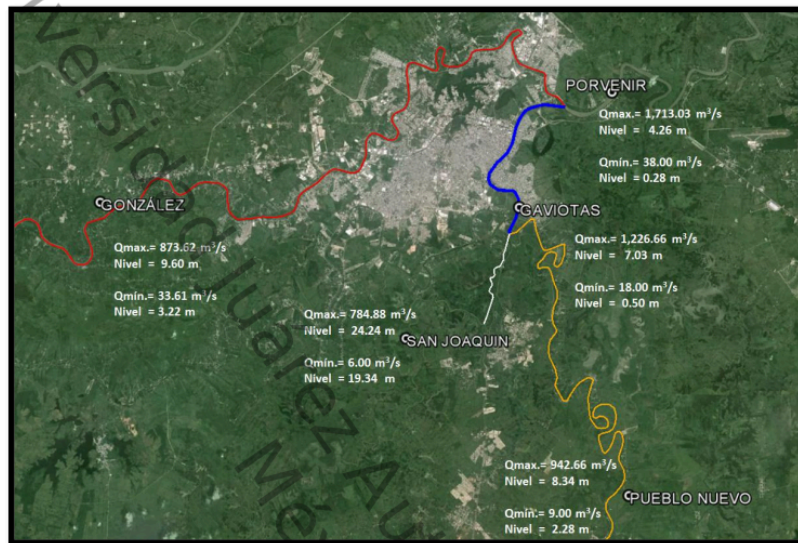
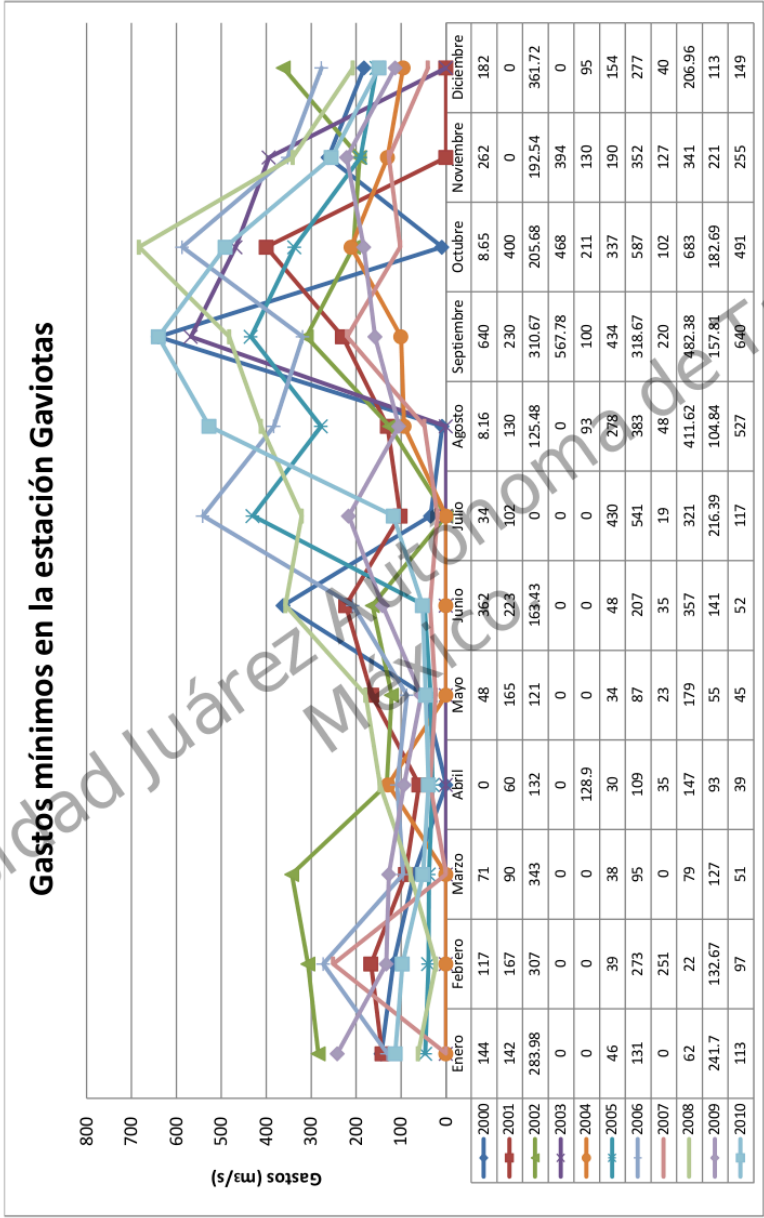


Figura 25.- Ubicación de las estaciones hidrométricas con gastos máximos y mínimo.

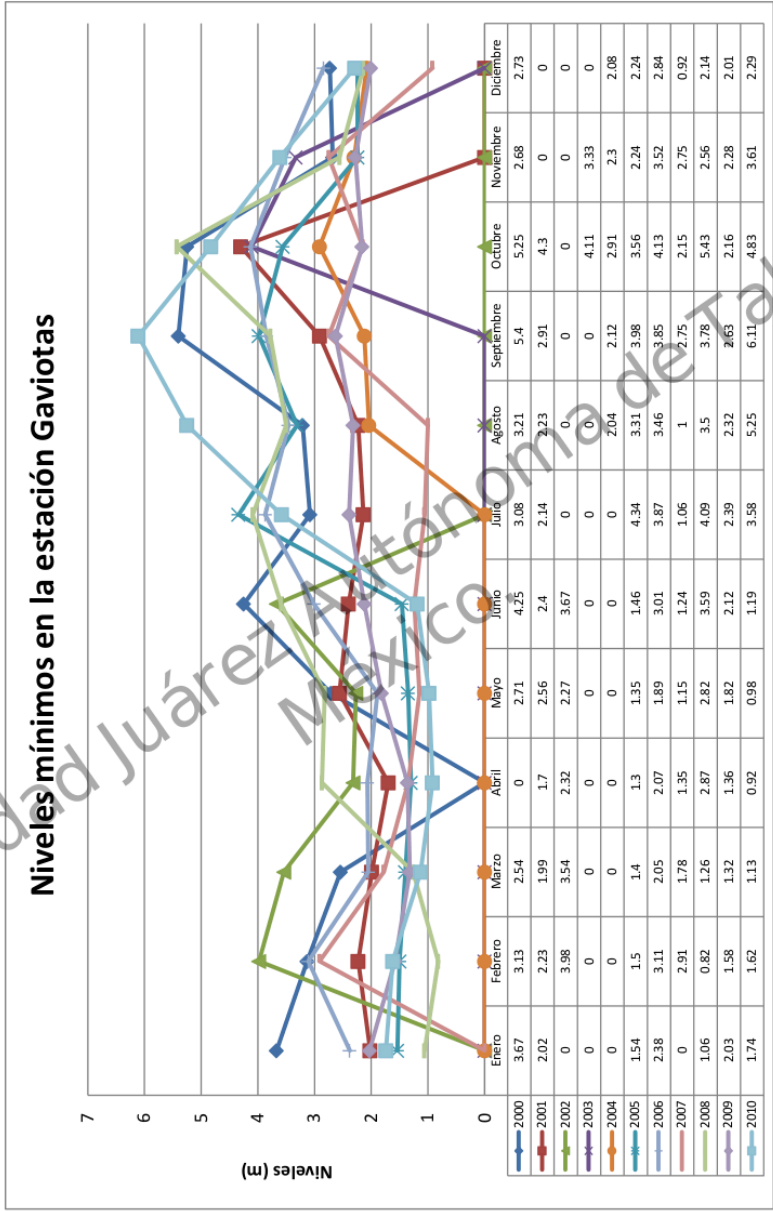
Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

A continuación se presenta un registro histórico de los gastos y niveles mínimos por cada año para cada estación hidrométrica, con la finalidad de representar la evolución de los niveles mínimo, esta información fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua, teniendo únicamente registró en algunas estaciones a partir del 2000. Con esta información nos permite saber el comportamiento en la época de estiaje en cada uno de los ríos. (Gráfica 6-15).

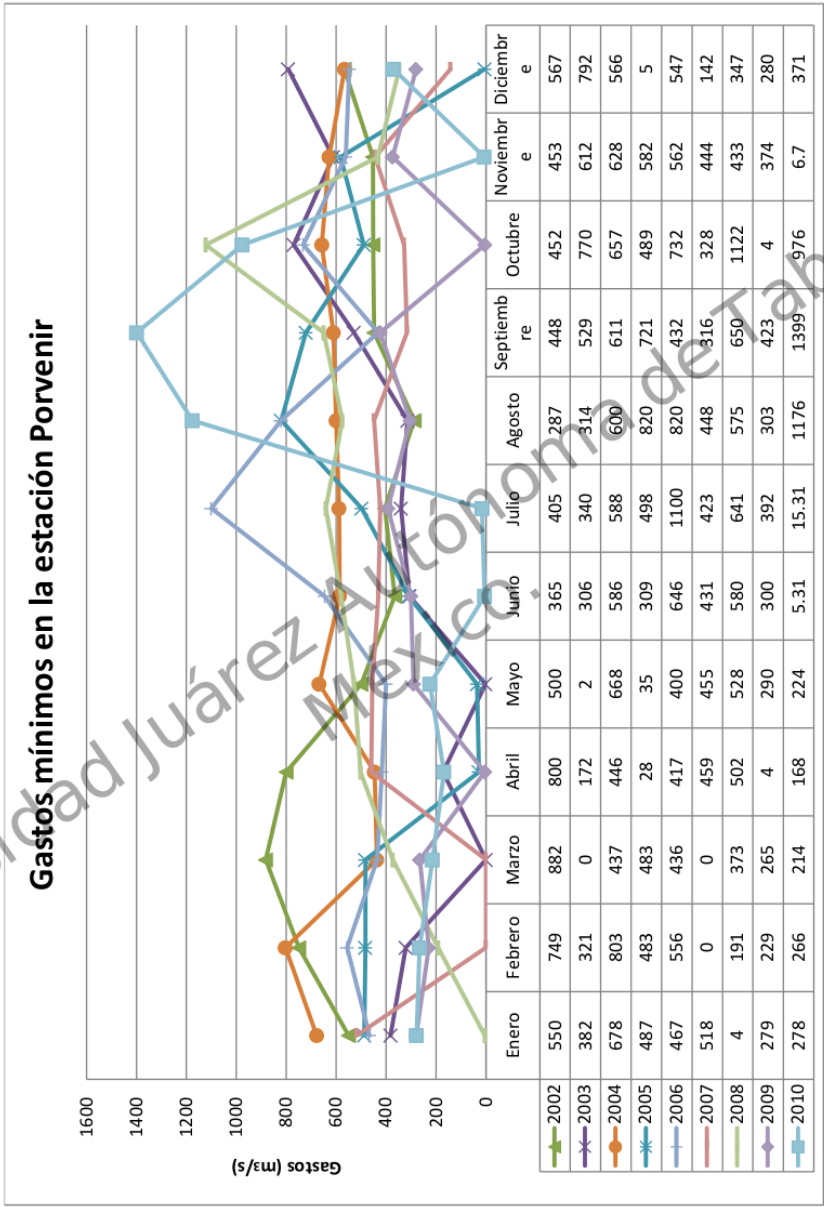
Gráfica 6.- Gastos mínimos en la estación hidrométrica Gaviotas. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



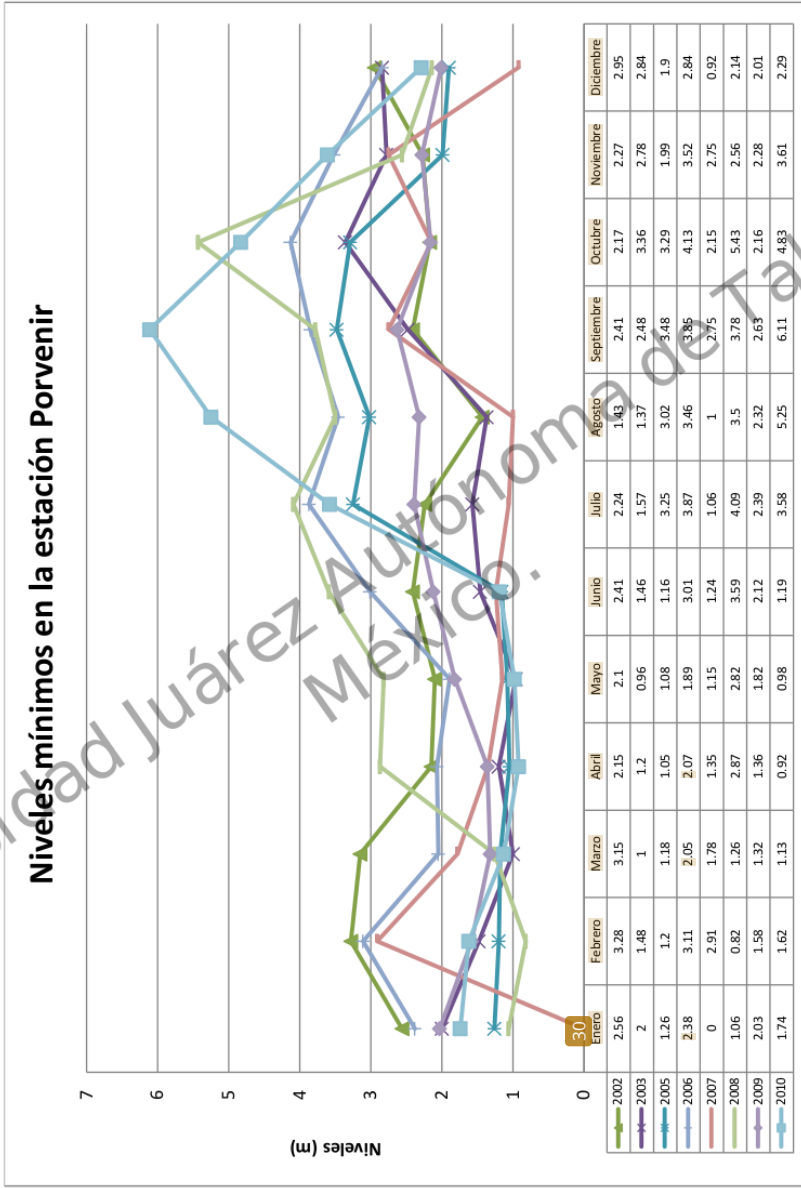
Gráfica 7.- Niveles mínimos en la estación hidrométrica Gaviotas. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



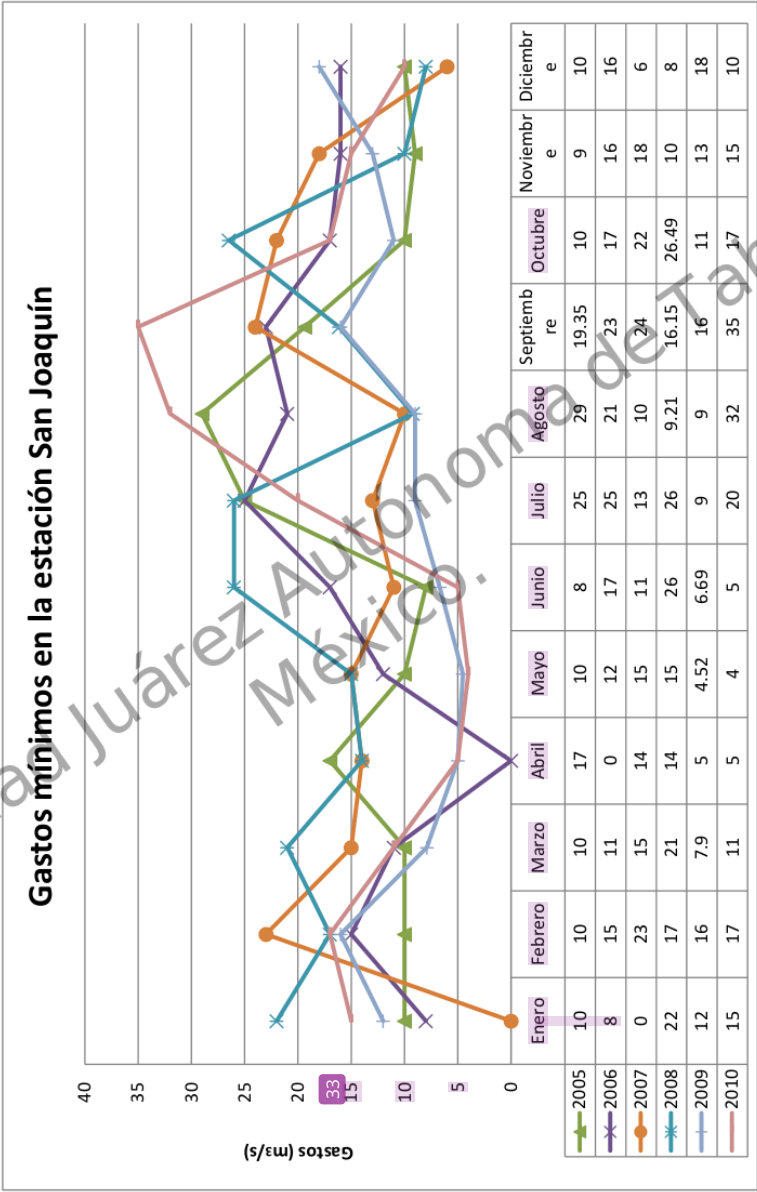
Gráfica 8.- Gastos mínimos en la estación hidrométrica Porvenir. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



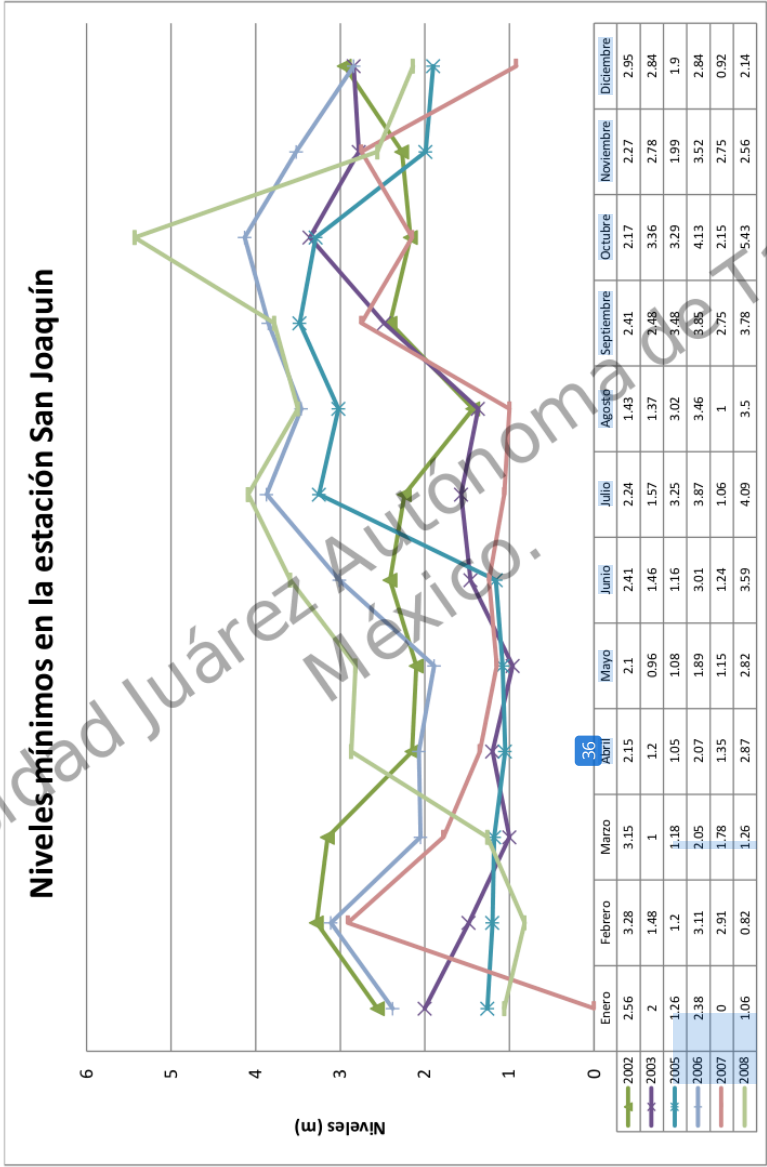
Gráfica 9.- Niveles mínimos en la estación hidrométrica Porvenir. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



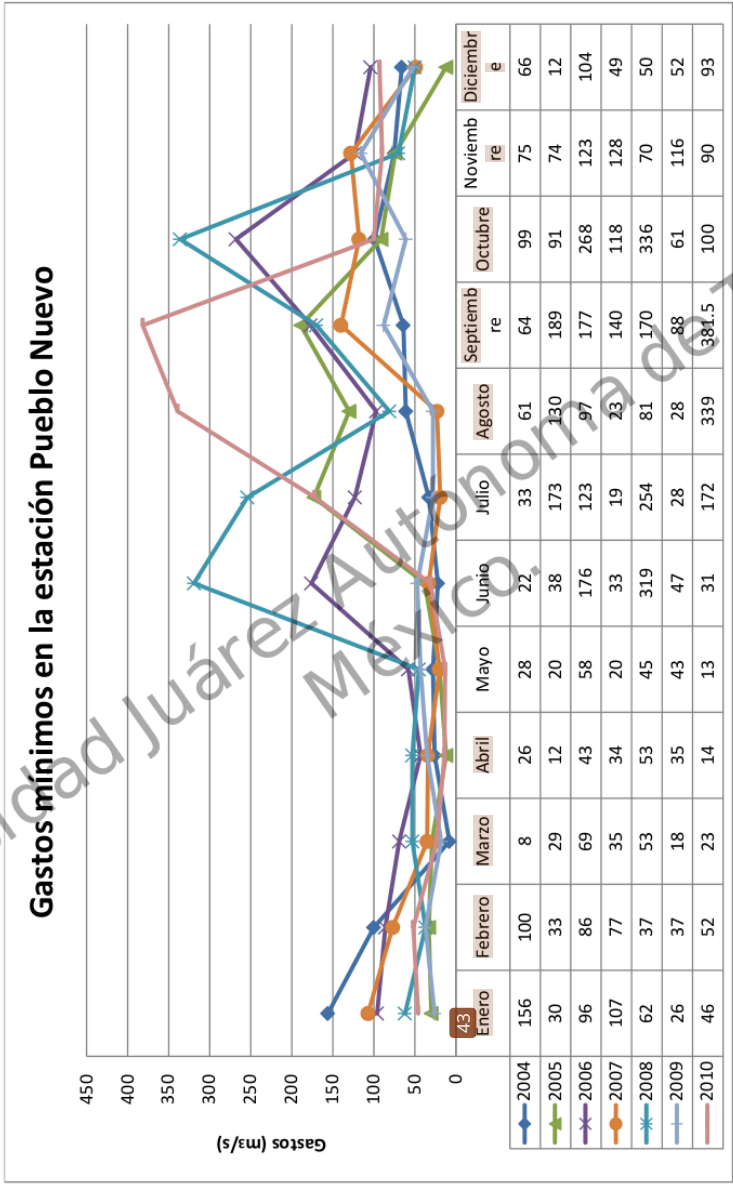
Gráfica 10.- Gastos mínimos en la estación hidrométrica San Joaquín. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



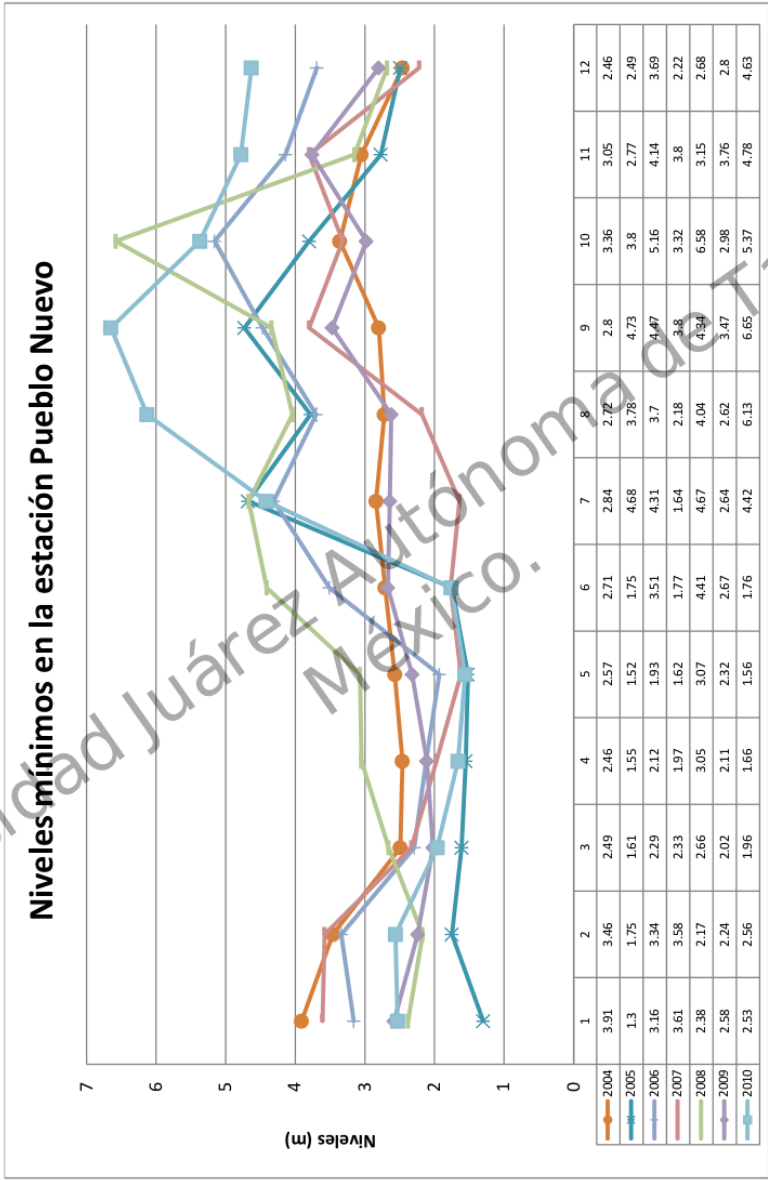
Gráfica 11.- Niveles mínimos en la estación hidrométrica San Joaquín. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



