

# Acciones complementarias del Plan Hídrico Integral de Tabasco

(CONTRATO SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01)

## Informe Final

**Director Ejecutivo**

Fernando J. González Villarreal\*

**Coordinador General**

Juan Javier Carrillo Sosa\*\*

**Subtema: ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA  
DE LA PRESA PEÑITASHASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE  
MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)**

Juan Javier Carrillo Sosa\*\*

Gabriela Gutiérrez Aviña \*\*\*\*

**Elaborado para:  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**

\* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

\*\* Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM

\*\*\* Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM

\*\*\*\* Consultor externo

2012

VF

## INTRODUCCIÓN

No siempre las inundaciones que se registran en Tabasco provienen del mismo sitio, eso depende del lugar de la cuenca donde caen las lluvias. En 1999, por ejemplo, las grandes crecidas ocurrieron en el alto Grijalva, en el 2007 fueron los ríos de la Sierra los que se desbordaron y algo tuvo que ver también el manejo de la presa Peñitas, en el 2008 fue el río Usumacinta el que se salió de su cauce, en el 2009 la inundación se produjo por causa del río Tonalá y en el 2011 de nueva cuenta el río Usumacinta rebasó su nivel crítico.

Rara vez en el estado de Tabasco las inundaciones han sido provocadas por un huracán; en la mayoría de los casos son las tormentas tropicales las que precipitan la humedad que hay en la atmósfera y entonces cae mucha agua en muy poco tiempo; si esto además coincide con trenes de lluvias, es decir una lluvia tras de otra, entonces ocurren calamidades como la de finales de octubre y principios de noviembre de 2007 porque el suelo se satura, los ríos se desbordan, las presas se llenan y las lagunas de regulación también rebasan su capacidad. La situación que imperó en el estado de Tabasco en los meses de octubre y noviembre de 2007, se debió a una conjunción de fenómenos hidrometeorológicos que iniciaron con el frente frío número 4 y se combinaron con una zona de inestabilidad atmosférica que produjo lluvias extremas desde el 23 de octubre, intensificándose el día 28 con vientos del norte que alcanzaron los 80 kilómetros por hora y rachas de hasta 100 kilómetros por hora sobre las costas tabasqueñas.

## OBJETIVO

Integrar un modelo de simulación de flujo completo del sistema Mezcalapa- Carrizal

## ALCANCE

Integrar en un solo modelo de simulación de flujo en ríos y llanuras, el funcionamiento del río Mezcalapa, desde la descarga de la presa Peñitas hasta la bifurcación, ahí considerar la derivación por el río Carrizal y continuar la simulación del flujo por el río Samaria, hasta su descarga en el Golfo. Se usarán los datos de avenidas del 2011.

## METODOLOGÍA

La primera parte del estudio se enfoca en la recopilación de información hidrométrica a partir del año 2007 hasta el año 2011. Esta base de datos está compuesta por información proveniente de las estaciones hidrométricas ubicadas en el estado de Tabasco las cuales están operadas por la CONAGUA, en el caso de la estación hidrométrica Samaria, sin embargo para el caso de la información de la Presa Peñitas esta fue proporcionada por CFE.

La segunda parte del estudio se refiere a la esquematización unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria dentro del software SWMM v.5.0, donde se ingresaron principalmente datos de secciones transversales, configurando los cauces principales del río Mezcalapa y río Samaria.

La tercera parte del estudio corresponde a la simulación del flujo en condiciones del año 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011. Finalmente la cuarta parte del informe incluye el análisis de periodos de retorno para la zona en estudio.

## ZONA DE ESTUDIO

El sistema Mezcalapa-Samaria se ubica dentro de la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta; dicho sistema nace a la salida de la presa Ángel Arbino Corzo (Peñitas) como el río Mezcalapa, aguas abajo se incorpora el afluente del río Platanar, y llegando a la bifurcación se divide en el río Carrizal y Samaria, este último desemboca al mar por el Golfo de México.



Estado  
Tabasco

Coordenadas geográficas extremas  
18° 39' al norte 17° 15' al sur de latitud  
norte, y entre los meridianos 91° 00' y  
94° 07' al oeste de longitud oeste.

Total de municipios  
17

Población total (censo 2010)  
2,238,603 habitantes



Imagen del estado de Tabasco donde se muestra las subcuencas que integran el sistema Mezcalapa-Samaria. (FUENTE: World Imagery, google maps en global mapper)

El sistema será modelado en el software Storm Water Management Model (SWMM) en su versión 5.0; dicho software fue creado por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA-EUA)

## a PREPARACIÓN DE ARCHIVOS DE DATOS

La preparación de datos para la simulación del sistema Peñitas-Mezcalapa-Samaria constó de dos partes: la primera fue la **recopilación de información topográfica** donde se tienen un total de 22 secciones transversales y con las cuales se armó el esquema unifilar en el SWMM v.5.0. La segunda parte consta en **recopilar la información hidrométrica (gastos y niveles)** en los puntos de interés, tales como: la descarga en la presa Peñitas, gastos y niveles sobre los ríos Platanar y Comuapa, así como datos de nivel en la estructura Macayo y estación hidrométrica Samaria.

### INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

Se realizó la recopilación de información topográfica de las secciones transversales disponibles del cauce y se utilizan en el cálculo del flujo unidimensional por medio de la resolución de las ecuaciones de Saint-Venant, con el software SWMM v.5.0.

Es información está dividida a su vez en tres partes; la primera será la parte central del esquema (Bifurcación a la localidad de Oxiacaque), la segunda parte será aguas abajo de la localidad de Oxiacaque y hasta su desembocadura al Golfo de México y la tercera será de la descarga de la presa Peñitas y hasta la bifurcación.

Cabe señalar que la información topográfica empleada fue extraída de estudios anteriores