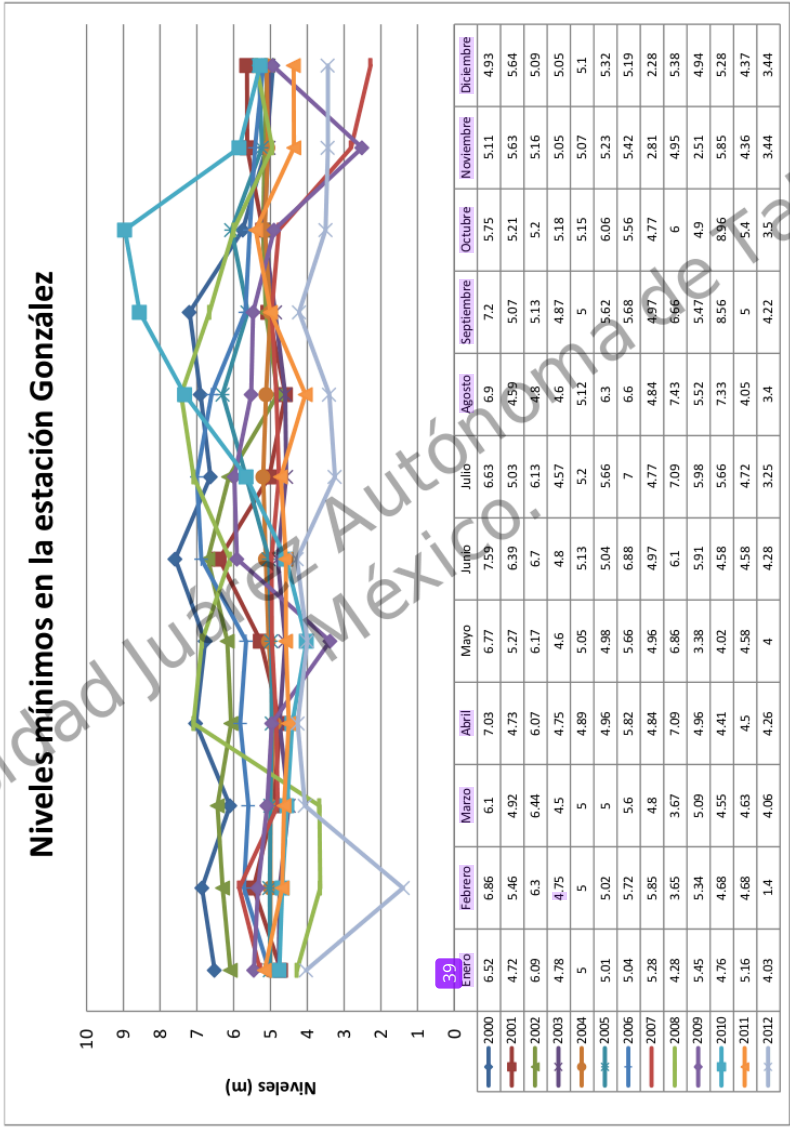
Gráfica 12.- Gastos mínimos en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



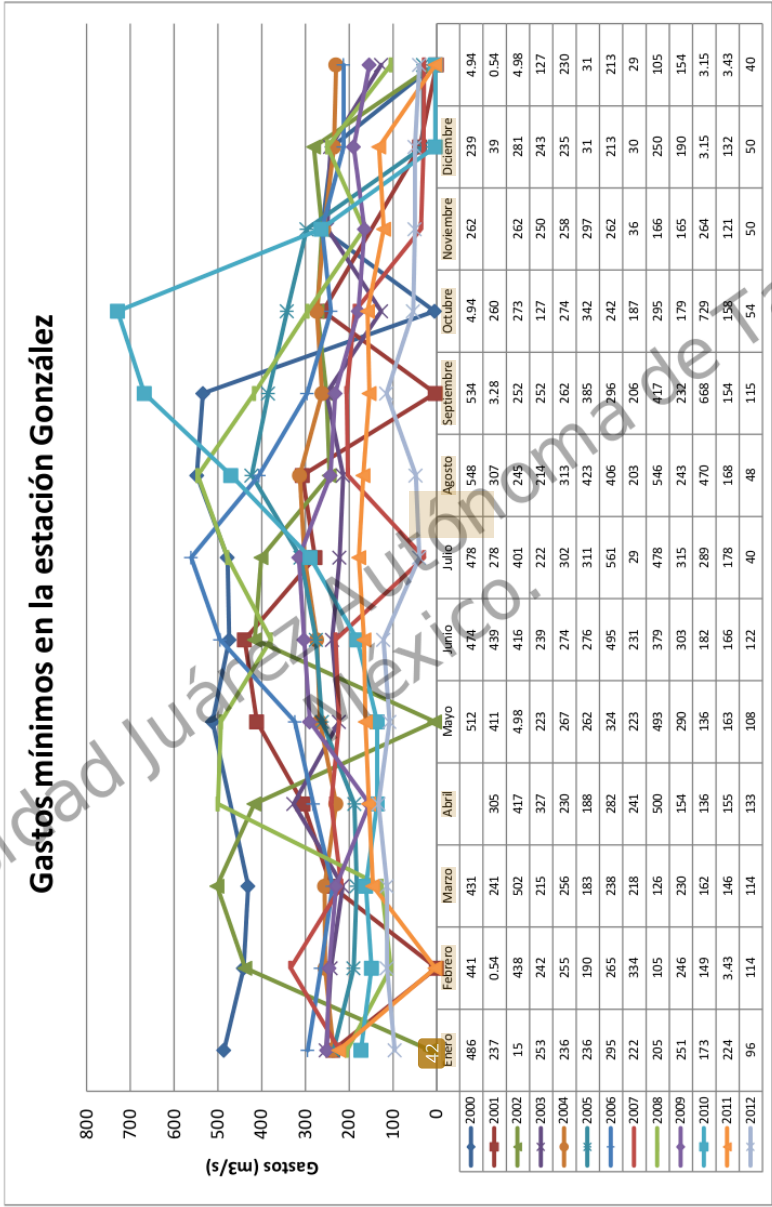
Gráfica 13.- Niveles mínimos en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



Gráfica 14. Niveles mínimos en la estación hidrométrica González. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



Gráfica 15. Gastos mínimos en la estación hidrométrica González. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



CAPÍTULO 4 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA.

4.1 Modelo topográfico.

El modelo digital de elevaciones se construyó a partir de la planta topográfica con curvas de nivel a cada 0.5m, producto de los levantamientos topo batimétricos, esta información fue proporcionada por la CONAGUA, elaborado en el 2007 de los proyectos de Delimitación de Zona Federal, sobre esta planta topográfica se realizó un trazo al centro del cauce y a lo largo de la trayectoria de la zona de estudio, representando con este la trayectoria del cauce. Una vez trazado el eje se obtuvieron las secciones transversales a este, las cuales sirvieron para elaborar el modelo hidráulico y obtener las variables hidráulicas propias del evento, en la siguiente Figura 26, se muestra el esquema del modelo digital realizado con AUTOCAD, conformado por 628 secciones transversales a lo largo 21.6 km. del río Carrizal, 185 secciones transversales a lo largo de 8.15 km. del río Grijalva, 57 secciones transversales a lo largo de 4.28 km. del río Pichucalco y 454 secciones transversales a lo largo de 27.7 km. del río de la Sierra.

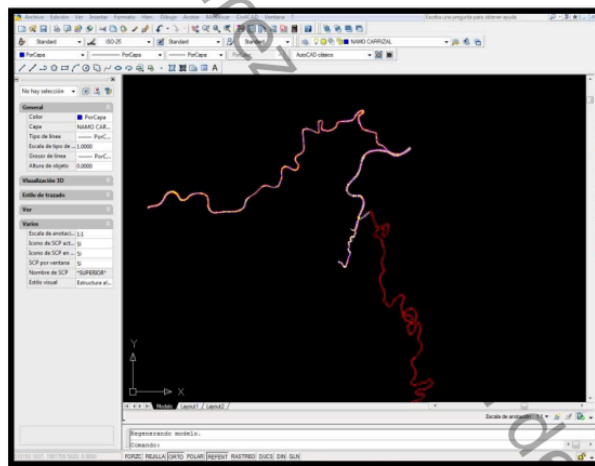


Figura 26.- Plano de la topografía de los ríos con secciones transversales.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Para la elaboración de la simulación hidráulica, se tomó el criterio de realizar los modelos de cada río por separado, teniendo 4 sistemas, de los cuales se le ingresaron las secciones transversales obtenidas en la planta topográfica, las cuales están a cada 100 metros.

4.2 Modelación numérica y resultado.

El siguiente paso para definir las características de la hidrovía fluvial, fue realizar la simulación numérica, con la finalidad de obtener el funcionamiento hidráulico de los sistemas (caudales y tirantes), los cuales como se mencionó anteriormente serán útiles para establecer las dimensiones de las embarcaciones que podrán navegar por la hidrovía.

El modelo numérico empleado fue el Hec-Ras (Hec-Ras 10,2012) el cual es un modelo unidimensional que trabaja entorno a Windows, por lo que los datos son muy fáciles de editar, modificar y visualizar en pantalla; probablemente su mayor ventaja es que se trata de un programa de acceso libre, desarrollado y actualizado continuamente por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Center) del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers). Se utiliza para el cálculo de los perfiles de superficie libre en un flujo permanente o gradualmente variado. Además, en nuestro país Hec-Ras es un programa validado y requerido por dependencias gubernamentales del ámbito federal, estatal y municipal para realizar la modelación hidráulica de cauces abiertos, ríos y canales artificiales. A continuación se describen los procesos involucrados en la simulación numérica.

Como datos de entrada al modelo se ingresan: la topografía de planta, perfil y secciones transversales. Los cuales son la configuración geométrica del modelo.

El procedimiento de cálculo se fundamenta en la solución de la ecuación unidimensional de la energía. Las pérdidas son evaluadas mediante ecuación de Manning y las contracciones / expansiones (coeficiente multiplicado por el cambio en la carga de velocidad). La ecuación del Momentum se utiliza en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado. Estas situaciones fueron consideradas en los cálculos para el régimen de flujo mixto (i.e. saltos hidráulicos), hidráulica de puentes y evaluación de los perfiles en las confluencias de los cauces.

Los efectos de obstrucciones causadas por obras hidráulicas tales como puentes, alcantarillas, vertederos y estructuras en el cauce pueden también fueron considerados en el modelo. El sistema de flujo permanente está diseñado para aplicaciones en la dirección de los cauces y los estudios de la seguridad del flujo para evaluar obstrucciones en el cauce. Así mismo, si hay capacidad disponible para estimar el cambio en el perfil de la superficie del agua debido a mejoras en los canales y diques. Para hacer el análisis hidráulico en condiciones naturales del cauce a partir de los gastos de entrada se obtuvieron las velocidades, radio hidráulico, área hidráulica, ancho de la superficie del agua, tirantes, número de Froude y otras propiedades hidráulicas del cauce.

La simulación del tránsito de los gastos fue obtenido a partir de los datos del análisis hidrológico para los periodos de retorno de 5 años.

Los parámetros considerados que se necesita ingresar al programa son los datos sobre el gasto máximo y mínimo, el tipo de flujo que se va a considerar y las condiciones de frontera a partir de las cuales se realizan los cálculos, los cuales fueron:

➤ Número de Manning:

Río Carrizal $n=0.033$ Río Pichualco $n=0.030$

Río Grijalva $n=0.033$ Río de la Sierra $n=0.030$

para todos las secciones de los tramos del canal

➤ Pendiente en la salida:

Río Carrizal $S=0.00022$ Río Pichualco $S=0.00015$

Río Grijalva $S=0.0003$ Río de la Sierra $S=0.0017$

Se realizó la modelación con flujo permanente, ya el gasto es constante en el tiempo, y como condición de frontera aguas abajo se tomó la pendiente hidráulica, las cuales se obtuvieron a partir de las elevaciones de fondo de cada río con respecto a su longitud.

➤ Los gastos máximos y mínimos, en cada uno de los ríos, a continuación se muestra como fueron ingresados estos datos al modelo, se muestra en las figuras 27 a la 30:

River	Reach	RS	GASTO MAXIMO	GASTO MINIMO
1 CARRIZAL	AGUAS ARRIBA	61718.75	873.62	33.61

Figura 27.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río Carrizal.

Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Steady Flow Data - Flow 05

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (25000 max): 2 Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: GRIJALVA Add Multiple...

Reach: VILLAHERMOSA River Sta.: 10121.26 Add A Flow Change Location

Flow Change Location					
	River	Reach	RS	MAXIMO	MINIMO
1	GRIJALVA	VILLAHERMOSA	10121.26	1226.66	18.00

Figura 28.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río Grijalva.

Steady Flow Data - Flow 05

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (25000 max): 2 Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: LA SIERRA Add Multiple...

Reach: AGUAS ABAJO River Sta.: 463 Add A Flow Change Location

Flow Change Location					
	River	Reach	RS	MAXIMO	MINIMO
1	LA SIERRA	AGUAS ABAJO	463	942.66	9.00

Figura 29.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río de la Sierra.

Steady Flow Data - Flow 05

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (25000 max): 2 Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: PICHUCALCO Add Multiple...

Reach: PICHUCALCO River Sta.: 4029.023 Add A Flow Change Location

Flow Change Location					
	River	Reach	RS	MAXIMO	MINIMO
1	PICHUCALCO	PICHUCALCO	4029.023	784.88	6.00

Figura 30.- Ingreso de gastos máximos y mínimos en el río Pichucalco.

Posteriormente se ingresaron la geometría de cada uno de los puentes correspondientes a cada río. A continuación se muestran sus dimensiones y como fueron ingresados en el modelo numérico (Tabla 27):

Tabla 27. Características geométricas de los puentes. Fuente: SCT, 2012.

Sección en Hec-ras	Nombre del puente	Ancho de la superficie de rodamiento (m)	Elevación de la parte inferior de la trabe del puente (m)	Largo (m)	Ancho de pilas (m)	Luz de tramo (m)
RIO CARRIZAL						
41822.27	Puente la Isla	10	10	130	4 pilas de 3	35
17120.26	Puente Carrizal I y II	11.36	15.5	120	2 pilas de 5	45
14017.76	Puente Carrizal IV	35	12	90	Sobre la margen	*
12212.93	Puente Carrizal III	17	12	90	Sobre la margen	*
8319.314	Puente Carrizal V	32	12	140	Sobre la margen	*
6721.3	Puente Tierra Colorada I	9	8	105	2 pilas de 2.5	35
6016.25	Puente Tierra Colorada II	8	8	120	2 pilas de 2.5	40
5417.428	Puente Carrizal VI	22	12	110	Sobre la margen	*
2814.733	Puente La Pigua	25	15.5	140	2 pilas de 2.5	45
RIO PICHUALCO						
36	Puente Majahua I	9.5	12	90	2 pilas de 1.5 en cauce y 2 en la margen	30
10348.19	Puente Majahua II	10	12	100	Sobre la margen	*
RIO GRIJALVA						
8047.925	Puente Grijalva II	10	14	100	Sobre la margen	*
6452.096	Puente Grijalva III	22	12	100	Sobre la margen	*
5750.322	Puente Manuel Pérez Merino	6	14	120	25 m. de la margen izquierda, pila redonda de 5m.	25
4648.39	Puente Grijalva I	29.5	14	120	1 pila en medio del cauce de 10m.	60
3053.332	Puente Grijalva IV	20	12	110	Sobre la margen	*

En el software de Hec-ras 4.1.0, se puede modelar la estructura de los puentes, los cuales se ubican en la aplicación de Bridge Culvert Data, donde se ingresaron las características geométricas, las cuales se requieren ancho de rodamiento, dimensiones de las pilas y espaciamiento, y posicionarlas sobre la sección transversal correspondiente; las figuras 31 a la 46, se muestra el modelado de cada puente, generadas a partir de estos datos en el modelo.

Para la modelación de cada puente se introducen los valores de la Tabla 24, en el software Hec-ras 4.1.0, en la ventana Deck/roadway data editor, se hace el siguiente procedimiento:

- Se construye el tipo de puente haciendo su forma en base a su ubicación en coordenadas x / y, en base a la sección transversal donde corresponde su ubicación georeferenciadamente.
- En la ventana de Pier data editor, se ubica la posición de la pila, su forma y el espaciamiento de cada una.
- En bridge design editor, se proporciona la elevación de la rasante del puente y la parte inferior de la trabe del puente.

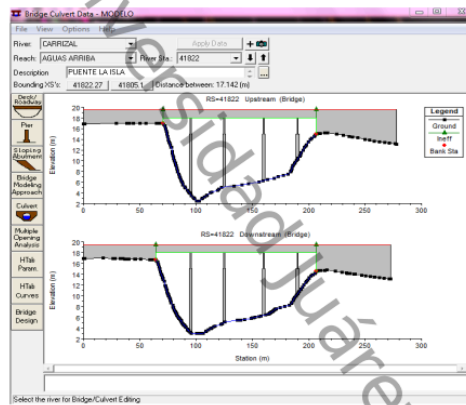


Figura 31.- Puentes la Isla del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

En la Figura 31 se muestra el puente la Isla, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 10m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 10m, con un largo de 130m y tiene 4 pilas de 3m de ancho con luz de tramo de 35m.

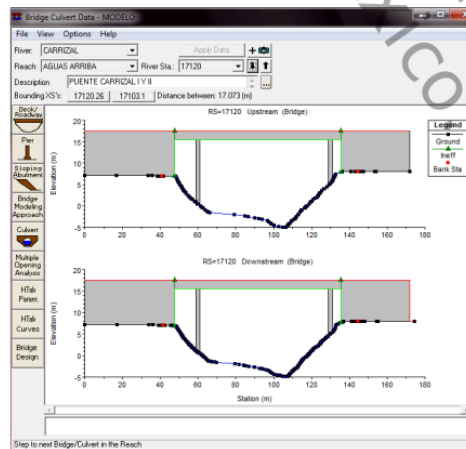


Figura 32.- Puentes Carrizal I y II del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

En la Figura 32 se muestra el puente Carrizal I y II, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 11.36m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 15.5m, con un largo de 120m y tiene 2 pilas de 5m de ancho con luz de tramo de 45m.

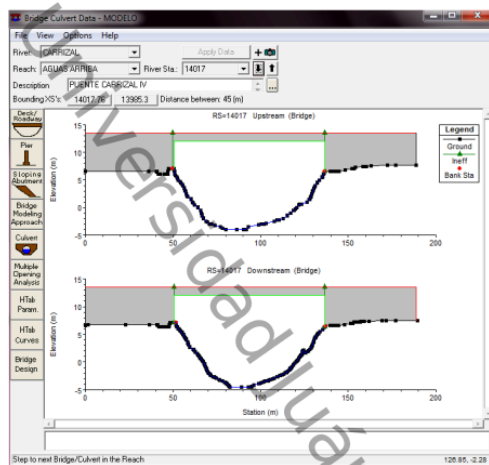


Figura 33.- Puente Carrizal IV del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

En la Figura 33 se muestra el puente Carrizal IV, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 35m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 90m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

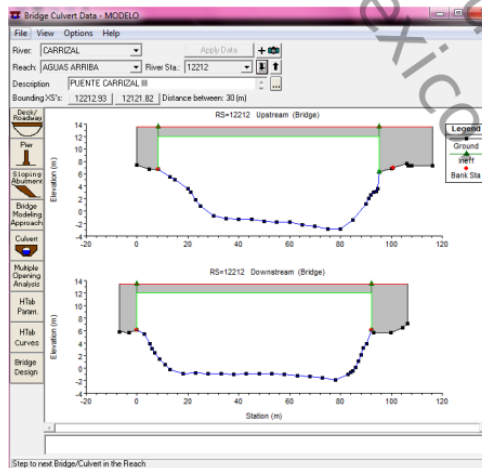


Figura 34.- Puente Carrizal III del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

En la Figura 34 se muestra el puente Carrizal III, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 17m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 90m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

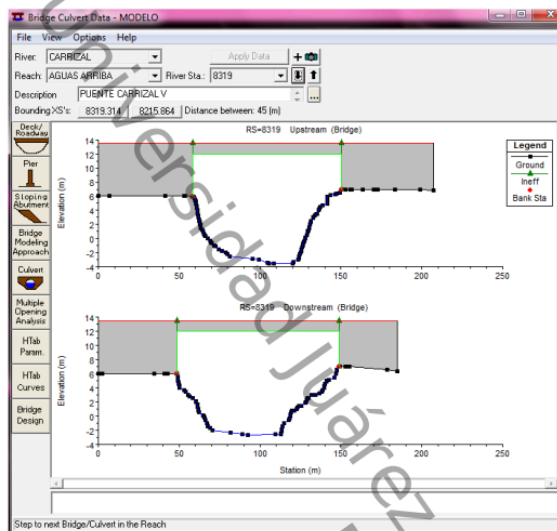


Figura 35.- Puente Carrizal V del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

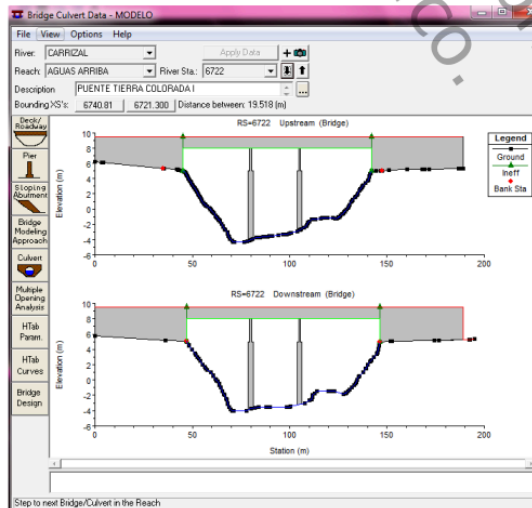
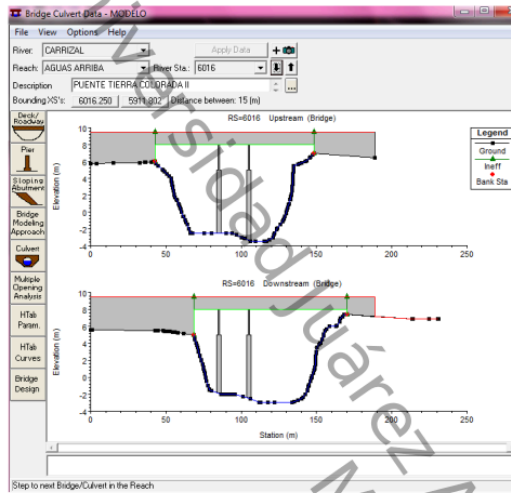


Figura 36.- Puente Tierra Colorada I del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

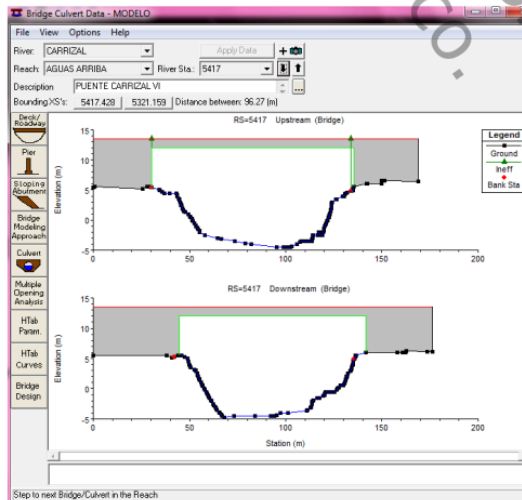
En la Figura 35 se muestra el puente Carrizal V, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 32m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 140m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

En la Figura 36 se muestra el puente Tierra Colorada I, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 9m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 8m, con un largo de 105m y tiene 2 pilas de 2.5m de ancho con luz de tramo de 35m.



En la Figura 37 se muestra el puente Tierra Colorada II, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 8m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 8m, con un largo de 120m y tiene 2 pilas de 2.5m de ancho con luz de tramo de 40m hacia las márgenes.

Figura 37.- Puente Tierra Colorada II del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



En la Figura 38 se muestra el puente Carrizal VI, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 22m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 110m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

Figura 38.- Puente Carrizal VI del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

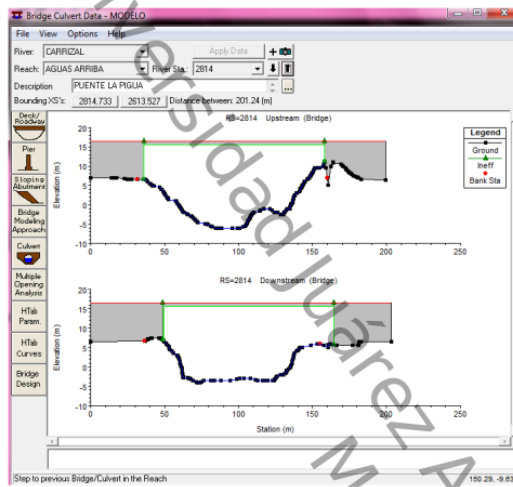


Figura 39.- Puente La Pigua del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

En la Figura 39 se muestra el puente la Pigua, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 25m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 15.5m, con un largo de 140m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

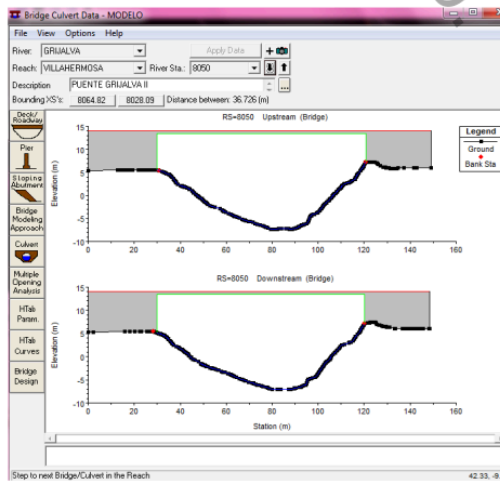
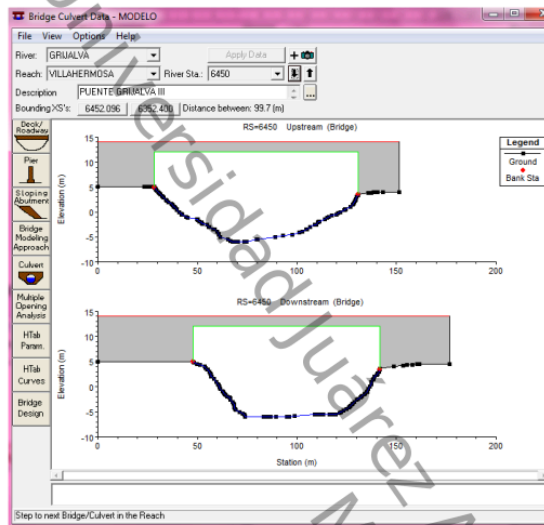


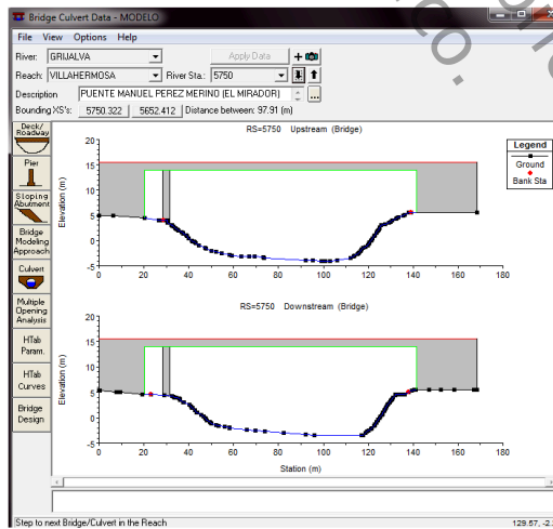
Figura 40.- Puente Grijalva II del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

En la Figura 40 se muestra el puente Grijalva II, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 10m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 14m, con un largo de 100m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.



En la Figura 41 se muestra el puente Grijalva III, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 22m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 100m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

Figura 41.- Puente Grijalva III del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



En la Figura 42 se muestra el puente Manuel Pérez Merino, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 6m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 14m, con un largo de 120m y tiene una pila redonda en la margen izquierda de 5m, con una luz de tramo de 25 con respecto a la margen.

Figura 42.- Puente Manuel Pérez Merino del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

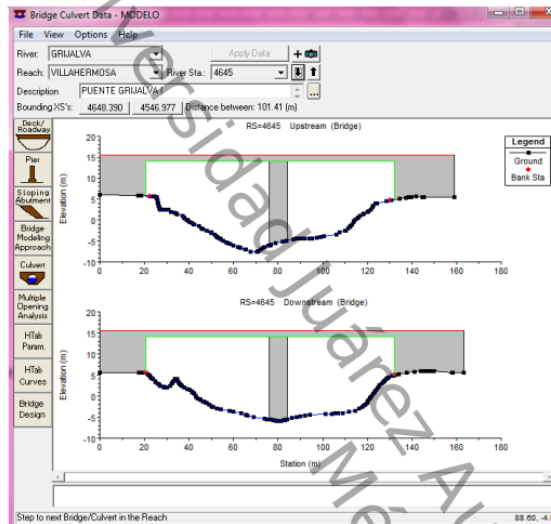
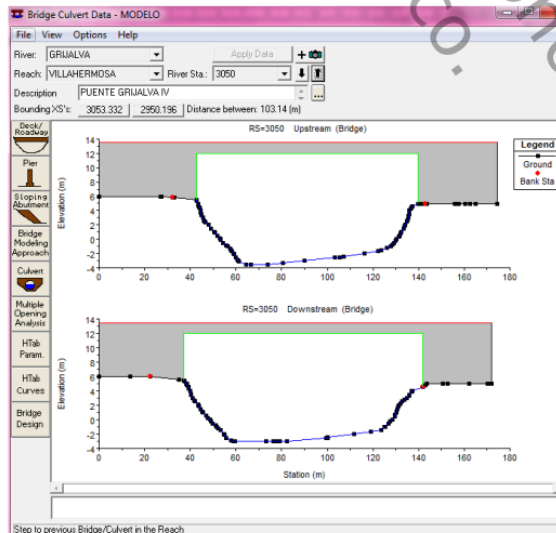


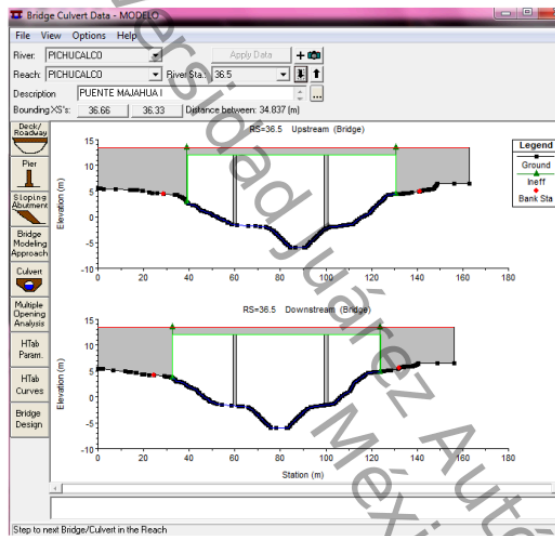
Figura 43.- Puente Grijalva I del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



En la Figura 43 se muestra el puente Grijalva I, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 29.5m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 14m, con un largo de 120m y tiene una pila redonda en medio del cauce de 10m, con una luz de tramo de 60 con respecto a la margen.

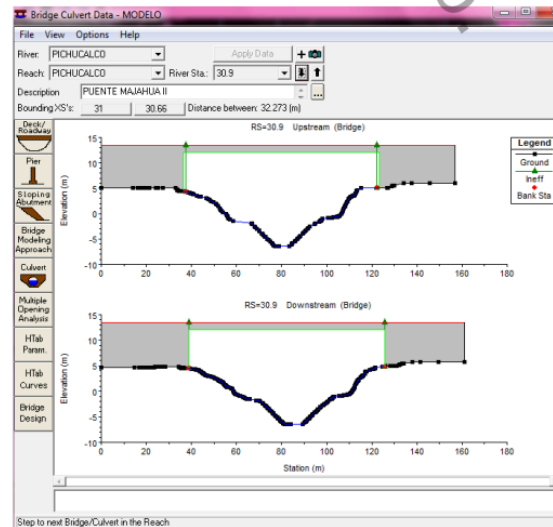
En la Figura 44 se muestra el puente Grijalva IV, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 20m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 110m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

Figura 44.- Puente Grijalva IV del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



En la Figura 45 se muestra el puente Majahua I, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 9.5m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 90m y tiene dos pilas de 1.5m, con una luz de tramo de 30 con respecto a la margen

Figura 45.- Puente Majahua I del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.



En la Figura 46 se muestra el puente Majahua II, cuenta con un ancho de superficie de rodamiento de 10m, y la elevación de la parte inferior de la trabe del puente es de 12m, con un largo de 100m y no cuenta con pilas ya que está apoyado sobre la margen.

Figura 46.- Puente Majahua II del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Al tener integrado las secciones transversales, los datos geométricos de los puentes, las condiciones de frontera, los gastos máximos y mínimos; se procede con la corrida del modelo, con régimen permanente, para tener la calibración de estos modelos se tuvieron que realizar 3 corridas, en base de obtener con los siguientes gastos la lámina de agua en cada sección transversal donde se ubica la estación hidrométrica. En la Tabla 28, se presentan estos datos de calibración, y para llegar a dicha lámina de agua, se tuvieron que corregir las rugosidades de los ríos y la pendiente del fondo.

Tabla 28.- Datos para la calibración del modelo.

Estación Hidrométrica	Gasto m^3/s	L.A. (msnm)
González	841	9.48
Pueblo Nuevo	935	8.30
Porvenir	1818	6.2
San Joaquín	35	25.19
Gaviotas	1145	6.78

Una vez calibrado el modelo matemático del cauce, se obtuvieron los resultados de perfil de fondo indicado, con los perfiles de flujos para el período de retorno de 5 años, ya que se observó que con este se llega a bordo lleno en el caso del gasto máximo.

En las siguientes figuras se representa el perfil de fondo de cada río, los puntos rojos indican el tirante crítico que proporciona el modelo, y el perfil de la lámina de agua alcanzado con el gasto mínimo y máximo; además se encuentra en los perfiles de los puentes los cuales indican el gálibo, que es la distancia entre la parte inferior del puente y el nivel de la lámina de agua con un gasto mínimo; mientras que la franquía es la distancia entre la parte inferior del puente y el nivel de la lámina de agua con un gasto máximo.

PERFIL DEL RIO CARRIZAL. GASTO MÁXIMO

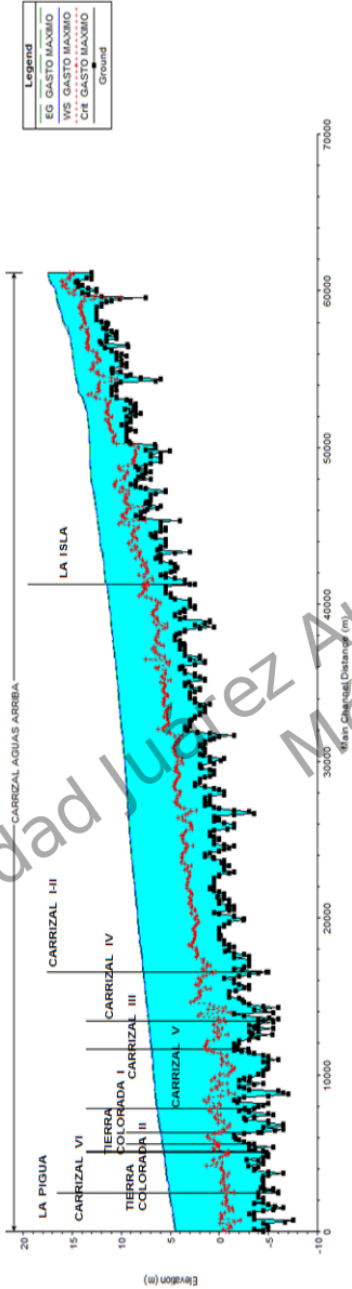


Figura 47.- Perfil del río Carrizal con gasto máximo. Fuente: Ana Karenina Pérez González 2013.

Tabla 29.- Resultados del perfil del río Carrizal.

PUENTE	FRANQUÍA	PUENTE	FRANQUÍA
LA ISLA	8.00 m.	TIERRA COLORADA I	3.50 m.
CARRIZAL I - II	9.69 m.	TIERRA COLORADA II	3.65 m.
CARRIZAL IV	6.25 m.	CARRIZAL VI	7.77
CARRIZAL III	6.53 m.	LA FIGUA	11.40 m.
CARRIZAL VI	7.15 m.		

En el perfil del río Carrizal tiene una diferencia de 5 metros de fondo de la primera a la última sección, lo que permite la circulación de embarcaciones con calados de hasta 4.5 metros. En lo que respecta a la franquia, los puentes Tierra Colorada I y II, cuentan con una distancia entre los 3.5-m y 3.65 m, lo que indica que embarcaciones no podrían pasar por debajo de estos puentes, quedando la sugerencia de modificar y adecuarlos para poder navegar en este río. De los demás puentes tienen la ventaja que no tienen pilas que obstaculicen el tránsito, excepto el puente La Pigua el cual está sobre pilas pero con un espaciamiento para poder transitar.

PERFIL DEL RIO CARRIZAL. GASTO MINIMO

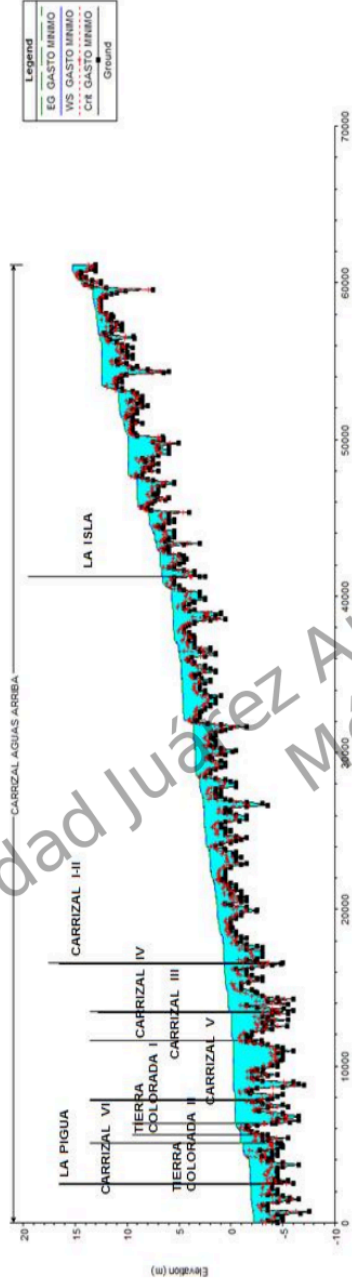


Figura 48.- Perfil del río Carrizal con gasto mínimo. Fuente: Ana Karenia Pérez González, 2013.

Tabla 30.- Resultados del perfil del río Carrizal.

PUENTE	CALADO	PUENTE	CALADO
LA ISLA	4.15 m.	TIERRA COLORADA I	3.89 m.
CARRIZAL I - II	4.16 m.	TIERRA COLORADA II	2.11 m.
CARRIZAL IV	3.77 m.	CARRIZAL VI	3.62 m.
CARRIZAL III	2.75 m.	LA PIGUA	2.12 m.
CARRIZAL VI	3.12 m.		

En el perfil del río Carrizal a partir de los puentes Carrizal I y II donde se ubica la ciudad de Villahermosa, hasta el puente La Pigua se tiene un calado que va de los 4 a 2 metros, por lo que se sugieren embarcaciones de mediano calado, dando la sugerencia de la limpieza y mantenimientos al río, ya que con el nivel mínimo, se encuentran obstáculos como estructuras de tubería, palotada, basura, residuos de espigones y enrocamiento, dificultando la navegación.

PERFIL DEL RIO GRIJALVA. GASTO MAXIMO

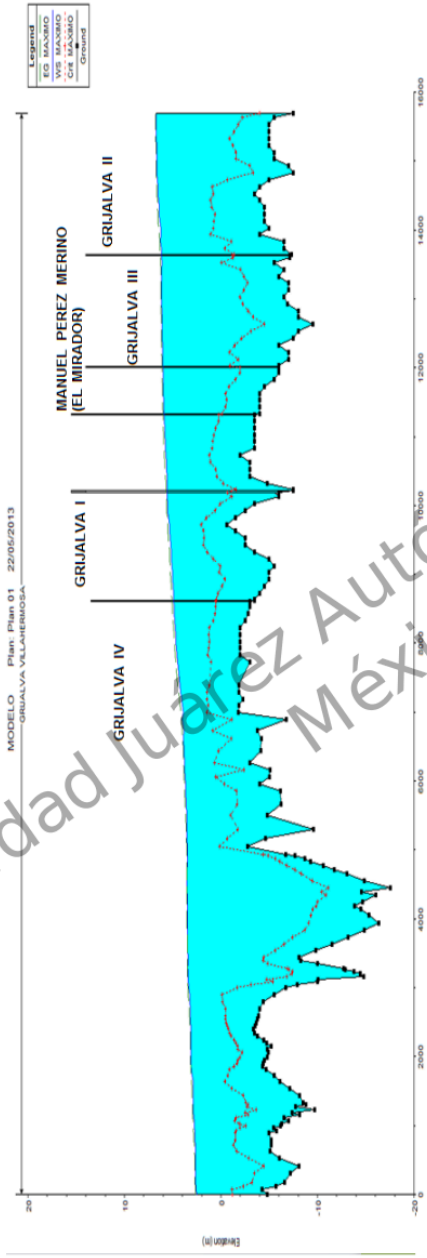


Figura 49.- Perfil del río Grijalva con gasto máximo. Fuente: Ana Karenina Pérez González 2013.

Tabla 31.- Resultados del perfil del río Grijalva.

PUENTE	FRANQUIA
GRIJALVA IV	13.50 m.
GRIJALVA I	12.00 m.
MANUEL PEREZ MERINO	6.25 m.
GRIJALVA III	6.53 m.
GRIJALVA II	7.15 m.

En el perfil del río Grijalva tiene una diferencia de 7 metros de fondo de la primera a la última sección, lo que permite la circulación de embarcaciones de mediano calado de hasta 6.5 metros. En lo que respecta a la franquía, todos los puentes sobre este río, tienen suficiente distancia para poder transitar embarcaciones por debajo de ellos, por lo tanto esta vía es de las más viables para la navegación fluvial.

PERFIL DEL RIO GRIJALVA. GASTO MINIMO

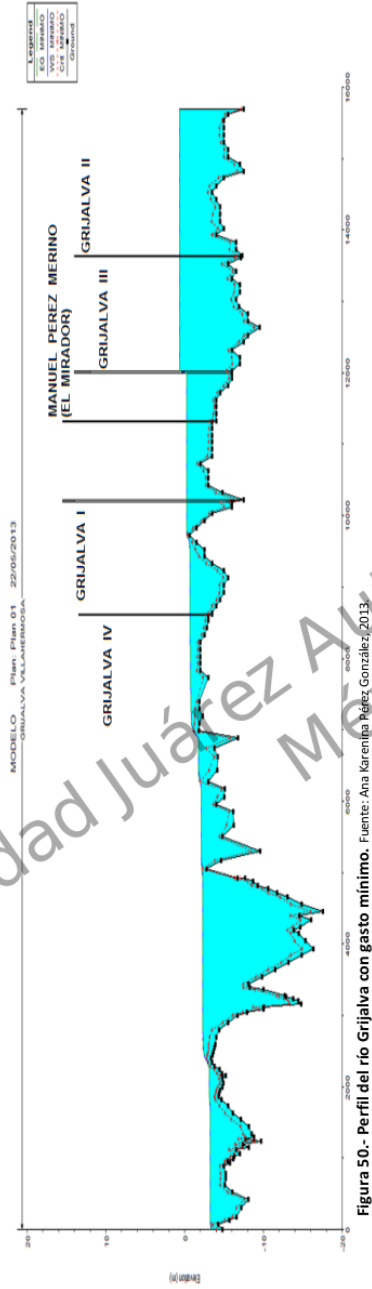


Figura 50.- Perfil del río Grijalva con gasto mínimo. Fuente: Ana Karenina Pérez González/2013.

Tabla 32.- Resultados del perfil del río Grijalva.

PUENTE	CALADO
GRIJALVA IV	2.82 m.
GRIJALVA I	5.74 m.
MANUEL PEREZ MERINO	3.78 m.
GRIJALVA III	5.78 m.
GRIJALVA II	6.46 m.

En el perfil del río Grijalva tiene una diferencia de 3.5 metros de fondo del puente Grijalva IV al Grijalva III, los cuales rodean a la ciudad de Villahermosa, por lo tanto las embarcaciones de pequeño calado podrían transitar. Pero con la sugerencia que se requieren obras de limpieza y mantenimiento al río ya que con el nivel mínimo se encuentran obstáculos que limitan la navegación.

PERFIL DEL RIO PICHUCALCO. GASTO MÁXIMO

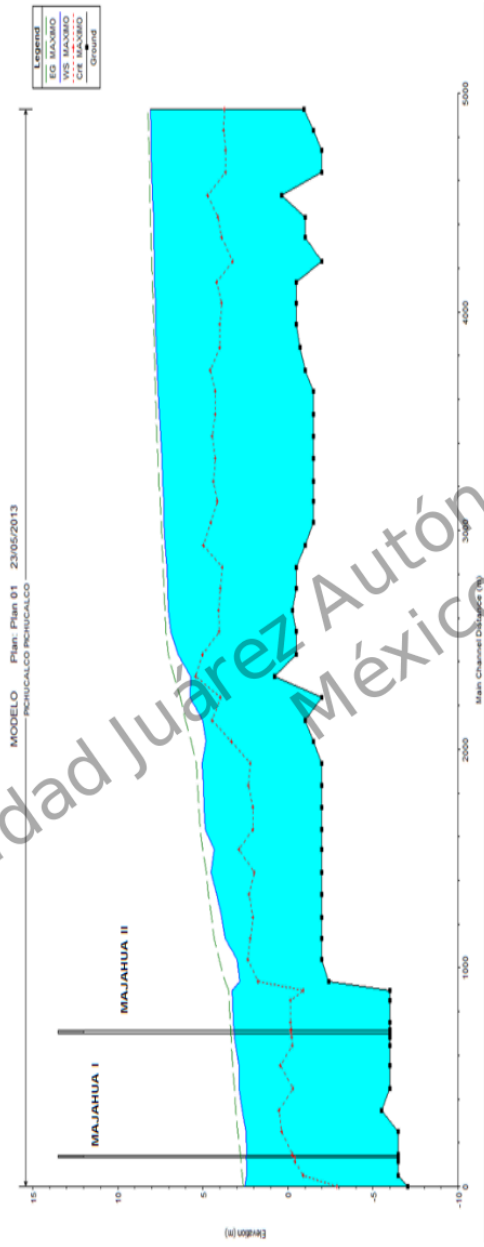


Figura 51.- Perfil del río Pichucalco con gasto máximo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Tabla 33.- Resultados del perfil del río Pichucalco.

PUENTE	FRANQUÍA
MAJAHUA I	8.95 m.
MAJAHUA II	9.13 m.

En el perfil del río Pichucalco tiene una diferencia de 6 metros de fondo del puente Majahua I y II, los cuales pueden transitar embarcaciones de mediano calado, con una franja de casi 9 metros lo cual no tiene ninguna dificultad para la navegación.

PERFIL DEL RIO PICHUCALCO. GASTO MINIMO

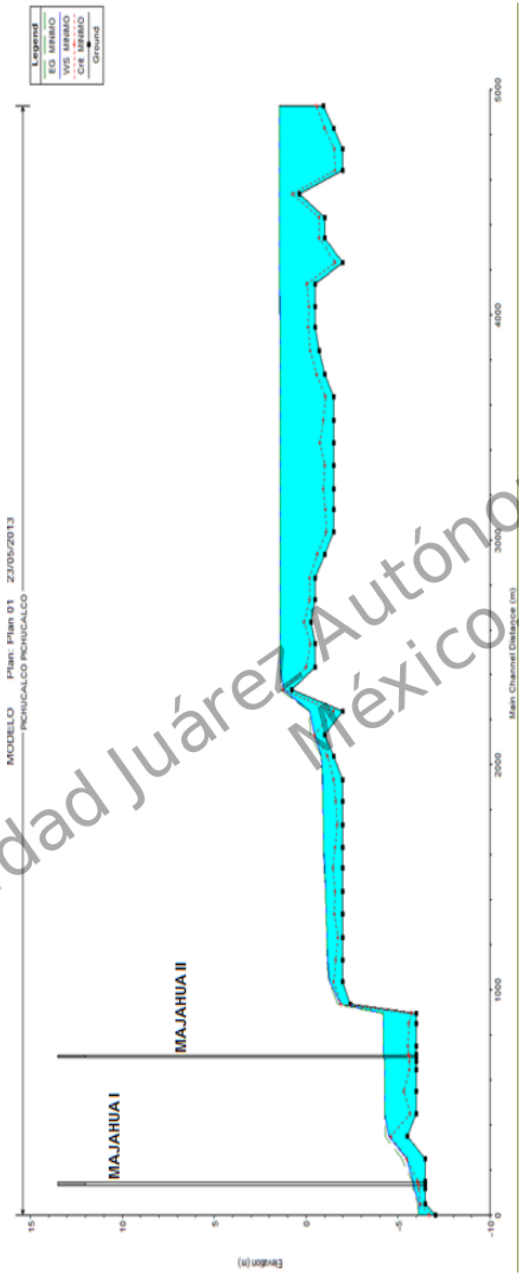


Figura 52.- Perfil del río Pichucalco con gasto mínimo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Tabla 34.- Resultados del perfil del río Pichucalco.

PUENTE	CALADO
MAJAHUA I	0.71 m.
MAJAHUA II	1.80 m.

En el perfil del río Pichucalco se tiene una profundidad en el río de 1.50 metros, por lo tanto por este tramo, se recomienda embarcaciones de calado de 1 metro, y se sugiere la rectificación del río, realizando dragados para profundizarlo ya que se encontraron puntos duros de arena, los cuales son obstáculos para la navegación.

PERFIL DEL RIO DE LA SIERRA. GASTO MÁXIMO

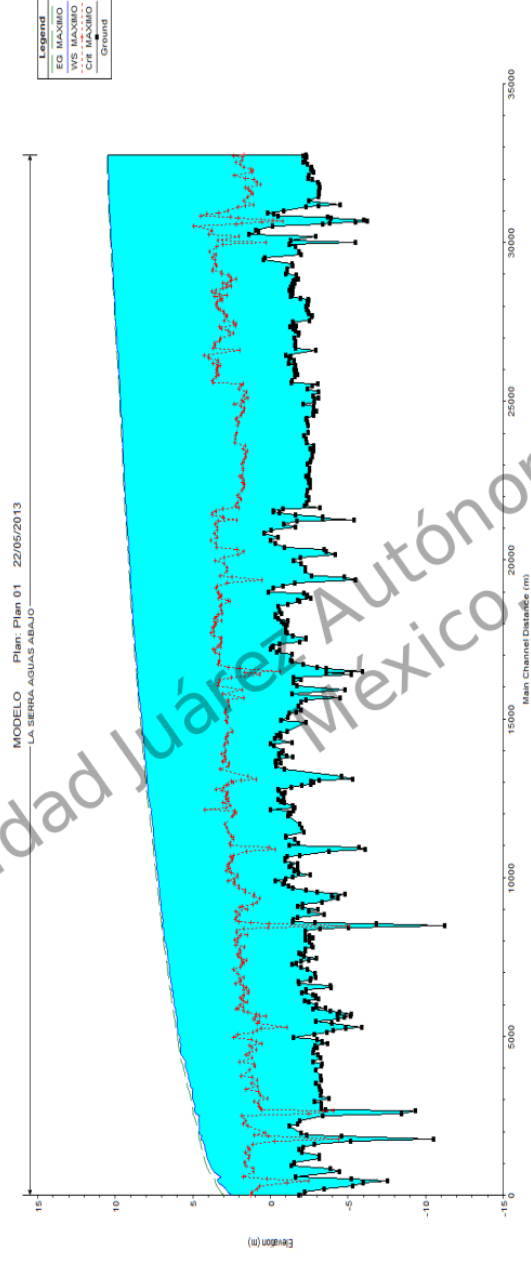


Figura 53.- Perfil del río de la Sierra con gasto máximo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

El río de la Sierra con un gasto máximo oscila de un calado de 5.93 a 11.65m, donde se puede contemplar embarcaciones de mediano calado y este río no cuenta con puentes en su trayectoria, por lo tanto no tiene obstáculos de puentes, pero sí obras de protección de las márgenes como espigones y enrocamiento de taludes, así como las derivadoras El Censo y Sabanilla.

PERFIL DEL RIO DE LA SIERRA. GASTO MINIMO

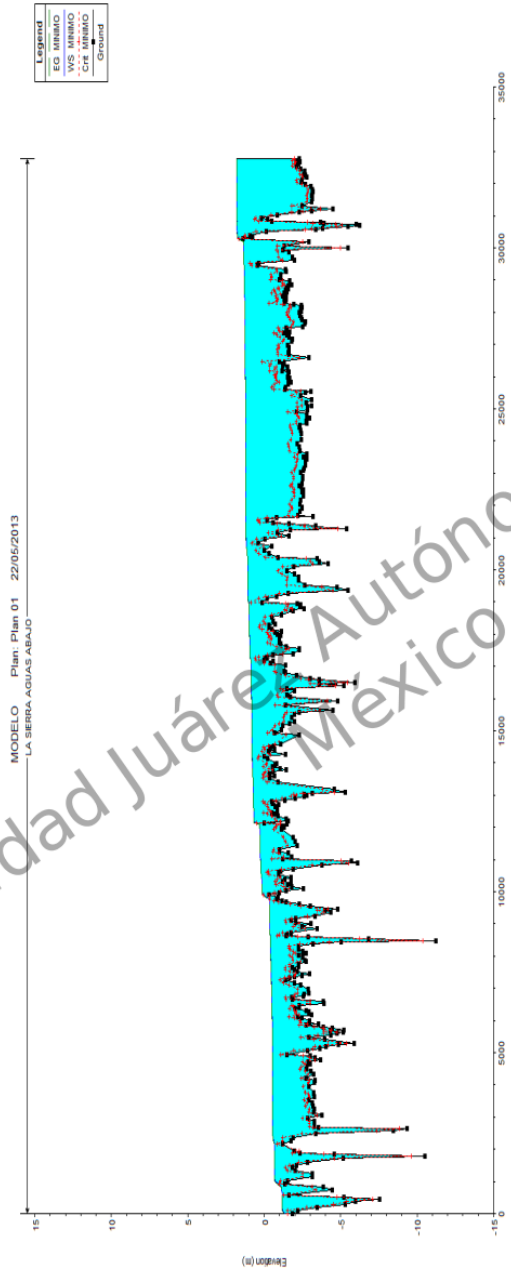


Figura 54.- Perfil del río de la Sierra con gasto mínimo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

El río de la Sierra con gasto mínimo oscila de un calado de 2.50 a 2.00 m, donde se puede contemplar embarcaciones de pequeño calado, así como la sugerencia de realizar obras de rectificación en el cauce, ya que se encuentra sedimentación los cuales son obstáculos para la navegación.

A continuación se muestran unos ejemplos de perspectivas de los puentes de los ríos Carrizal y Grijalva, (Tabla 32-34) con gasto máximo y mínimo, donde se muestran el galibo y franquía, así como el calado que se presenta en las secciones transversales.

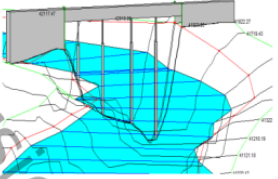
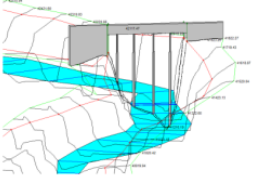
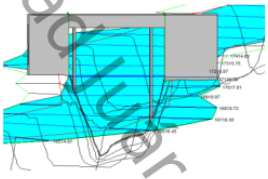
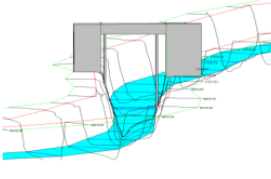
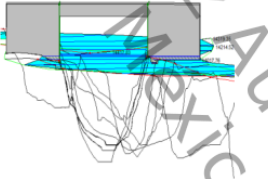
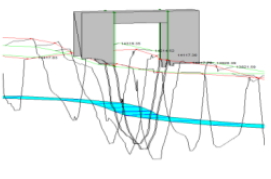
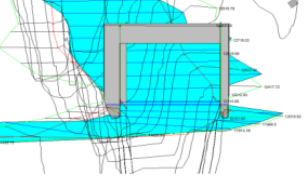
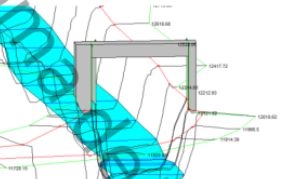
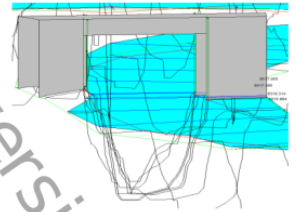
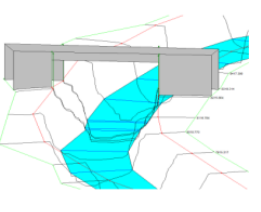
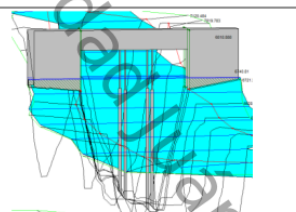
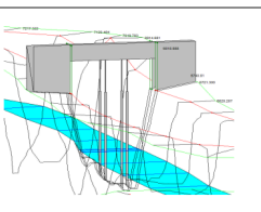
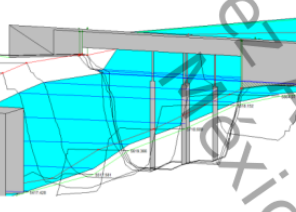
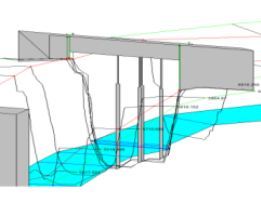
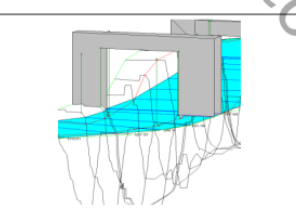
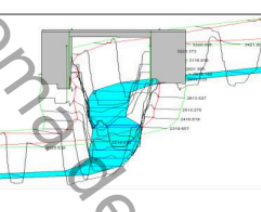
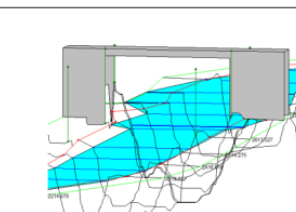
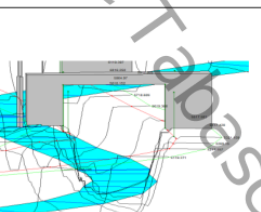
PUENTE	GASTOS MAXIMO	GASTO MINIMO
REFORMA		
CARRIZAL I Y II		
CARRIZAL IV		
CARRIZAL III		

Tabla 35.- Perspectivas del río Carrizal con puentes. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

CARRIZAL V		
TIERRA COLORADA I		
TIERRA COLORADA II		
CARRIZAL VI		
LA PIGUA		
Tabla 36.- Perspectivas del río Carrizal con puentes. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.		

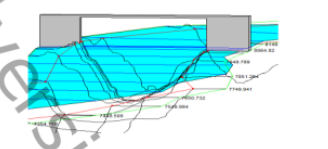
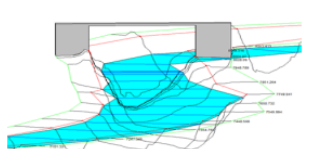
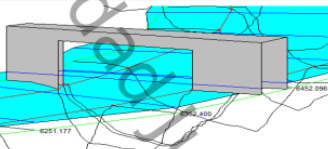
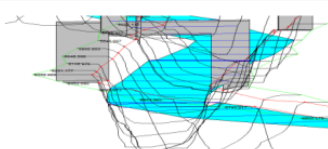
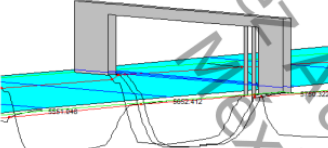
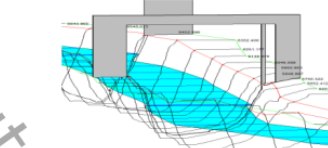
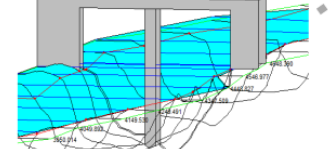
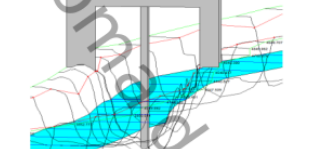
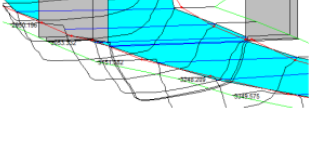
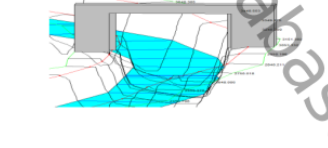
PUENTE	GASTOS MAXIMO	GASTO MINIMO
GRIJALVA II		
GRIJALVA III		
EL MIRADOR		
GRIJALVA I		
GRIJALVA IV		

Tabla 37.- Perspectivas del río Grijalva con puentes. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

CAPÍTULO 5 ZONAS CON POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE TERMINALES FLUVIALES

La riqueza hídrica de Tabasco constituye una alta disponibilidad de agua, teniendo un enorme potencial para el estado y la región sur-sureste, debido a su vital importancia para la subsistencia humana y de los ecosistemas, transporte fluvial, generación de energía, producción de alimentos, e inclusive para el desarrollo turístico. La implementación de políticas públicas que privilegien la conservación y el uso responsable de este recurso, permitirá convertir el agua en un factor estratégico que impulse el desarrollo y la competitividad económica de nuestro estado.

La ciudad de Villahermosa se encuentra conurbada con otras cuatro localidades pertenecientes al municipio de Centro, que son: Villa Macultepec, Villa Ocuilzapotlán, Villa Parrilla 1ª. Sección y Villa Playas del Rosario, y dos localidades del vecino municipio de Nacajuca: Bosques de Saloya y La Selva. En conjunto, estos dos municipios conforman la Zona Metropolitana de Villahermosa que agrupa un total de 755,416 habitantes con una densidad de población de 306.89 siendo la vigésima segunda conurbación más grande de México y la segunda más poblada del sureste, según el último conteo y delimitación oficial realizada por el INEGI, el CONAPO y la SEDESOL en 2005.

En Villahermosa se puede implementar otro medio de transporte como la hidrovía fluvial, ya que el parque vehicular aumenta cada año de forma importante y las vías de comunicación, principalmente en Villahermosa se han visto rebasadas (SCT, 2011). El parque vehicular en Tabasco al 31 de diciembre del 2010 ascendió a 416,000 unidades, de éstas 210,000 se encuentran en el municipio de Centro, pero circulan alrededor de 280,000. El gobierno estatal no federal han puesto en marcha obras viales de alto impacto como son el Libramiento de la Ciudad de Villahermosa, la ampliación a 8 carriles del periférico Carlos Pellicer Cámara y próximamente los distribuidores viales de Tabscoob y la Pigua, dichas obras no resuelven del todo el problema. Por tal motivo otra propuesta de transporte como la hidrovía, con el objetivo de reducir diariamente el número de unidades que circulen por Villahermosa evitando la generación de embotellamientos y caos vial, como los que actualmente se presentan en zonas como Ruíz Cortines, avenida Universidad, avenida Industria Nacional Mexicana, Paseo Usumacinta e incluso Paseo Tabasco Figura 55.

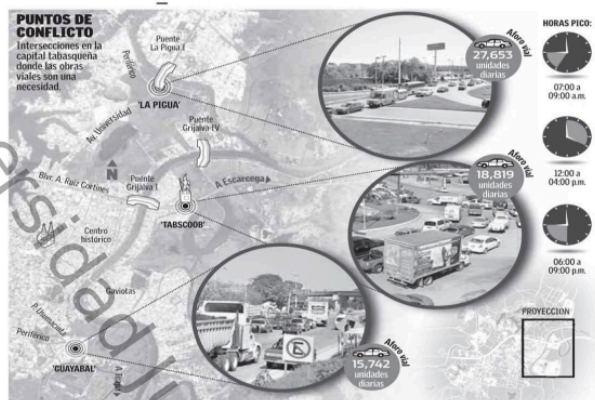


Figura 55.- Principales puntos de congestionamiento vehicular en Villahermosa.

Finalmente en 2010, de acuerdo a los resultados definitivos del Censo de Población y Vivienda, la ciudad de Villahermosa registró una población de 353 mil 577 habitantes, de los cuales 169 mil 721 son hombres y 183 mil 856; sin embargo, la inundación del 2007 no solo evidenció el caos y anarquía con el que había estado creciendo la capital, lo que obligó a las autoridades de los tres órdenes de gobierno a establecer un nuevo programa de ordenamiento territorial. De acuerdo a los estudios del Instituto de Ingeniería de la UNAM realizados en el Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), el crecimiento futuro de Villahermosa debe de estar enfocado dado la vulnerabilidad de inundación que presenta, hacia la creación de ciudades satélites en los corredores Villahermosa-Parrilla, Villahermosa-Dos Montes y Villahermosa-Macultepec, los cuales por su ubicación topográfica están libres de sufrir anegaciones por ubicarse arriba de los 10 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Debido a la disponibilidad de agua se puede tener una gran extensión de red fluvial, que permita una vía navegable con fines de comercialización, turismo y de recreación, integrando un sistema de transporte por hidrovías que accedan al traslado de grandes volúmenes de mercancía y/o pasajeros en una barcaza a través de un río, los costos de acarreo por tonelada-kilómetro serían menores a los de un ferrocarril y camión. Mostrándose la comparativa en la siguiente Tabla 35, donde el transporte fluvial resulta ser el modo de transporte con mayor capacidad para transporte de mercancías, el menor consumo de combustible, el que menos contaminación genera al medio ambiente, por lo tanto el más factible y mejores beneficios que el ferrocarril y el camión.

15

Tabla 38. - Parámetros de eficiencia comparativa entre diferentes modos de transporte.

ELEMENTO DE COMPARACION	FLUVIAL	FERROCARRIL	CAMION
Toneladas por km desplazadas por 1 HP de fuerza	5	0.5 – 1	0.15-0.20
Índice de variación de consumo de combustible	100	300	500-700
Vehículos necesarios para transportar 26,000 toneladas	1 convoy	13 trenes	650 camiones
Índice de variación de cantidad de material necesario para construir un vehículo	100	270	155
Índice de variación de la vida de servicio de los vehículos	100	60	20
Índice de variación de accidentes fatales	100	175	4463
Índice de variación de contaminación del aire	100	177-199	330
Índice de variación de contaminación del agua	100	100	540
Índice de variación de contaminación acústica	100	900	200
Índice de variación de tripulación para operar un vehículo	100	500	Mucho mayor
Índice de variación de costes del transporte	100	150-500	Mucho mayor

La posición geográfica de Villahermosa, lo ubica en el punto ideal para el desarrollo de nuevos proyectos orientados a la logística, transformación, distribución, comercio y servicios; lo que ha impulsado un crecimiento sostenido de la inversión privada local, nacional y extranjera que ha permitido generar empleos y derrama económica.

Actualmente existen seis parques industriales en el estado de Tabasco, (Figura 56-57) donde ofertan condiciones adecuadas de infraestructura, seguridad, equipamiento y servicios, los cuales son:



Parques industriales

- 1 Grupo Promotor Industrial de Tabasco
- 2 Parque Industrial DEIT
- 3 Parque Logístico Industrial
- 4 Tabasco Business Center
- 5 Parque Industrial Aeropuerto - Colinas del Sureste

Figura 56.- Parques industriales en Tabasco.



Parque Logístico Industrial

TABASCO

Parque Logístico Industrial	
Dirección del Parque	Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 5.0, Villahermosa, Tabasco, México. 86000
Teléfono de Oficinas Administrativas	+52(993) 3580800, 3580809 Cel: 9933112932
Persona Contacto	Ing. Abel Pérez Saldaña
Área Total(ha)	25
Área Urbanizada(ha)	10



Grupo Promotor Industrial de Tabasco

Grupo Promotor Industrial de Tabasco	
Dirección del Parque	Carretera Villahermosa - Frontera, Villahermosa, Tabasco, México. 86000
Teléfono de Oficinas Administrativas	+52(993)3531785 +52(993) 3536016 Cel.9931 904192
Persona Contacto	Lic. Luis Salas Ramírez
Área Total(ha)	78.00
Área Urbanizada(ha)	78.00



Parque Industrial DEIT

Parque Industrial DEIT	
Dirección del Parque	Carretera Cárdenas -Villahermosa Km. 5.5, Villahermosa, Tabasco, México. 86000
Teléfono de Oficinas Administrativas	+52 (993) 3379059 y 60
Persona Contacto	Sra. Gloria Caso cel.9935 900417
Área Total(ha)	58
Área Urbanizada(ha)	9

Figura 57.- Dirección de parques industriales en Tabasco.

5.1 Mapa de navegación.

Se presenta los Mapas de Navegación de los ríos Grijalva (Figura 58-67), de la Sierra (Figura 68-76) y Carrizal (Figura 77-89); en los cuales se muestran todos los obstáculos (puentes, espigones, estructuras hidráulicas, etc.), para tener una referencia de su ubicación sobre el río.

RIO GRIJALVA

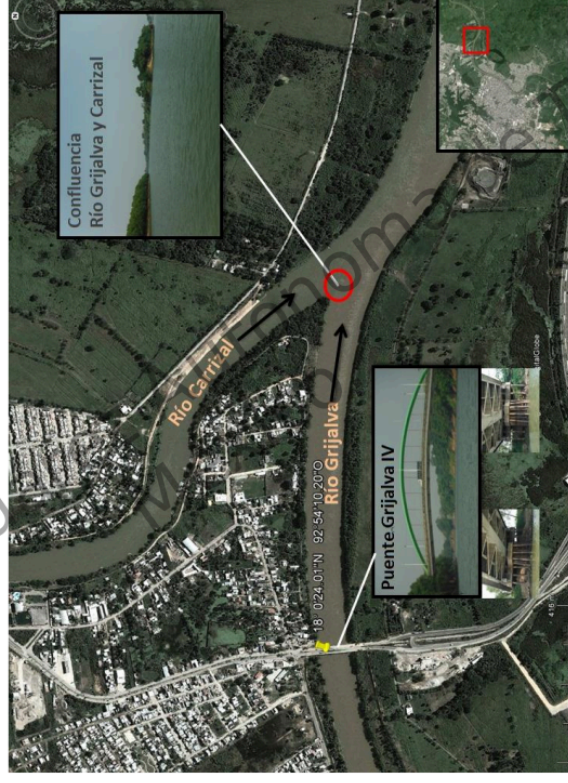


Figura 58.- Mapa del río Grijalva, bifurcación con el río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA

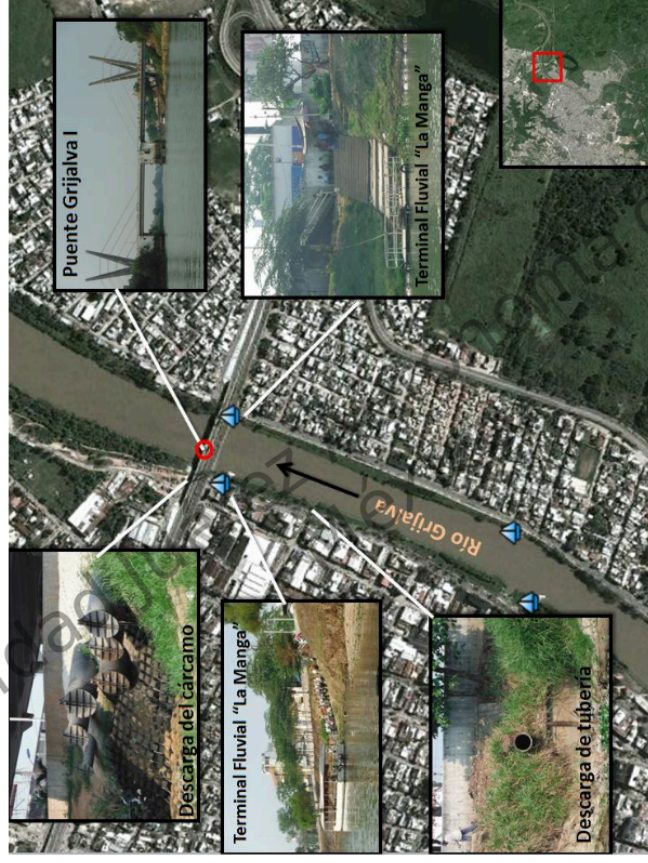


Figura 59 - Mapa del río Grijalva, a la altura del Puente Grijalva I. Fuente: Ana Karolina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA

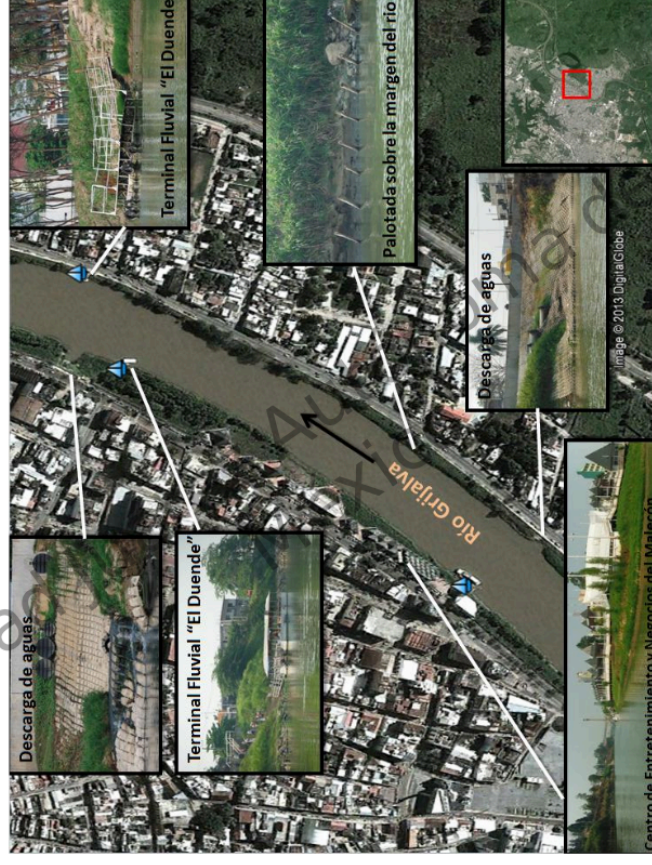


Figura 60.- Mapa del río Grijalva sobre el Malecón. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA

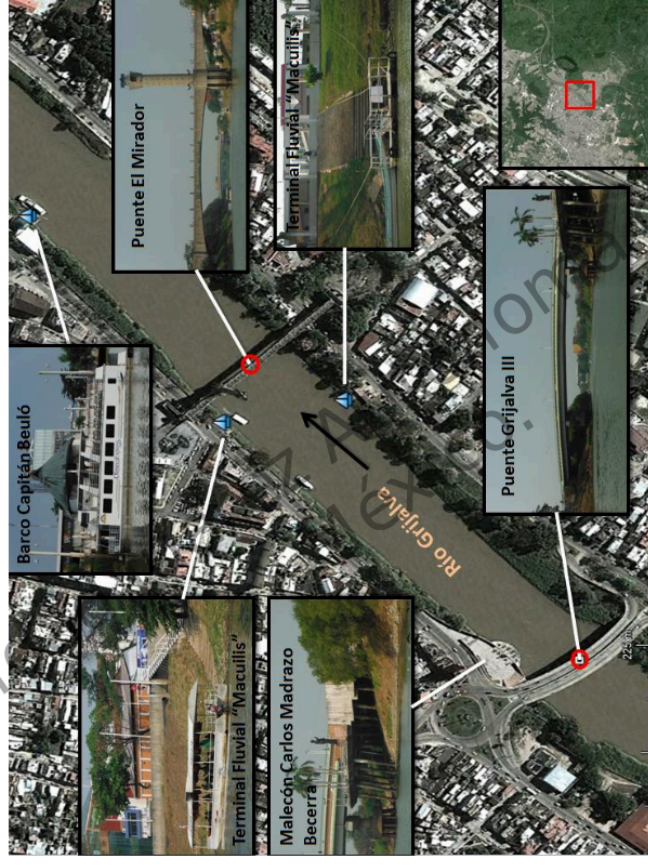


Figura 61.- Mapa del río Grijalva, a la altura del Puente El Mirador y Grijalva III. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA

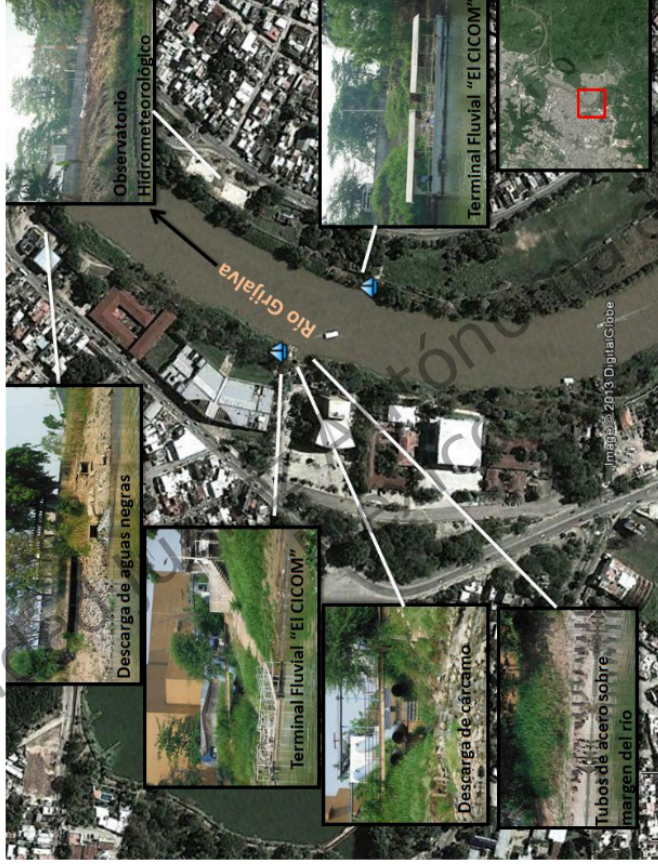


Figura 62.- Mapa del río Grijalva sobre el CICOM. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA



Figura 63.- Mapa del río Grijalva a la altura de obra de captación. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA

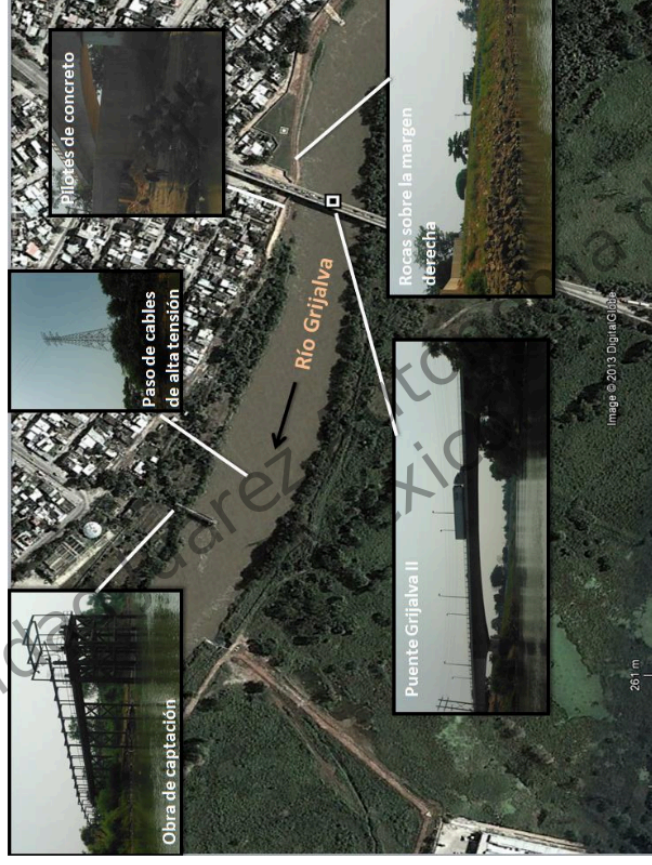


Figura 64.- Mapa del río Grijalva, a la altura del Puente Grijalva II. Fuente: Ana Karenna Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA

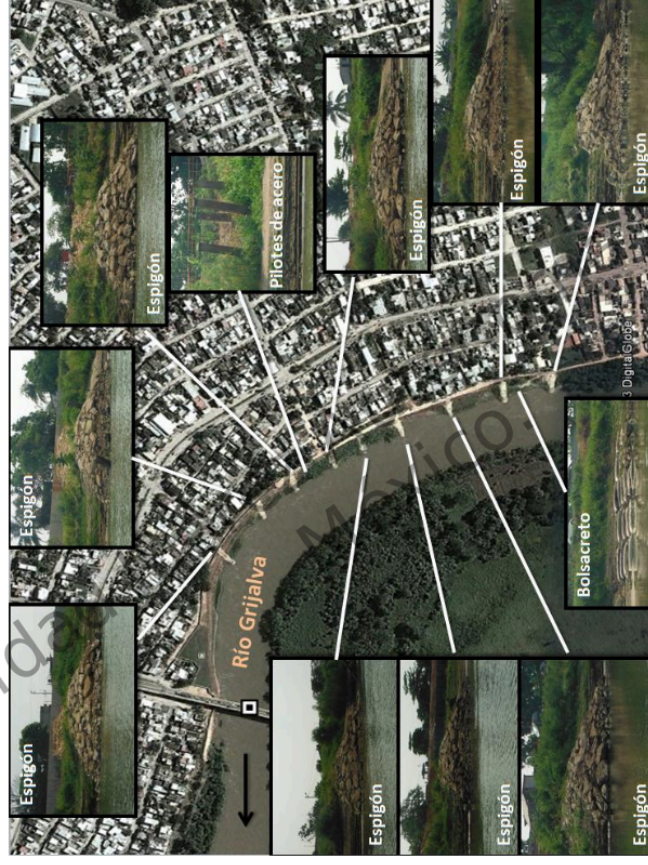


Figura 65.- Mapa del río Grijalva. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA



Figura 66.- Mapa del río Grijalva a la altura de la estación hidrométrica Gavlotas. Fuente: Mapa Karenina Pérez González, 2013.

RIO GRIJALVA Y RIO DE LA SIERRA

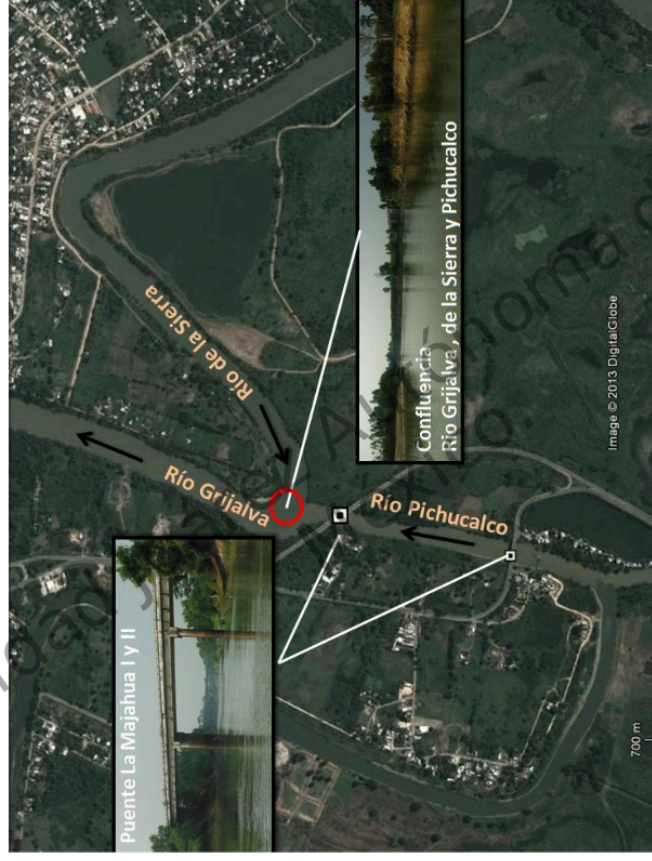


Figura 67.- Mapa de la bifurcación del río Grijalva - río de la Sierra - río Pichuocalco. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA

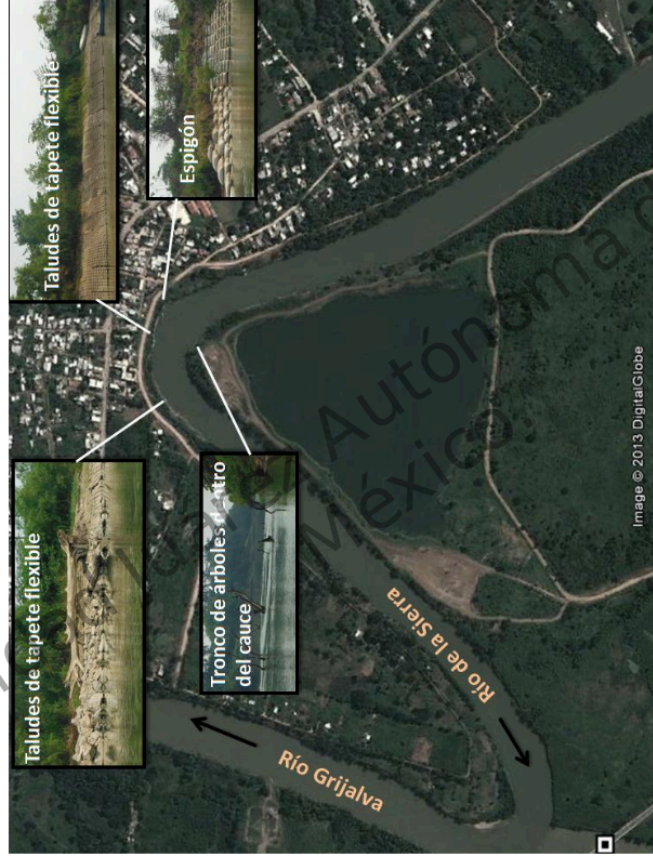


Figura 68.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA



Figura 69.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA

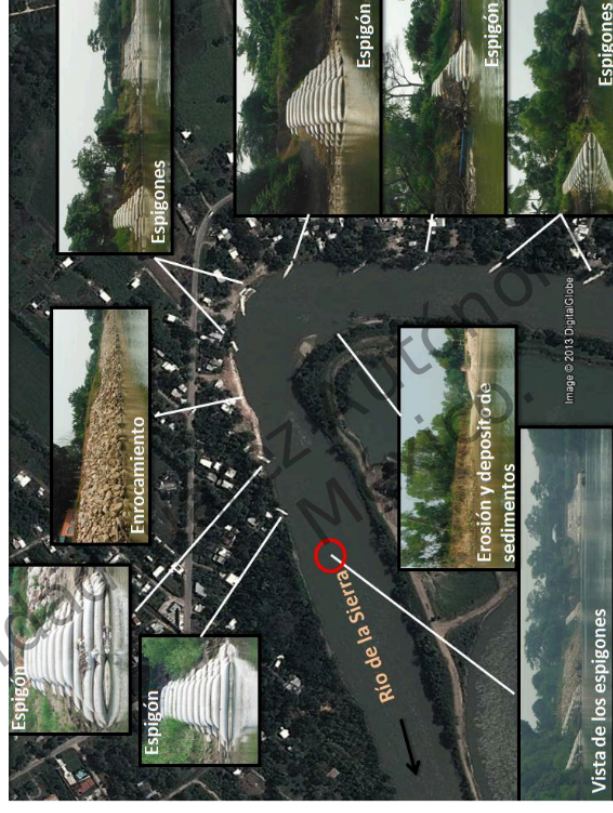


Figura 70.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA



Figura 71.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA



Figura 72.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA



Figura 73.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA



Figura 74.- Mapa del río de la Sierra. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA



Figura 75.- Mapa del río de la Sierra, a la altura de la Escotadura Sabanilla. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO DE LA SIERRA

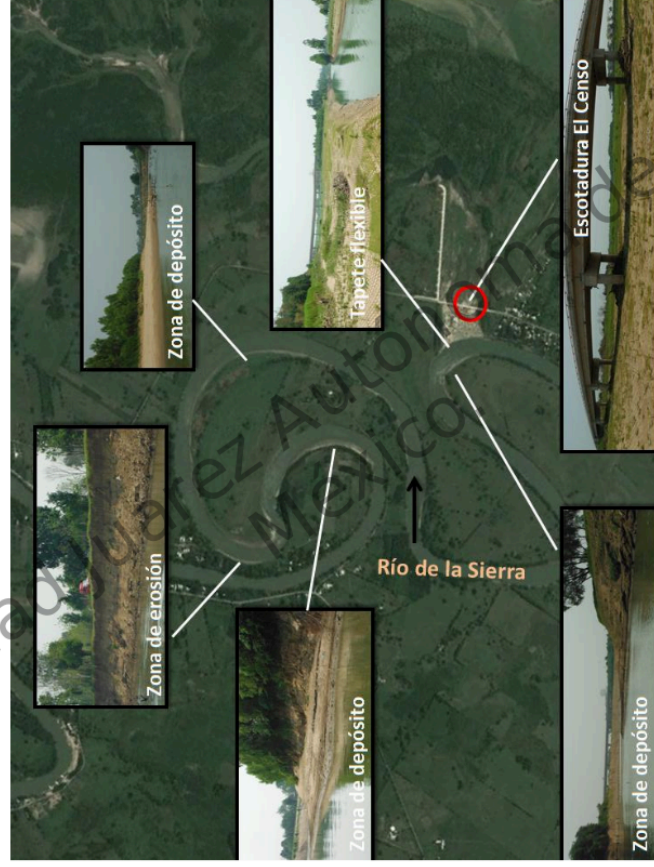


Figura 76.- Mapa del río de la Sierra, hasta la Escotadura El Censo. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

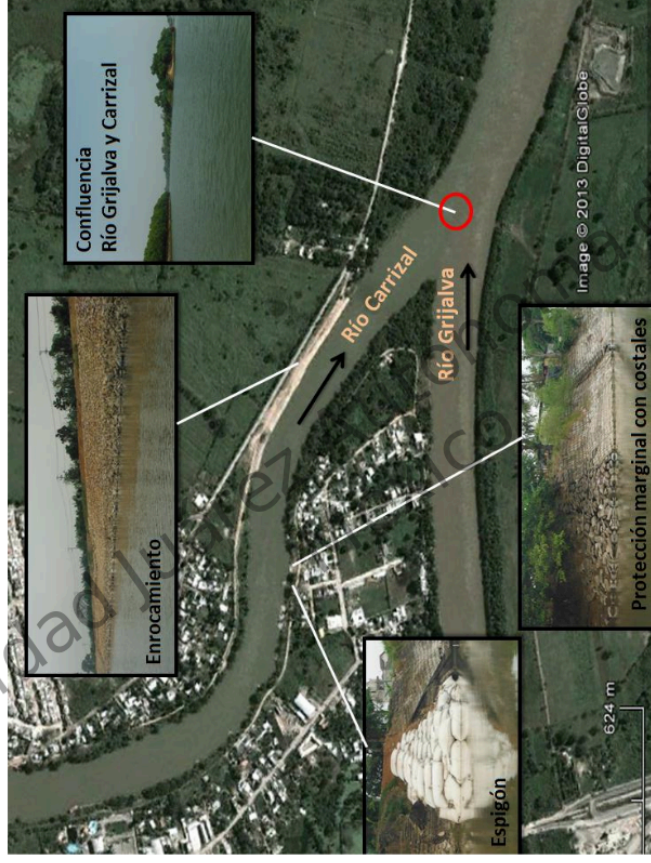


Figura 77.- Mapa del río Carrizal en confluencia con el río Grijalva. Fuente: Ana Karenia Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

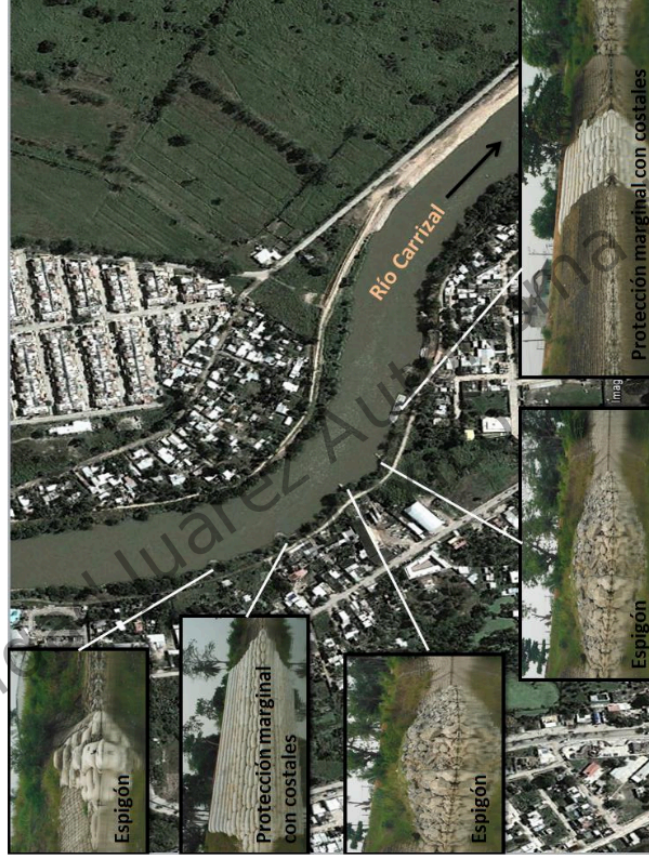


Figura 78.- Mapa del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

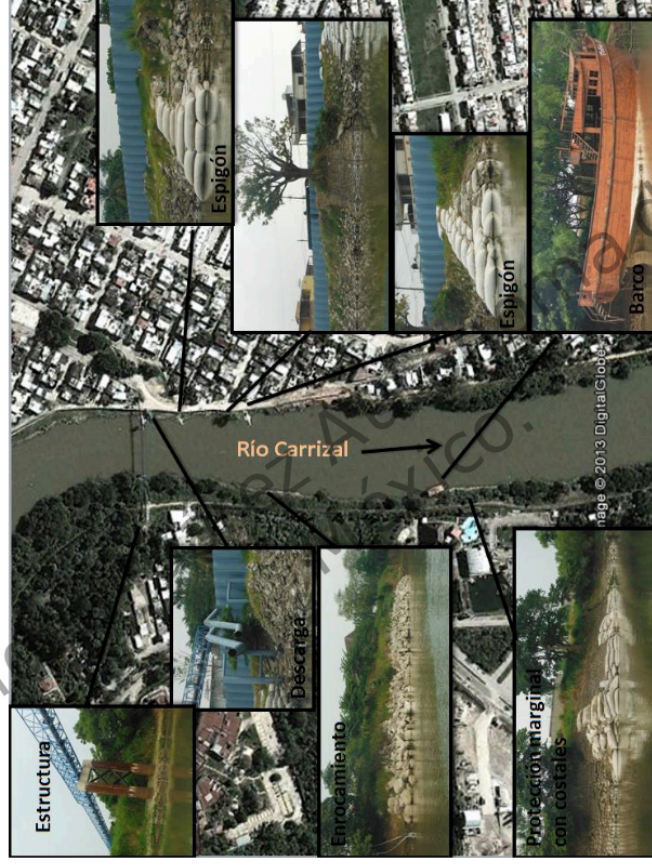


Figura 79.- Mapa del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL



Figura 80.- Mapa del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

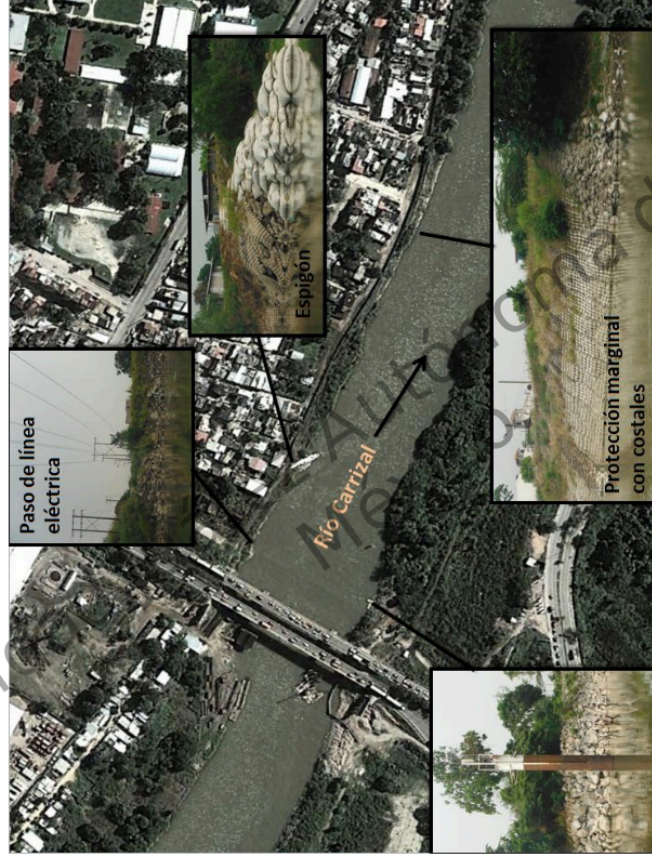


Figura 81.- Mapa del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

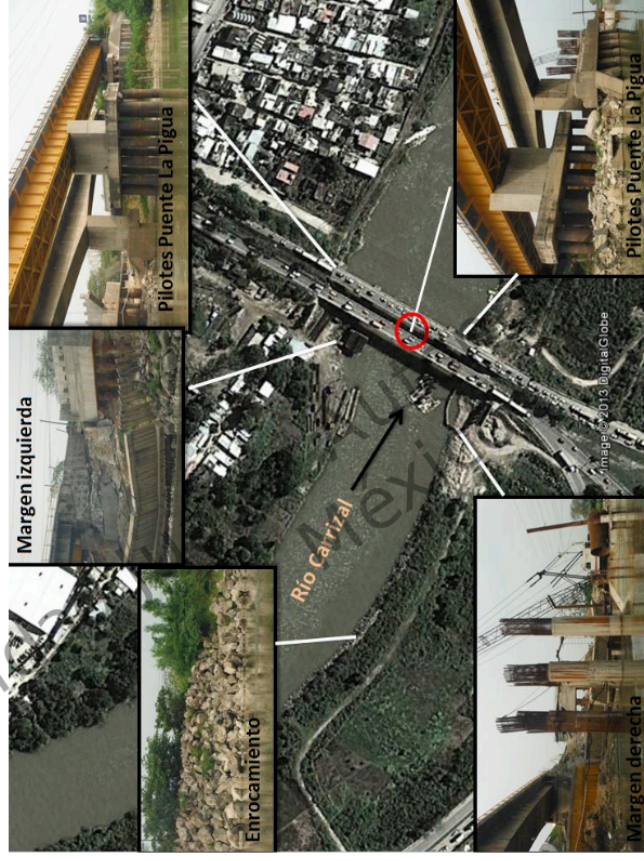


Figura 82.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente La Pigua. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL



Figura 83.- Mapa del río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL



Figura 84.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal VI. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

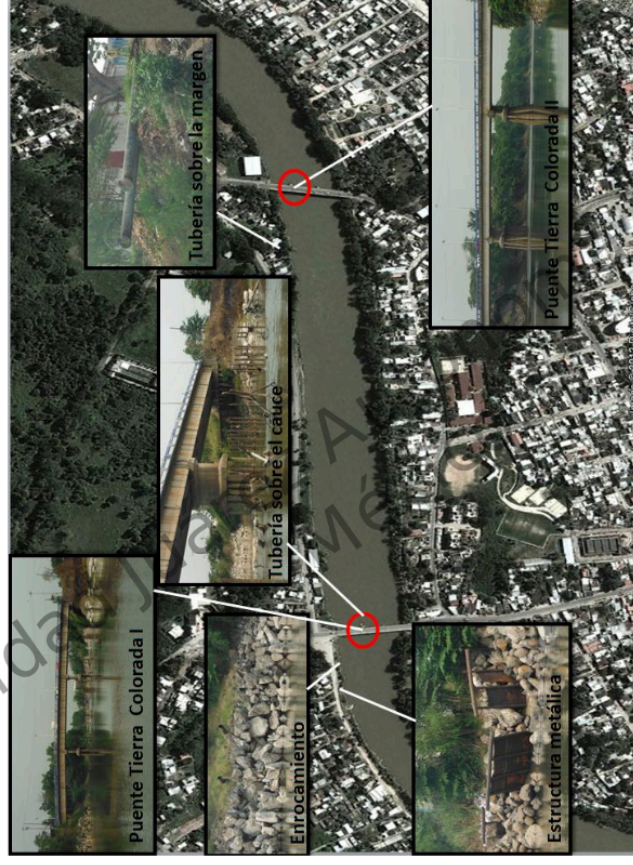


Figura 85.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Tierra Colorada I y II. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL

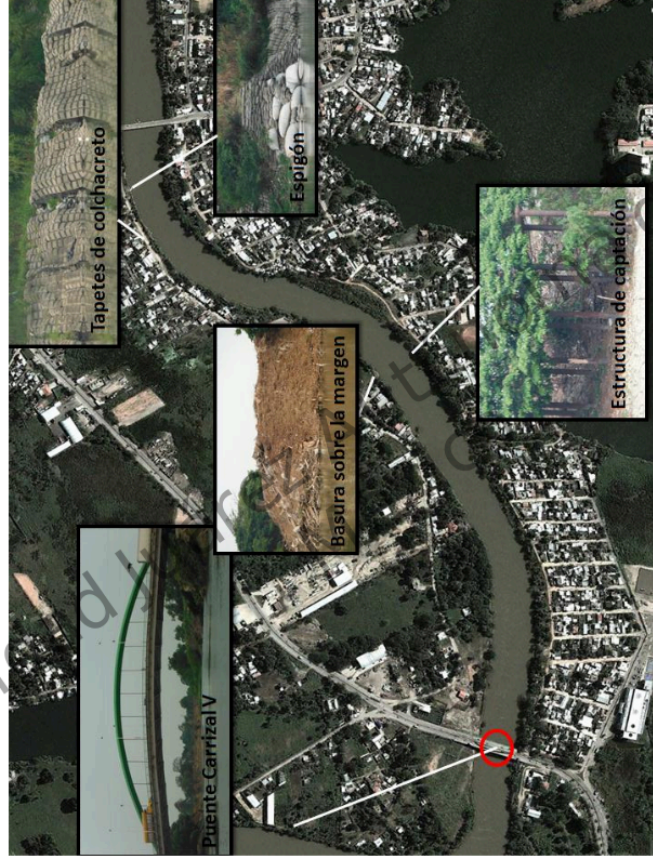


Figura 86.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal V. Fuente: Ana Karenna Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL



Figura 87.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Tierra Colorada I y II. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL



Figura 88.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal IV. Fuente: Ana Karenia Pérez González, 2013.

RIO CARRIZAL



Figura 89.- Mapa del río Carrizal, a la altura del Puente Carrizal I y II. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

5.2 Propuesta de rutas de navegación.

Sobre el río Carrizal, la hidro vía es factible para rodear a la ciudad de Villahermosa, beneficiando las colonias Indeco, Casa Blanca 2da. Sección, José María Pino Suárez I, II y III etapa, Carrizales, Bosque de Saloya, Espejo I y II, Miguel Hidalgo I, II y III etapa, Buenavista Río Nuevo, Anacleto Canabal 1era. Y 2da. Sección, además de poder conectar el Parque Logístico Industrial, el Parque Industrial DEIR y el Parque Industrial de Tabasco hacia la capital del Estado. Para esta hidro vía se sugiere embarcaciones de mediano calado, y ubicar embarcaderos en las principales colonias para el transporte de personas así como en los parques industriales para el transporte de mercancía. Y a través del río Grijalva llegar al centro de la ciudad donde están establecidos el comercio y la zona industrial.

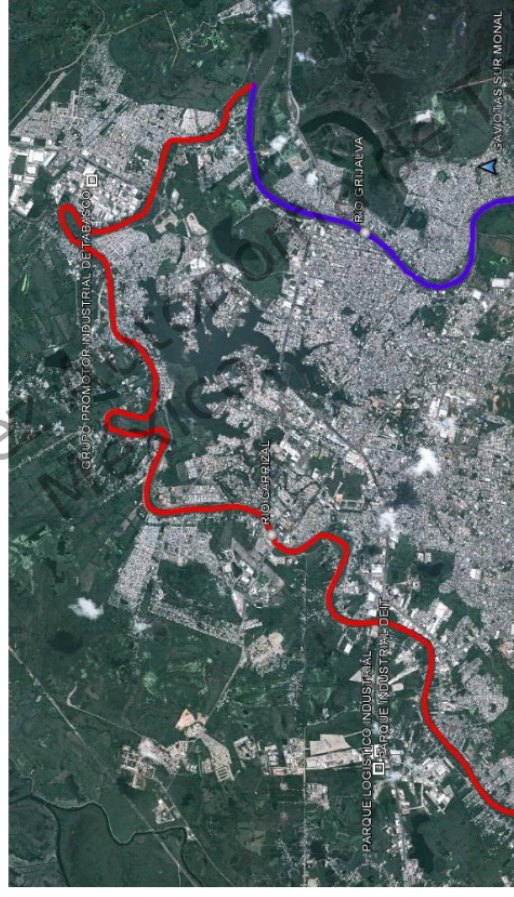


Figura 90.- Ruta de navegación sobre el río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González 2013.

Sobre la hidrovía del río Carrizal, se puede seguir el trayecto hacia aguas arriba para cubrir las colonias que no están tan próximas a la ciudad de Villahermosa, las cuales son González 2da. Y 4ta. Sección, Buenavista río Nuevo, Corregidora, Anacleto Canabal 1era. Y 2da. Sección; además de conectar el centro regional WalMart hacia la ciudad.

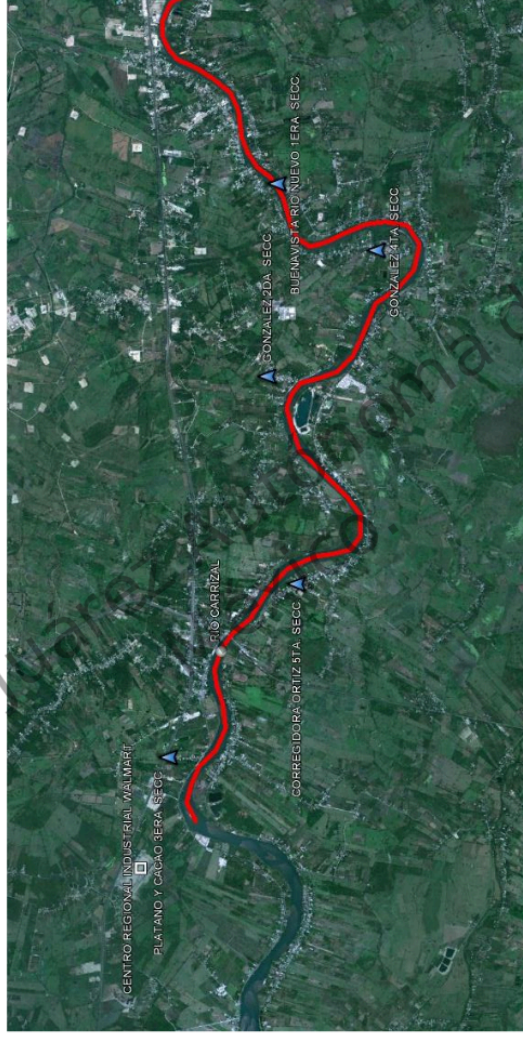


Figura 91.- Ruta de navegación sobre el río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

Por medio del río de la Sierra, poder vincular las villas que se encuentran a la margen del río, como por ejemplo el Censo y Villa Pueblo Nuevo, así a través del río Pichucalco beneficiar a Villa Parrilla y Torno Largo 1era. Sección, conectando con el río Grijalva, a las colonias Gaviotas Sur sector Armenia, San José, La Manga I y II, Gaviotas Norte, el Centro Histórico y Casa Blanca.

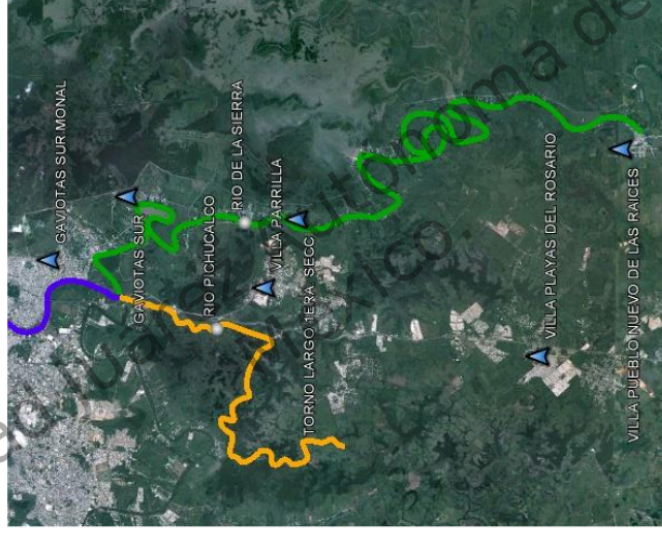


Figura 92.- Ruta de navegación sobre el río Carrizal. Fuente: Ana Karenina Pérez González, 2013.

CONCLUSIONES

- Se exploró la factibilidad técnica de reactivar las vías navegables en la ciudad de Villahermosa, que sirvan para el transporte de personas, la comercialización de productos, el desarrollo turístico y la integración del municipio. Encontrando que Villahermosa dispone de los elementos naturales únicos, que lo potencializan como una ciudad evidentemente fluvial.
- Existen las amplias posibilidades debido a la gran red fluvial, que pueden hacer de Villahermosa el centro neurológico de distribución de mercancías Vía Fluvial al sur de la república. Esto debido al potencial de trasladar de grandes volúmenes de mercancía en barcazas hacia centros de distribución como dos bocas o la barra de frontera.
- Se realizaron estudios: hidráulicos con el análisis del gasto mínimo para la condición de estiaje y gasto máximo en condición a bordo lleno, inventario de obras hidráulicas como espigones, obras de captación y obstáculos que se encuentren en el río.
- El estudio hidrológico de los ríos para el gasto máximo se hizo a partir del análisis de frecuencia con los gastos máximos anuales registrados en cada estación hidrométrica, mientras que, para el gasto mínimo, se tomó el gasto y nivel mínimo presentado del día 1 de noviembre del 2012 al 20 de mayo del 2013, el cual ha sido la temporada de estiaje, que se presentó durante este periodo, reconocido por la CONAGUA.
- Derivado del estudio hidráulico realizado en el río Carrizal, Grijalva, de la Sierra y Pichucalco es importante destacar lo siguiente:
 - Con el Gasto Máximo el periodo de retorno de 5 años fue el utilizado para este estudio, debido a que se llega a la condición de bordo lleno.

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA UN GASTO MÁXIMO ANUAL CON TR= 5 AÑOS (m ³ /s)				
González	Porvenir	Gaviotas	San Joaquín	Pueblo Nuevo
873.62	1,713.03	1,226.66	784.88	942.66

- Con el Gasto Mínimo se utilizaron los siguientes datos.

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA UN GASTO MÍNIMO (m ³ /s)				
González	Porvenir	Gaviotas	San Joaquín	Pueblo Nuevo
33.61	38.00	18.00	6.00	9.00

- Se propone la restitución de los puentes Tierra Colorada I y II del río Carrizal, ya que los resultados de la modelación del río Carrizal con un Gasto Máximo de 873.62 m³/s tienen una franquía (distancia entre la parte inferior del puente y la lámina de agua con un gasto máximo) de 3.5 a 3.65 m, lo cual no permite el paso por debajo del puente. Para los puentes Majahua I y II del río Pichucalco, se propone el mantenimiento y limpieza de los ríos, así como una rectificación y dragado para profundizarlos, ya que existen obstáculos que no permiten la navegabilidad en las condiciones de estiaje teniendo con un Gasto Mínimo de 6.00 m³/s y un calado de 1.50 metros.
- Queda como trabajo a futuro la generación de la carta digital de navegación que incluya los elementos antes citados.

Recomendaciones

Para conseguir una buena modelación numérica, es necesario alimentar el modelo con datos e información confiable. La calidad y confiabilidad que se logró en los resultados obtenidos de las modelaciones numérica, estuvo sujeta a la calidad de información obtenida, previamente, a partir de las pruebas experimentales. Por lo que se recomienda que para construir un buen modelo en HEC-RAS se cuente, al menos, con la siguiente información de campo:

1. Caudal que circula en el cauce. Este puede obtenerse luego de aplicar algún método de aforo de corrientes naturales o bien de alguna estación hidrométrica cercana.
2. Coeficiente de Manning. Puede medirse en campo, en cuyo caso, dejaría de ser necesario calibrar el modelo variando el valor de dicho coeficiente. O bien, obtenerse de tablas del coeficiente de Manning.
3. Levantamiento topográfico. Deberá considerarse, además del levantamiento a lo largo del cauce:
 - Una sección transversal aguas arriba del cauce.
 - Una sección transversal aguas abajo del cauce y
 - La elevación de la lámina de agua en ambas secciones.

Finalmente se concluye que el software HEC-RAS, empleado para el análisis hidráulico de ríos, como el caso presentado en este trabajo, es capaz de reproducir adecuadamente los efectos, siempre y cuando, sea sometido a un proceso de calibración adecuado.

REFERENCIAS

Andrews, Anthony, (1998), "El Comercio Marítimo de los Mayas del Posclásico, La Navegación entre los Mayas. Arqueología Mexicana". VI (33) pp.16-23. México: Editorial Raíces-CONACULTA.

Balcázar Elías, Antonio, (2003), "Tabasco en sepia. Economía y Sociedad 1880-1940", Los caminos y las vías de comunicación fluviales. Importancia del Puerto de Frontera. II: pp.71-90. México: Editorial Estrategia Integral de Comunicación S.A. de C.V. UJAT.

CAF, (1998) "Los ríos no unen, integración Pluvial Suramericana", cfr. pp. 40.

Cortés, Hernán, (1963) "Cartas de Relación", 7ª ed., México: Porrúa.

Chávez Jiménez, Ulises, (2005) "Potonchar y Santa María de La Victoria: una propuesta geomorfológico/arqueológica a un problema histórico" pp.117-120. ENAH-University of Calgary.

Díaz del Castillo, Bernal, (1970) "Historia verdadera de la conquista de la Nueva España". México: Porrúa.

Delgadillo Reynoso Pablo A, (1981) "Proyecto Cauce de Alivio Samaria – Golfo de México" Posibles vías de navegación en el estado de Tabasco", pp.c-23–c-35. México: Editorial UJAT.

García Eduardo Luiz, (2000) "Proyectos y desarrollo en las hidrovías del norte de Brasil"(Madeira / Araguaia-Tocantins / San Francisco). Brasil.González, Pedro A., (1981) Los Ríos de Tabasco, Consejo Editorial del estado de Tabasco, México, p.114.

NBI, (2010) "Transporte Siglo XXI". Revista de negocios de la industria. Volumen 53. <http://www.transportesxxi.com.mx/revista>.

Pérez González, Ana K., (2010), "Hidrovia Fluvial en Tabasco". pp. 1-6.UJAT.

Pérez González, Ana K., (2012), "Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco". pp. 1-6.UJAT.

Rob Konings, Marcel Ludema, (2000) "The competitiveness of the river-sea transport system: market perspectives on the United Kingdom-Germany corridor". Pp. 222. Journal of Transport Geography 8.

SCADplus, (2009), <http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l24450.htm> 30/03/2009.

SCT, (2010) "Registro de Calados en Puertos Mexicanos". Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Dirección General de Marina Mercante. pp.21.

SE, (2009) Secretaría de Economía. Informe Trimestral del 2009 del estado de Tabasco.

Torres Vera, Trinidad, (2000) "Historia gráfica de Tabasco" AHA. pp.71 – 93. México: Archivo General de la Nación.

UNESCO, (2006) http://www.unesco.org/water/news/newsletter/130_es.shtml

US Army Corps of Engineers (USACE) (2010). "HEC – RAS, River Analysis System, Hydraulic Reference Manual". Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, pp. 417.

Velásquez Villegas, Germán, (2001) "Las inundaciones en Tabasco. Ensayo monográfico" La ruta Maya y la navegación fluvial sobre el río Usumacinta, sus ramificaciones y sus formadores, pp.142-145. México: Editorial UJAT.

Velásquez Villegas, Germán, (1994) "Los recursos hidráulicos del estado de Tabasco, Ensayo Monográfico" pp.- 27. México, UJAT.

ANEXOS

Pérez González, Ana K., (2010), "Hidrovia Fluvial en Tabasco". pp. 1-6. UJAT.

Pérez González, Ana K., (2012), "Hidrovia Fluvial. Caso: Villahermosa, Tabasco". pp. 1-6. UJAT.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

HIDROVÍA FLUVIAL. CASO: VILLAHERMOSA, TABASCO.

Ana Karenina Pérez-González, Fabián Rivera-Trejo

DAIA, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán Jalpa de Méndez, Col. La Esmeralda, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México. karenina_11@hotmail.com; jose.rivera@ujat.mx.

Introducción

Rescatar la cultura y tradición del agua y promover el transporte fluvial es una acción que parece más que natural para aplicarse con éxito en Villahermosa. Una manera de atraer inversión y capitales a una región es asegurando excelentes vías de comunicación, rentables, que no involucren grandes costos de construcción, mantenimiento y que ofrezcan alternativas para los distintos tipos de usuarios, tanto, comercial, industrial y turístico.

Una hidrovía es cualquier masa de agua navegable. Incluyen ríos, lagos, océanos y canales. La hidrovía consiste en el traslado de productos o pasajeros de un lugar a otro a través de ríos con profundidades adecuadas. (UNESCO, 2006). El transporte fluvial es una importante vía de comercio interior, por lo que; en ríos, con las infraestructura suficiente son muy importantes. Para que una masa de agua sea navegable, debe satisfacer varios criterios: a) suficientemente profunda para permitir el calado de las embarcaciones que la utilizan; b) ancho suficiente para permitir el paso de las embarcaciones que la utilizan; c) estar exenta de barreras para la navegación, como cascadas y rápidos, o disponer de una vía a su alrededor (como por ejemplo esclusas); d) lo suficientemente tranquila como para permitir que las embarcaciones avancen.

Este artículo es una parte del desarrollo de la tesis de posgrado de Ingeniería Hidráulica, la cual se analizó la factibilidad técnica de implementar una vía de navegación fluvial (hidrovía) en la ciudad de Villahermosa, que comprenda los ríos Carrizal, Grijalva, Pichucalco y La Sierra, que la circundan. Cabe señalar que la tesis es desarrollarla con las condiciones más desfavorables, que son durante la temporada de estiaje y en condiciones de bordo lleno; pero en este artículo solo comprenderá con el gasto máximo.

La hidrovía debe ser funcional la mayor parte del año y cumplir con las condiciones de eficiencia, seguridad y adecuada protección del medio ambiente. En este trabajo se propusieron las vías de navegación fluvial (hidrovías) en Villahermosa, Tabasco, con un potencial estimado en 85 km de vías navegables con 4 rutas principales: 1) Parques Industriales (Carrizal)-Villahermosa; 2) Grijalva-Villahermosa; 3) Parrilla (Pichucalco)-Villahermosa y 4) Pueblo Nuevo (La Sierra)-Villahermosa. Se analizaron las condiciones actuales de los ríos que tienen potencial de desarrollo fluvial en la ciudad de Villahermosa, principalmente en lo que pueden ser las terminales fluviales del río Grijalva.

La información generada permitirá evaluar la posibilidad de usar a la hidrovía como polo de desarrollo, de tal manera que pueda ser incluida en los planes de desarrollo y crecimiento tanto Estatales como Municipales. La implementación de políticas públicas que privilegien la conservación y el uso

responsable de este recurso, permitirá convertir el agua en un factor estratégico que impulse el desarrollo y la competitividad económica de nuestro estado.

Metodología

Se digitalizaron las rutas identificadas, utilizando imágenes del software libre Google Earth (2012). Se analizó su condición actual, se generaron observaciones y una propuesta de reactivación. A partir de la topografía de los ríos Carrizal, Grijalva, Pichucalco y La Sierra; se aplicó un modelo numérico unidimensional (Hec-Ras), empleado como condiciones de diseño de datos hidrológicos con los gastos máximo, para diferentes periodos de retorno. A través de esta modelación, se obtuvieron, los niveles de la lámina de agua para las condiciones de bordo lleno; además, se propusieron los tipos de embarcaciones que pueden transitar por esta hidrovía en función de su, calado y peralte de la embarcación, de tal forma que sea posible pasar por debajo de los puentes que atraviesan en estos ríos.

Propuesta: Hidrovía Fluvial en Villahermosa

La posición geográfica de Villahermosa, lo ubica en el punto ideal para el desarrollo de nuevos proyectos orientados a la logística, transformación, distribución, comercio y servicios; lo que ha impulsado un crecimiento sostenido de la inversión privada local, nacional y extranjera. En el análisis de las propuestas de hidrovías en Villahermosa, se tomo en cuenta los cuatro parques industriales que se encuentran sobre el río Carrizal, así como las zonas urbanas de la ciudad de Villahermosa, siendo Villa Parrilla, Villa Playas del Rosario, y Pueblo Nuevo, identificando los puntos con más crecimiento poblacional y que se encuentran más apartadas de la ciudad, pero se encuentra uno de los ríos las comunidades.

Las hidrovías fluviales propuestas son:

1) Parques Industriales (Carrizal)-Villahermosa; el cual comprende desde el Centro Regional Wal-Mart, incluyendo el Parque Logístico Industrial, el Parque Industrial DEIT y el Parque Industrial de Tabasco hacia la ciudad de Villahermosa, en total comprende 44.80 km de vía de navegación. (Figura 1).

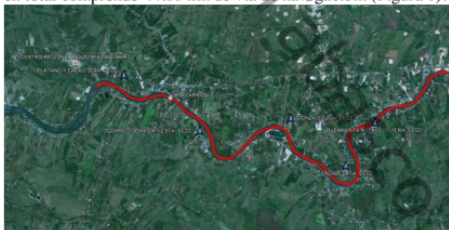


Figura 1.- Ruta sobre el río Carrizal conectando el Centro Regional Wal-Mart hacia Villahermosa.

2) Grijalva-Villahermosa; a través del río Grijalva rodear el centro de Villahermosa, con el objetivo de reducir diariamente el número de unidades que circulen por Villahermosa evitando la generación de embotellamientos y caos vial, siendo en total una longitud de 8.20 km. Que aguas arriba hace confluencia con el río Pichucalco y de La Sierra. (Figura 2).



Figura 2.- Ruta en el río Grijalva sobre el centro de la ciudad de Villahermosa.

En lo que respecta al río Grijalva, en las inmediaciones de Villahermosa, existe una zona donde se ubican cuatro pasos fluviales de las conocidas "lanchitas", siendo estos: El CICOM, El Duende, La Manga y El Macuilis, donde más de 30 mil ciudadanos de las colonias Gaviotas Norte, Gaviotas Norte sector Popular, Gaviotas Sur (en sus sectores Armenia, Monal, Coquitos, Valle Verde y El Censo, entre otros), y La Manga I, II y III, los que utilizan a diario los pasos fluviales, el paso CICOM tenía un aforo de mil personas; el paso Macuilis, 4 mil personas; el paso del Duende, un aforo de 6 mil personas; así como el paso de la Manga, con un aforo de 7 mil personas. (SCT, 2010). Se realizó la visita de campo a los 4 pasos fluviales que se encuentra sobre el Río Grijalva a la altura de la Ciudad de Villahermosa, los cuales se ubican de aguas arriba hacia aguas abajo: la Terminal Fluvial El Cicom, Macuilis, El Duende y La Manga. (Figura 3).

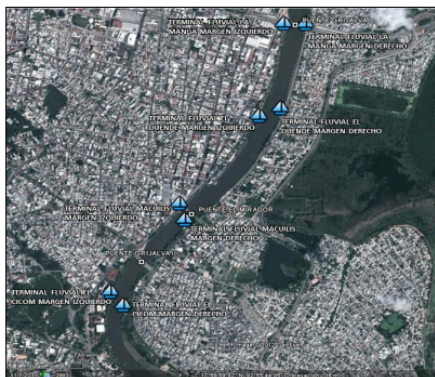


Figura 3.- Terminales fluviales sobre el río Grijalva.

3) Parrilla (Pichucalco)-Villahermosa; esta ruta conectaría del centro histórico de la ciudad de Villahermosa a través del río Grijalva sobre la colonia Gaviotas Sur pasando por el río Pichucalco llegando hasta la Villa Parrilla y Torno Largo 1era. Secc. las cuales son las zonas conurbanas que están teniendo un gran crecimiento poblacional y requieren de servicios de transporte hacia la capital, tiene una longitud de 12.10 km.

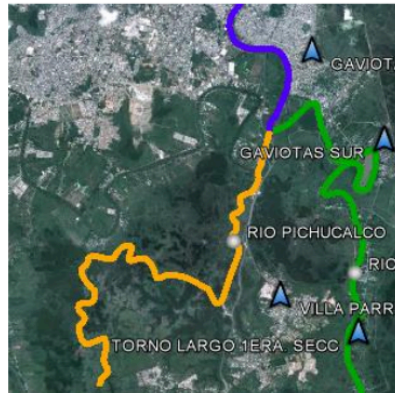


Figura 4.- Ruta en el río Pichucalco.

4) Pueblo Nuevo (La Sierra)-Villahermosa; desde el centro de la ciudad por el río Grijalva navegar hacia el río de La Sierra en la cual existen pequeñas poblaciones a las orillas que no cuentan con medio de transporte hacia la ciudad de Villahermosa, hasta llegar al Pueblo Nuevo de las Raíces, la cual es otra zona conurbana y a través de los 20.50 km del río.

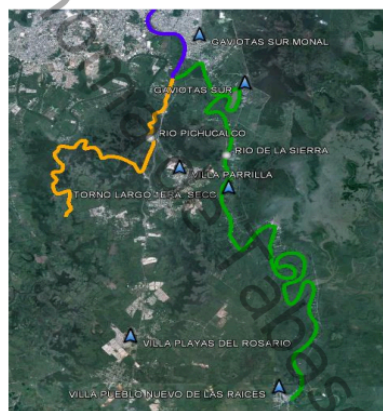


Figura 5.- Ruta en el río de La Sierra.

Reconocimiento de campo

Se analizaron las condiciones actuales de los ríos que tienen potencial de desarrollo fluvial siendo el río Carrizal, Grijalva, La Sierra y Pichucalco. De los cuales se geo referenciaron los puentes que se ubican en estos ríos, se muestra en la Figura 6.

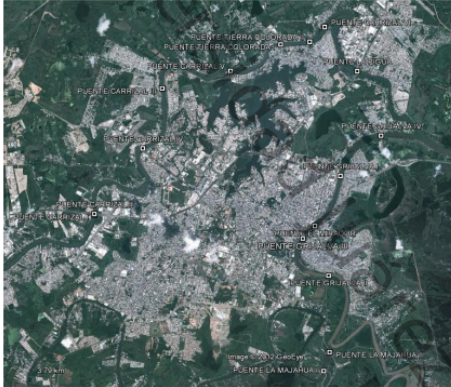


Figura 6.- Ubicación de los puentes sobre el río Carrizal, Grijalva y Pichucalco.

En las siguientes tablas se muestra la ubicación de cada puente sobre los ríos Carrizal, Grijalva y Pichucalco:

PUENTE	LUGAR	UBICACIÓN EN COORDENADAS	IMAGEN
CARRIZAL I y II	DE CARDENAS HACIA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA.	17°59'17.00"N 92°58'13.43"O	
CARRIZAL III	DE BOSQUES DE SALOYA HACIA VILLAHERMOSA.	18°1'0.26"N 92°57'16.82"O	
CARRIZAL IV	DEL PARQUE TABASCO HACIA VILLAHERMOSA.	18°0'11.33"N 92°57'32.91"O	
CARRIZAL V	DE COLONIA TIERRA COLORADA I HACIA VILLAHERMOSA.	18°1'15.22"N 92°56'18.78"O	

Tabla 1. – Puentes del río Carrizal.

PUENTE	LUGAR	UBICACIÓN EN COORDENADAS	IMAGEN
CARRIZAL VI	DE TIERRA COLORADA II HACIA LA CARRETERA A NACAUICA	18°1'51.87"N 92°54'58.88"O	
LA ISLA	DE REFORMA, CHIAPAS HACIA LA CARRETERA FEDERAL 100	17°58'8.86"N 93°17'54.93"O	
LA PIGUA	DE LA COLONIA EL RECREO HACIA CIUDAD INDUSTRIAL	18°1'16.24"N 92°54'30.69"O	
TIERRA COLORADA I	DE LA CARRETERA A NACAUICA HACIA LA COLONIA TIERRA COLORADA	18°1'37.28"N 92°55'36.29"O	
TIERRA COLORADA II	DE LA COLONIA TIERRA COLORADA HACIA LA CARRETERA A NACAUICA	18°1'39.67"N 92°55'11.45"O	

Tabla 2. – Puentes del río Carrizal.

PUENTE	UBICACIÓN	UBICACIÓN EN COORDENADAS	IMAGEN
LA MAJAHUA I	DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOS A HACIA PARRILLA	17°57'12.02"N 92°54'56.10"O	
LA MAJAHUA II	DE PARRILLA HACIA LA CIUDAD DE VILLAHERMOS A	17°57'27.40"N 92°54'51.40"O	

Tabla 3. – Puentes del río Pichucalco.

PUENTE	LUGAR	UBICACIÓN EN COORDENADAS	IMAGEN
GRUJALVA I	DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA HACIA LA CARRETERA FEDERAL	17°59'50.91"N 92°54'43.96"O	
GRUJALVA II	DE LA CARRETERA VILLAHERMOSA-MACUSPANA HACIA LA COLONIA CASA BLANCA	17°58'29.66"N 92°54'53.03"O	
GRUJALVA III	DE LA AV. PASEO TABASCO HACIA LA COLONIA LAS GAVIOTAS	17°58'59.56"N 92°55'15.36"O	
GRUJALVA IV	DEL ARCO NOROESTE HACIA LA COLONIA CASA BLANCA 2DA. SECCION	18°0'24.04"N 92°54'9.75"O	
PUENTE MANUEL PEREZ MERINO	DEL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD HACIA LA COLONIA LAS GAVIOTAS	17°59'9.93"N 92°55'5.16"O	

Tabla 4.- Puentes del río Grijalva.

Recopilación y análisis de información.

Se realizó la recopilación y el análisis de la información topográfica y la hidrométrica, la primera consistió en la topografía y batimetría de cada uno de los ríos; y la hidrométrica consistió en los gastos máximos y mínimos aforados anualmente en la estación González, Porvenir, Gaviotas, Pueblo Nuevo y San Joaquín. (Figura 7).

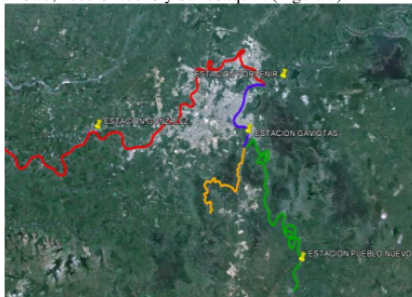


Figura 7.- Ubicación de las estaciones hidrométricas.

El modelo digital de elevación se hizo con la planta topográfica con curvas de nivel a cada 0.5 m, donde se obtuvieron las secciones transversales las cuales sirvieron para elaborar el modelo hidráulico en el programa Hec-Ras, se muestra el esquema de los ríos Carrizal, Grijalva, La Sierra y Pichucalco.

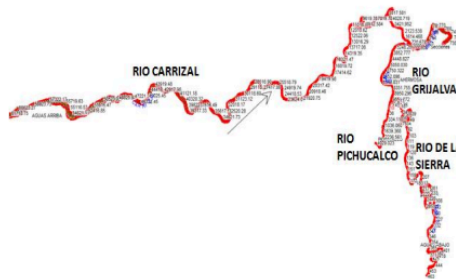


Figura 8.- Esquema del modelo en Hec-Ras.

Análisis de frecuencia

La información hidrométrica se obtuvo de los registros de aforo anuales de los gastos máximos publicados en los boletines de la Comisión Nacional del Agua hasta el 2010, con lo cual se realizó un ajuste de frecuencia para cada gasto correspondiente a las estaciones hidrométricas, por medio del programa AX, como resultado del ajuste se presenta el modelo que mejor correspondía a los datos medidos.

Estación González, con la distribución del método de Gumbel se obtuvieron estos gastos máximos:

Tr (años)	Gasto (m³/s)
1.1	323
2	609
5.0	871
10	1044
20	1210
50	1424
100	1585
200	1746
500	1968
1000	2117
2000	2277

Estación San Joaquín, con la distribución del método de Gumbel se obtuvieron estos gastos máximos:

Tr (años)	Gasto (m³/s)
1.1	290
2	445
5.0	641
10	772
20	896
50	1058
100	1179
200	1300
500	1459
1000	1579
2000	1699

Estación Pueblo Nuevo, con la distribución del método de Doble Gumbel se obtuvieron estos gastos máximos:

Tr (años)	Gasto (m ³ /s)
1.1	684.07
2	808.66
5.0	935.00
10	1010.88
20	1084.40
50	1177.62
100	1246.80
200	1315.58
500	1406.45
1000	1474.95
2000	1534.00

Estación Porvenir, con la distribución del método de Exponencial se obtuvieron estos gastos máximos:

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	1351
5	1818
10	2163
20	2509
50	2965
100	3311
200	3656
500	4113
1000	4458
2000	4804
5000	5260
10000	5606

Estación Gaviotas, con la distribución del método de Normal se obtuvieron estos gastos máximos:

Tr (años)	Gasto (m ³ /s)
2	495.9106
5	1818.00
10	1479.014
20	1854.661
50	2340.898
100	2705.264
500	3547.259
1000	3909.244
5000	4749.35
10000	5111.099

Análisis hidráulico

El modelo unidimensional (Hec-Ras) se construyó a partir de la información de las secciones transversales de los ríos, de acuerdo al análisis de frecuencia donde se determinaron los gastos de entrada al modelo con distribuciones de probabilidad, en la siguiente tabla 2, se muestra el armado de las condiciones de frontera del modelo, considerando las confluencias y bifurcaciones del mismo.

Figura 9.- Condiciones de frontera del modelo.

Este modelo se calibro con los gastos y los niveles de lámina de agua de las estaciones hidrométricas antes mencionadas. (Tabla 5).

ESTACION HIDROMETRICA	GASTO (M ³ /S)	LAMINA DE AGUA (M)
GONZALEZ	841	9.48
PUEBLO NUEVO	935	8.3
PORVENIR	1818	6.2
SAN JOAQUIN	35	25.19
GAVIOTAS	1145	6.78

Tabla 5.- Gastos para la calibración del modelo.

Los gastos de entrada en cada estación hidrométrica son las siguientes para el máximo, de los cuales se determinó utilizar con el Tr=5 años, ya que con este se cumple con la condición de abordó lleno: (Figura 10).

Figura 10.- Gastos de entrada del modelo.

Se genero la modelación de cada puente ubicándolos georeferencialmente en base a los planos obtenidos por la SCT y medidas de campo de los cuales se presenta en la siguiente tabla sus características: (Tabla 6).

SECCION EN HEC RAS	NOMBRE DEL PUENTE	ANCHO (M)	ALTO (M.S.N.M.)	LARGO (M)	PILAS ANCHO (M)	PILA A CADA (M)
43822.27	PUENTE LA ISLA	10	10	130	4 PILAS DE 5	35
17120.26	PUENTE CARRIZAL V II	11.36	15.5	120	2 PILAS DE 5	45
14017.76	PUENTE CARRIZAL III	35	12	90	SOBRE MARGEN	*
12212.93	PUENTE CARRIZAL III	17	12	90	SOBRE MARGEN	*
8319.314	PUENTE RIO CARRIZAL	32	12	140	SOBRE MARGEN	*
6721.3	PUENTE TIERRA COLORADA 1	9	8	105	2 PILAS DE 2.5	35
6016.25	PUENTE TIERRA COLORADA 2	8	8	120	2 PILAS DE 2.5	40
5417.428	PUENTE CARRIZAL VI	22	12	110	SOBRE MARGEN	*
2814.733	PUENTE LA FIGUA	25	15.5	140	2 PILAS DE 2.5	45
36	PUENTE MAIAHUA 1	9.5	12	90	2 PILAS DE 15 EN CAUCE Y 2 EN MARGEN	30
10348.19	PUENTE MAIAHUA 2	10	12	100	SOBRE MARGEN	*
8047.925	PUENTE GRIJALVA II	10	14	100	SOBRE MARGEN	*
6452.096	PUENTE GRIJALVA III	22	12	100	SOBRE MARGEN	*
5750.322	PUENTE MANUEL PEREZ MERINO	6	14	120	2 PILAS DE 10 M. REBONDA DE 5	25
4648.39	PUENTE GRIJALVA I	29.5	14	120	1 PILA EN MEDIO CAUCE DE 10	60
3053.332	PUENTE GRIJALVA IV	20	12	110	SOBRE MARGEN	*

Tabla 6.- Dimensiones de los puentes de los ríos Carrizal, Grijalva y Pichualco.

Resultados

Al transitar estos gastos se obtuvo el perfil de cada río incluyendo los puentes, en las siguientes figuras se muestran la elevación de la lámina de agua y el peralte de los puentes.

En el análisis del río Carrizal, en su perfil, la lámina de agua con respecto al puente Carrizal I y puente La Pigua tiene un peralte de 7.50 m; los puentes de Tierra Colorada I y II, tienen un peralte de 1.20 m; mientras que en los puentes Carrizal II, III, IV y V tienen un peralte de 4.00 m y en el puente La Isla existe una diferencia de 7.00 m, el tirante del río que esta sobre la ciudad de Villahermosa en promedio tiene una profundidad de 7.50 m, mientras que aguas arriba de la capital se encuentra a 4.50 m.

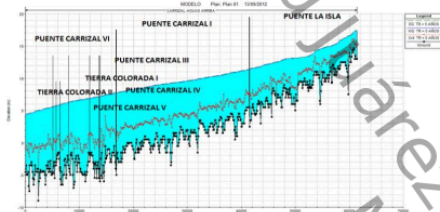


Figura 11. – Perfil del río Carrizal.

En el perfil del río Grijalva la diferencia entre la lámina de agua y en los puentes Grijalva II, III y IV, es un peralte de 7.00 m; mientras en el puente Grijalva I y el puente Manuel Pérez Merino la diferencia es de 8.50 m; el tirante del río que esta aproximadamente a 5.00 m de profundidad.

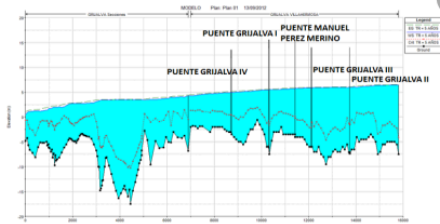


Figura 12. – Perfil del río Grijalva.

En el perfil del río Pichucalco, en los puentes Majahua I y II el peralte es de 5.50 m, existiendo 7.00 m de tirante en el río.

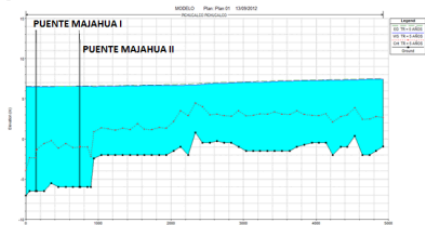


Figura 13. – Perfil del río Pichucalco.

El río de La Sierra fluctúa entre los 6 y 10 m de profundidad, y no cuenta con puentes que atraviesen a este, se encuentran dos cauces de alivio el Censo y Sabanilla que son obras hidráulicas que contempla el PHIT.

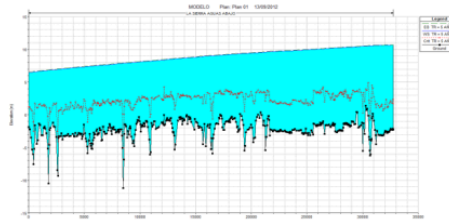


Figura 14. – Perfil del río de La Sierra.

Conclusión

La riqueza hídrica de Villahermosa, Tabasco constituye una alta disponibilidad de agua, teniendo un enorme potencial para el estado y la región sur-sureste, debido a su vital importancia para la subsistencia humana y de los ecosistemas, transporte fluvial, generación de energía, producción de alimentos, e inclusive para el desarrollo turístico. La implementación de políticas públicas que privilegien la conservación y el uso responsable de este recurso, permitirá convertir el agua en un factor estratégico que impulse el desarrollo y la competitividad económica de nuestro estado.

Por lo tanto, se propone las siguientes modificaciones en estas hidro vías: 1) Parques Industriales (Carrizal)-Villahermosa; que el puente Tierra Colorada I y II, se construyan estos puentes con un mayor peralte para que los barcos puedan pasar por debajo de ellos, con embarcaciones de calado mediano; 2) Grijalva-Villahermosa; los puentes en el río Grijalva cuentan con suficiente peralte para pasar debajo de ellos, así como para embarcaciones de 6 a 8 pies de calado; 3) Parrilla (Pichucalco)-Villahermosa, en el río Pichucalco su peralte es de 5.50m por lo tanto una embarcación de mediano calado puede navegar por este río y 4) Pueblo Nuevo (La Sierra)-Villahermosa, este río tiene un calado de 10 m donde puede contemplar embarcaciones de mediano calado y con la ventaja que no cuenta con puentes.

Se requieren hacer estudios: hidráulicos con el análisis del gasto mínimo para la condición de estiaje, aspectos sedimentológicos, inventario de obras hidráulicas como espigones, obras de captación y obstáculos que se encuentren en el río; además de señalización que permitan generar una carta digital de navegación.

Referencias

UNESCO, (2006) "Boletín Semanal del Portal del Agua de la UNESCO No. 130: Hidrovías". Publicado el 3 de febrero de 2006.

SCT, (2010) "Registro de Calados en Puertos Mexicanos". Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Dirección General de Marina Mercante.

HIDROVÍA FLUVIAL EN TABASCO

Ana Karenina Pérez-González, Fabián Rivera-Trejo

DAIA, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán Jalpa de Méndez, Col. La Esmeralda, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México. karenina_11@hotmail.com; jose.rivera@daia.ujat.mx

Introducción

El transporte fluvial es un instrumento integrador de regiones y detonador del desarrollo. Es bien conocido que durante muchos años la región sur-sureste ha compartido un desarrollo desigual con relación al centro y sur de la República Mexicana. Las causas van desde poca infraestructura desarrollada en los corredores industriales, apoyos preferentes, falta de programas concretos que consoliden una cultura empresarial y poco uso e innovación de tecnología de vanguardia. La creación de vías de navegación interiores (hidrovías) ha demostrado ser un instrumento eficaz en el desarrollo de economías y sociedades. Algunos ejemplos son la hidrovía del Orinoco en Venezuela, la hidrovía del Amazonas en Brasil y la hidrovía de la Plata en Argentina. La implementación del tráfico fluvial en estas hidrovías ha creado una nueva generación de puertos fluviales a lo largo de las mismas en Brasil, Argentina y Uruguay y en el corto plazo, se producirá lo mismo en Bolivia y Paraguay. Por otra parte, la Unión Europea (EU) está dando grandes apoyos a este tipo de proyectos e impulso a este tipo de transporte, pues considera que reduce costos e incentiva la creación de empresas y la generación de nuevos empleos. Rescatar la cultura y tradición del agua y promover el transporte fluvial es una acción que parece más que natural para ser aplicada con éxito en el Estado. La manera de atraer inversión y capitales es asegurando excelentes vías de comunicación, rentables, que no involucren grandes costos de construcción, mantenimiento y que ofrezcan alternativas para los distintos tipos de usuarios, desde pequeños, medianos y grandes. En este trabajo se propusieron las vías de navegación fluvial (hidrovías) en el estado de Tabasco que pueden ser funcionales la mayor parte del año y que cumplen con las condiciones de eficiencia, seguridad y adecuada protección del medio ambiente. Se encontró un potencial de 667 km de vías navegables; para embarcaciones mediano calado. La información generada permitirá incluir a las vías navegables como polos de desarrollo en los planes de desarrollo y crecimiento tanto estatales como municipales, además, se piensa será de utilidad para dependencias como la CONAGUA, SEMARNAT y SEDESOL.

Antecedentes

Las grandes civilizaciones del pasado y muchas poblaciones actuales se han desarrollado en zonas aledañas a corrientes naturales. Egipto con el río Nilo y Mesopotamia con los ríos Tigris y Éufrates son ejemplo de ello (González, 1993). El transporte fluvial ha sido parte vital de estos desarrollos, pues permite el traslado de productos o pasajeros de un lugar a otro a través de ríos con una profundidad adecuada. Aunque hace unas décadas el transporte fluvial pasó por un cierto declive, en la actualidad se está intentando habilitar ríos antiguos que fueron importantes en su época para hacerlos navegables. Ejemplo de ríos que siguen siendo importantes vías

comerciales son: el Mississippi con 6,270km de longitud, el Amazonas con 7,020km de longitud, el sistema de los ríos Paraguay y Paraná con 3,440km y que vinculan a Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina. Otros ejemplos son El río Nilo en África con 6,671km que atraviesa Uganda, Sudán y Egipto, desembocando finalmente en el Mediterráneo; el río Danubio en Europa, con una longitud de 2,888km y el río Azul, en Asia, con 6,380km por mencionar a algunos.

La Unión Europea (UE) subraya que la competitividad económica depende en parte de los sistemas de transporte (SCADplus, 2009). Su objetivo es pasar a modos de transporte con menor intensidad energética, más limpios y más seguros. En este sentido, el transporte por vías navegables constituye la respuesta ideal. La navegación interior ha registrado una expansión significativa en los últimos 20 años, además se reconoce que es el modo de transporte más respetuoso del medio ambiente. La UE considera que el incremento de la navegación interior puede suponer una reducción de los gastos de transporte que beneficiaría a la implantación de empresas. Pero, además, este sector da empleo y podrían crearse más puestos de trabajo.

En la mayoría de los países de América del Sur el desarrollo del transporte fluvial es todavía incipiente. Los más adelantados en este campo son Brasil, Argentina y Venezuela que han implementado hidrovías navegables de gran envergadura (CAF, 2008). Muchas de estas rutas fluviales han resultado ejes de desarrollo de las economías regionales de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, consolidando un eje troncal de integración regional, como se muestra en la figura 1.



Figura 1.- Proyecto de integración fluvial de los países andinos.

Una comparativa de las ventajas del transporte fluvial contra el transporte terrestre y por ferrocarril se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. - Parámetros de eficiencia comparativa entre diferentes modos de transporte.

ELEMENTO DE COMPARACION	FLUVIAL	FERROCARRIL	CAMION
Toneladas por km desplazadas por 1 HP de fuerza	5 ^o	0.5 – 1	0.15-0.20
Índice de variación de consumo de combustible	100	300	500-700
Vehículos necesarios para transportar 26,000 toneladas	1 convoy	13 trenes	650 camiones
Índice de variación de cantidad de material necesario para construir un vehículo	100	270	155
Índice de variación de la vida de servicio de los vehículos	100	60	20
Índice de variación de accidentes fatales	100	175	4463
Índice de variación de contaminación del aire	100	177-199	330
Índice de variación de contaminación del agua	100	100	540
Índice de variación de contaminación acústica	100	900	200
Índice de variación de tripulación para operar un vehículo	100	500	Mucho mayor
Índice de variación de costes del transporte	100	150-500	Mucho mayor

Como se aprecia en la tabla anterior el transporte fluvial resulta ser el modo de transporte con mayor capacidad para transporte de mercancías, el menor consumo de combustible, el que menos contaminación genera al medio ambiente, por lo tanto el más factible y mejores beneficios que el ferrocarril y el camión.

En México, existen diferentes regiones en donde por sus características físicas e hidrográficas se podría contar con navegación interior, por ejemplo el proyecto del canal intracostero del Golfo, que iría desde la laguna de Términos en Campeche, hasta el río Bravo en Tamaulipas, para conectarse con el canal intracostero de los EUA, otra zona importante sería el sistema fluvial del estado de Tabasco, incluyendo parte de Campeche y Chiapas, donde tendrían vías existentes, donde algunos tramos han sido navegables desde hace siglos (Delgadillo, 1981).

Tabasco es la entidad de la República que presenta un mayor escurrimiento de agua a lo largo del año, la red hidrológica de esta región es la más compleja del país, caracterizándose por entramados sinuosos de corrientes superficiales y una gran densidad de cuerpos de agua al estar constituido por una

amplia planicie costera, en el que escurren las corrientes provenientes del sur del territorio, particularmente del estado de Chiapas y de Guatemala. Dentro de los cuerpos de agua que forman la red hidrológica de Tabasco, se encuentran dos de los ríos con mayor caudal en la república mexicana, el Grijalva y el Usumacinta, que forman una de las regiones hidrológicas más extensas de México (11, 550, 700 ha) y la séptima más grande del mundo con una carga anual aproximada de 105,000 millones de m³ de agua (Velázquez, 1994). Durante el periodo denominado Posclásico, el sitio costero más importante era Potonchán. Esta ciudad fue la capital de la provincia de Tabasco, y se localizaba sobre la margen oeste del río Grijalva. Cortés (1963) y Díaz (1970) la describieron como un gran puerto marítimo que comerciaba con productos provenientes de muchos lugares a lo largo y ancho de Mesoamérica. Por otra parte Andrews (1998) consideró a los mayas como los "fenicios de Mesoamérica", afirmación que tiene mucho de cierta, ya que las investigaciones realizadas en los últimos 20 años han revelado una compleja estructura asociada al comercio y la navegación, tanto marítima como fluvial. Andrews afirmó que el río Grijalva debió de ser uno de los ríos más importantes a través del cual se transportaba gran parte del volumen de comercio maya. Por ello es natural pensar la importancia del área de Frontera como puerto y enclave comercial, debió de haber sido crucial y vital para la red de comercio que se distribuía a lo largo del área maya (Figura 2).



Figura 2.- Mapa de las rutas de comercio marítimo en el área maya para la época de la Conquista.

Así, el estado de Tabasco mantuvo desde la época colonial hasta mediados del presente siglo, una estructura económica con base en la agricultura de exportación, teniendo como actividades principales las producciones platanera y cacaoatera. Hasta la década de los cuarentas toda la infraestructura y organización territorial reflejaba las condiciones que se requerían para dicha actividad, la comunicación fluvial y terrestre que conectaba las zonas de producción se canalizaba fundamentalmente al puerto exportador de Frontera. En la década de los cuarentas con la crisis de la producción platanera debida a inundación de la hoya de la Chontalpa se produjo un estancamiento en el crecimiento de las grandes ciudades; además, de una modificación sustancial a las vías navegables (Balcázar, 2003). Por sus caudalosos ríos se realizaba el tráfico fluvial de cayucos, canoas, vapores de regular tamaño en un movimiento que convergía en Villahermosa por ser, como capital del estado, el centro

administrativo y comercial más importante de la región. Desde el punto de vista comercial seguía en importancia el puerto de Frontera que constituía la puerta que comunicaba todo el estado de Tabasco y el norte de Chiapas con el resto de la república y el extranjero. En las márgenes de los ríos se encontraban construidas las principales poblaciones y casi todas las fincas de campo, haciendas, rancherías, etc. y se exportaban los variados productos de esas riquísimas tierras y también por esos ríos se hacían todas las importaciones y en general el comercio entre poblaciones y haciendas (Figura 3).



Figura 3.- En la época que los ríos constituían la principal arteria comercial que llegaban a Villahermosa.

Según Balcázar (2003) dijo que en Tabasco existían casi 2,000 kilómetros de ríos navegables, sin interrupción, por lo que resulta natural que en esta región haya impulsado la navegación fluvial, que en principio se hacía exclusivamente con las embarcaciones primitivas impulsadas a remos, llamados cayucos, canoas o bingos, etc.

Desde sus orígenes, Tabasco ha sido una entidad eminentemente fluvial, los barcos constituían hasta mediados de los años 50, el principal medio de transporte, tanto dentro del Estado, como para comunicarse con Chiapas, Veracruz, Campeche y Yucatán. A mediados del siglo XIX comenzaron a surcar los ríos tabasqueños vapores con propulsores de rueda o hélices y hacia 1906, navegaban por los ríos de Tabasco unos 26 vapores de diverso tonelaje que hacían el tráfico estrictamente fluvial por los ríos tabasqueños.

Los vapores que surcaron estos ríos eran de dos tamaños: i) los que medían cinco pies de calado como máximo y alcanzaba una velocidad de marcha de ocho nudos por hora, estos vapores que eran los más grandes que tenían capacidad para veinte pasajeros en primera clase y veinticinco en segunda, y cuando menos veinticinco toneladas de carga (Figura 4); ii) los vapores medianos de un calado no inferior a las nueve pulgadas, alcanzaba una velocidad de seis nudos por hora y tenían capacidad para ocho pasajeros y quince toneladas de carga cuando menos, Figura 5 (Balcázar, 1994).



Figura 4.- El vapor "Palacio Sánchez Marmol", inaugurado el 5 de junio de 1902 por la Tabasco-Chiapas Trading Transportation.



Figura 5.- Vapores medianos.

El tráfico fluvial de los ríos de Tabasco era de San Juan Bautista hacia la región llamada de los Ríos, mientras que en otros viajaban desde San Juan Bautista hacia el puerto de Frontera o por el río Palizada hasta Isla del Carmen y efectuaban viajes permanentes a los estados vecinos de Chiapas y Campeche. Conforme daba conclusión el siglo XIX y entraban los años del siglo XX el movimiento de barcos en este puerto fue en ascenso. El auge comercial en los lugares apuntados y luego la integración de Tabasco como región bananera al mercado norteamericano hicieron de Frontera un puerto importante en el Golfo y una puerta vital para la vida económica y social de la entidad. La importancia que tuvo la transportación fluvial en la economía tabasqueña fue considerable, ya que contribuyó notablemente al impulso del comercio tanto interno como externo de la entidad cuya principal actividad desde la época prehispánica fue la agricultura, principalmente el cultivo del cacao, que continuó cultivándose durante la época colonial para exportación, igual que el palo de tinte, el café, la pimienta, y otros productos, mientras que la agricultura de subsistencia se basaba en el cultivo de alimentos básicos como maíz, frijol, calabaza, yuca y otros productos que, complementados con la pesca y la crianza de animales de patio, permitían subsistir al indígena y al campesino tabasqueño.

Al iniciarse la segunda década del presente siglo, el Puerto de Frontera tenía un gran movimiento de embarcaciones nacionales y extranjeras. Además los vapores que traficaban permanentemente los ríos de Tabasco, llegaban a este puerto un promedio mensual de 34 embarcaciones nacionales y extranjeras. Un promedio de 25 de vapores nacionales y extranjeros del Atlántico, ya fuese de un puerto del Golfo de México, o desde Boston, New York, Filadelfia, Baltimore y

sobre todo de New Orleans y Galveston. En 1913 y 1914, llegaban a Frontera vapores alemanes, ingleses, norteamericanos, daneses, cubanos y noruegos (Balcázar, 2003). En las siguientes tablas se muestran los vapores que arribaban al Puerto de Frontera en 1913 – 1914.

Tabla 2.- Vapores noruegos.

Nombre del Barco	Peso TON.
Burstad	960
Comodoro Rollings	1,566
Vicendio di Giorgio	1,611
Livingstone	1,004
Raum	1,245
Antares	1,840
Agüella	940
Habana	891
Colombia	851

Tabla 3.- Vapores mexicanos.

Nombre de barco	Peso TON.
Sonora	1,650
Tabasco	1,298
Tamaulipas	1,298
Tehuantepec	844
Yucatán	781
Campeche	355
San Cristóbal	2,159
Frontera	394

Conforme entró el siglo XX, y creció el movimiento de los barcos en el Golfo y en el Atlántico, el mayor obstáculo que tenía el Estado para realizar su tráfico con el exterior era la poca profundidad de la Barra de Frontera y su azolvamiento permanente (Balcázar, 2003) problema que a la fecha sigue latente. Con la inauguración del Ferrocarril del Sureste, la carretera del Golfo la incorporación de nuevas tierras a la producción y la explotación de yacimientos de petróleo y gas natural, en el decenio de 1950 – 1960, se dio por terminada la época de oro de la navegación fluvial en Tabasco (Velásquez, 1994).

En la siguiente figura, se muestra las rutas navegables en el estado de Tabasco en el año de 1901, clasificándose en grandes y pequeños vapores y canoas, como se ve en la siguiente figura 6. (Balcázar, 2003).



Figura 6.- Rutas de canales de navegación en 1901.

El tráfico fluvial dentro del estado y que comunicaba a San Juan Bautista (centro comercial más importante en el estado), con el Puerto de Frontera, así como las demás cabeceras municipales, poblados y rancherías ubicados en las márgenes

de los ríos, se aprecia en el siguiente cuadro las distancias existentes desde San Juan Bautista.

Tabla 4.- Ríos que comunicaban a la capital.

De San Juan Bautista	Ríos	Kms.
A Frontera	Grijalva	96
A Jonuta	Grijalva	160
A Montecristo	Grijalva	234
A Balancán	Grijalva	284
A Tenosique	Grijalva	400
A Macuspana	Grijalva	200
A Tacotalpa	Grijalva	71
A Jalapa	Grijalva	53
De San Juan Bautista a Ermita (a 9km. De Teapa)	Grijalva	64
Paso de Cárdenas (a 6km. De Cárdenas)	Grijalva	90
Huimanguillo	Grijalva	2 González Canal
Paraíso	Laguna de Mecoaacán, brazo del Bellote y Río Seco	112

Metodología

Se realizó una investigación documental exhaustiva, referente a las rutas fluviales que han existido en el estado de Tabasco y el tipo de embarcaciones que pueden circular, se digitalizó las rutas fluviales identificadas, utilizando imágenes satelitales provenientes del software libre Google Earth (2010) y la herramienta medir para conocer la longitud de los ríos. Se generó una propuesta de rutas navegables en la actualidad y el diagnóstico del potencial del transporte fluvial en la región.

Selección de rutas

Se analizaron las condiciones actuales que tienen las rutas fluviales identificadas y se emitieron observaciones. En la selección de las dimensiones reales para los cauces, aunque esto debe realizarse mediante el análisis cuantitativo de los siguientes factores: a) Anchos y tirantes naturales de los ríos correspondientes a las rutas bajo condiciones existentes; b) Anchos y tirantes que se esperan en condiciones modificadas y la rectificación de los ríos; c) Las variaciones del azolvamiento que se esperan si los tirantes excavados exceden los tirantes estables en los ríos existentes, modificados o rectificadas; d) Identificación de tipos o cantidades estimadas de las clases de carga proyectadas para moverse en diferentes secciones de los canales de navegación y e) Estimación del tipo de barcazas y otras embarcaciones que serían usadas para mover las cargas identificadas, en este trabajo se realizó como primer instancia, el análisis exclusivamente a partir de los anchos medios como se muestra en la figura 7.

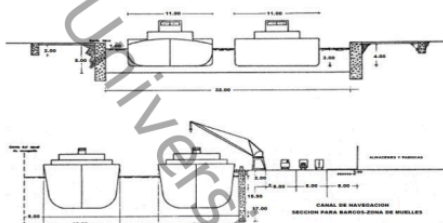


Figura 7.- Secciones transversales de los canales para navegación.

Propuesta de rutas fluviales

Se actualizaron y propusieron las rutas fluviales que pueden tener un potencial de aplicación en el Estado y se generó un mapa digital, ubicando cuatro rutas de navegación para un calado mediano de barcazas.

Resultados**Propuesta: Hidrovía Fluvial de Tabasco**

Tabasco tiene un potencial aproximado de 667 km de vías navegables, con cuatro posibles rutas que llevan a los principales destinos de Tabasco (Figura 8) siendo estas:

- (1) Frontera – Villahermosa (Entrada a la capital de Tabasco);
- (2) Frontera – Tenosique (Puerta de entrada a Mesoamérica);
- (3) Dos Bocas – Huimanguillo (Entrada puerto de altura);
- (4) Villahermosa – Samaria.



Figura 8. Rutas alternativas de navegación fluvial.

Ruta 1: Frontera – Villahermosa (Entrada a la capital de Tabasco)

Cruzaría al río Grijalva desde Villahermosa hasta el área del puerto de Frontera, esta ha sido la ruta histórica para embarcaciones de poco calado que se mueven entre Frontera y Villahermosa, y por muchas décadas fue la única vía de comunicación hacia el área de Villahermosa. Tiene una longitud de navegabilidad de 110.39 km. Partiendo de Frontera a Tres Brazos una distancia de 25.4 km. y de Tres Brazos a Villahermosa a la altura del malecón es de 84.99 km. Las profundidades del río varían de 8 a 10m de Tres Bocas a Frontera. Los aforos efectuados en el 2000 del Grijalva, realizados por la Secretaría de Marina, señalan un gasto mínimo de 1,200 m³/s de febrero a abril y 5,000 en

septiembre y octubre. Se muestra en la tabla 5, los calados del puerto (SCT, 2010).

Tabla 5.- Calado del puerto de Frontera, Tabasco.

UBICACIÓN	CALADO PIES	CALADO MTS
Canal de navegación Río Grijalva	25'00"	7.62
Canal de acceso al puerto	11'05"	3.50

Ruta 2: Frontera – Tenosique (Puerta de entrada a Mesoamérica)

Las posibilidades de navegación fluvial a lo largo del río Usumacinta pueden ser analizadas por tres tramos con características diferentes y bien definidas, en la tabla 6 se muestran las distancias medias de esta ruta:

Tabla 6.- Distancias características Bajo Usumacinta.

Tres Brazos-Tenosique	313 km
Tres Brazos-Boca del Cerro	325 km
Barra de Frontera-ciudad y puerto de Frontera	7 km
Ciudad y puerto de Frontera-Tres Brazos	12 km
Villahermosa-Tres Brazos	84 km
Villahermosa-Tenosique	397 km
Villahermosa-Boca del Cerro	409 km

Los niveles en el río llegan a fluctuar en alrededor de 10 m entre el caudal de estiaje y el de crecientes, sin embargo, embarcaciones de 6-8 pies de calado pueden navegar sin obstáculos.

Ruta 3: Dos Bocas – Huimanguillo (Entrada por el puerto de altura)

La ruta lleva de Dos Bocas pasando por el río González con longitud de 36.33 km, luego por el dren Victoria de 3.73 km, El Pastal 9.45km, Dren Piloto de 36.36km, Samaria 7.63 km, Mezcalapa 19.24 km llegando a Huimanguillo.

Tabla 7. Dos Bocas, Tabasco.

UBICACIÓN	CALADO EN PIES	CALADO EN METROS
Terminal de abastecimiento de Pemex	18'00"	5.48
Terminal de usos múltiples A.P.I.	29'06"	8.85

Ruta 4: Villahermosa – Samaria

La ruta sería por el río Carrizal con una longitud de 60.00 km partiendo de Villahermosa (Cd. Industrial) y llegando al río Samaria. El río Carrizal presenta poca profundidad por lo tanto se propone la navegación de calado mediano y obras de mantenimiento como el dragado ya que en época de estiaje se producen azolvamientos que reducen el área hidráulica del cauce.

Tipos de embarcaciones

Se definió el tipo de canal de navegación para el área costera de Tabasco: a) Canales poco profundos para barcazas.

Este tipo de canales cuenta con las siguientes características:

Los anchos de los canales para que circulen dos filas de barcazas de 11 metros de ancho, será de 32 m, los tirantes inicialmente no deben ser menores de 2.8m, se propone un canal de 4m de profundidad media. Estos anchos y tirantes son apropiados para embarcaciones pequeñas con calados de 2 a 3 m, las cuales son las más recomendables para usar en este tipo de navegación.

Conclusión

Se exploró el potencial de la transportación fluvial en Tabasco y se propuso la Hidrovía Fluvial, con un potencial estimado en 667 Km de vías navegables con 4 rutas principales, Frontera-Villahermosa, Frontera-Tenosique, Villahermosa-Samaria, Dos Bocas-Huimanguillo.

Con las siguientes ventajas: a) Transporte de grandes volúmenes de mercancía a bajo costo, b) Conexión de un puerto marítimo con centros industriales y poblaciones, c) aprovechamiento de los cauces naturales con costos de construcción y mantenimiento bajos, d) utilización como vía navegable con fines turísticos y de recreación, e) rescate de la cultura y tradición del agua del Estado. La manera de atraer inversión y capitales es asegurando excelentes vías de comunicación, rentables, que no involucren grandes costos de construcción, mantenimiento y que ofrezcan alternativas para los distintos tipos de usuarios, desde pequeños, medianos y grandes.

Dado que algunos de los ríos de la zona baja de la planicie han sufrido cambios radicales en su régimen de escurrimiento, se ha propiciado depósitos de azolves antes inexistentes, disminuyéndose con ello tanto el área hidráulica de los cauces, por lo cual se tendría que implementar una vigorosa campaña de desazolve, limpieza y corrección de éstos para realizar de forma efectiva y segura este transporte.

Se requieren hacer estudios: de aspectos hidráulicos, batimétricos, sedimentológicos, inventario de obras hidráulicas y señalización que permitan generar una carta digital de navegación.

Para un estado como Tabasco que ha carecido de una industria importante, mantener abierta y expedita la Barra de Frontera, no sólo para exportar sus productos sino para permitir la entrada de los bienes manufacturados de consumo y de capital que en su mayoría no se producen y que tendrían que comprarse fuera del estado. Además de vías navegables que sirvan a la comercialización debido a la disponibilidad de agua, la extensión de la red fluvial, permiten que la economía de la región alrededor de Villahermosa se vea favorecida si existiera dentro de ella un sistema de transporte integrado por hidrovías que acceden el traslado de grandes volúmenes de mercancía en una barcaza a través de un río, los costos de acarreo por tonelada-kilómetro serían menores a los de un ferrocarril y camión. En este trabajo se propusieron las vías de navegación fluvial (hidrovías) en el estado de Tabasco que pueden ser funcionales la mayor parte del año y que cumplen con las condiciones de eficiencia, seguridad y adecuada protección del medio ambiente. La información generada permitirá incluir a las vías navegables como polos de desarrollo en los planes de desarrollo y crecimiento tanto estatales como municipales, además, se piensa será de utilidad para dependencias como la CONAGUA, SEMARNAT y SEDESOL.

Referencias

Andrews, Anthony, (1998), "El Comercio Marítimo de los Mayas del Posclásico, La Navegación entre los Mayas. *Arqueología Mexicana*". VI (33) pp.16-23. México: Editorial Raíces-CONACULTA.

Balcázar Elías, Antonio, (2003), "Tabasco en sepia. *Economía y Sociedad 1880-1940*", Los caminos y las vías de comunicación fluviales. Importancia del Puerto de Frontera. II: pp.71-90. México: Editorial Estrategia Integral de Comunicación S.A. de C.V. UJAT.

CAF, (1998) "Los ríos no unen, integración Fluvial *Suramericana*", cfr. pp. 40.

Cortés, Hernán, (1963) "Cartas de Relación", 7ª ed., México: Porrúa.

Chávez Jiménez, Ulises, (2005) "Potonchán y Santa María de La Victoria: una propuesta geomorfológico/arqueológica a un problema histórico" pp.117-120. ENAH-University of Calgary.

Díaz del Castillo, Bernal, (1970) "Historia verdadera de la conquista de la Nueva España". México: Porrúa.

Delgadillo Reynoso Pablo A, (1981) "Proyecto Cauce de Alivio Samaria - Golfo de México" Posibles vías de navegación en el estado de Tabasco", pp.c-23-c-35. México: Editorial UJAT.

González, Pedro A., Los Ríos de Tabasco, Consejo Editorial del estado de Tabasco, México, 1981. p.114.

SCADplus, (2009)
<http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/124450.htm> 30/03/2009.

Torres Vera, Trinidad, (2000) "Historia gráfica de Tabasco" AHA. pp.71 - 93. México: Archivo General de la Nación.

Velásquez Villegas, Germán, (2001) "Las inundaciones en Tabasco. Ensayo monográfico" La ruta Maya y la navegación fluvial sobre el río Usumacinta, sus ramificaciones y sus formadores, pp.142-145. México: Editorial UJAT.

Velásquez Villegas, Germán, (1994) "Los recursos hidráulicos del estado de Tabasco, Ensayo Monográfico" pp.-27. México, UJAT.

West, Robert, N. P. Psuty y B. G. Tom, (1969) "The Tabasco Lowlands of Southeastern México" Baton Rouge: Louisiana State University Press.

SCT, (2010) "Registro de Calados en Puertos Mexicanos". Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Dirección General de Marina Mercante. pp.21.

HIDROVÍA FLUVIAL. CASO: VILLAHERMOSA, TABASCO

ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	transparencia.tabasco.gob.mx Internet	380 words — 1%
2	creativecommons.org Internet	312 words — 1%
3	sep.gob.mx Internet	260 words — 1%
4	culturatabasco.gob.mx Internet	238 words — 1%
5	rehip.unr.edu.ar Internet	216 words — 1%
6	www.slideshare.net Internet	193 words — 1%
7	mexicoxport.com Internet	124 words — < 1%
8	ww1.gaceta.udg.mx Internet	100 words — < 1%
9	vdocuments.net Internet	98 words — < 1%
10	www.skyscrapercity.com Internet	77 words — < 1%
11	userway.com Internet	72 words — < 1%
12	aplicativos.sanpedro.gob.mx Internet	70 words — < 1%

13	Internet	69 words — < 1%
14	webworld.unesco.org Internet	66 words — < 1%
15	doaj.org Internet	63 words — < 1%
16	www.granadacollection.org Internet	55 words — < 1%
17	es-academic.com Internet	51 words — < 1%
18	catarina.udlap.mx Internet	48 words — < 1%
19	cd.dgb.uanl.mx Internet	48 words — < 1%
20	transportesxxi.com Internet	45 words — < 1%
21	www1.hcdn.gov.ar Internet	45 words — < 1%
22	es.scribd.com Internet	34 words — < 1%
23	kipdf.com Internet	32 words — < 1%
24	docslide.us Internet	26 words — < 1%
25	prezi.com Internet	22 words — < 1%
26	www.rumbonuevo.com.mx Internet	22 words — < 1%
27	ia600903.us.archive.org Internet	20 words — < 1%

28	www.oas.org Internet	19 words — < 1 %
29	www.scielo.org.mx Internet	18 words — < 1 %
30	www.recursoyenergia.gob.ec Internet	15 words — < 1 %
31	Fabián Rivera-Trejo, Ayuxi Hernández-Cruz. "Protección marginal con espigones, simulación numérica 1D", Tecnología y ciencias del agua, 2020 Crossref	14 words — < 1 %
32	repositorio.espe.edu.ec Internet	13 words — < 1 %
33	www.leliana.es Internet	13 words — < 1 %
34	archive.org Internet	12 words — < 1 %
35	ri.ujat.mx Internet	12 words — < 1 %
36	vlex.com.mx Internet	12 words — < 1 %
37	Francisco Javier Sánchez Romero. "Criterios de seguridad en balsas de tierra para riego", Universitat Politecnica de Valencia, 2014 Crossref Posted Content	10 words — < 1 %
38	ambiental.unam.mx Internet	10 words — < 1 %
39	bibliotecavirtual.aragon.es Internet	10 words — < 1 %
40	fronterarojovivo.blogspot.com Internet	10 words — < 1 %
41	repositorio.uap.edu.pe Internet	10 words — < 1 %

42 www.coursehero.com
Internet

10 words — < 1%

43 www.pensamientopenal.com.ar
Internet

10 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 10 WORDS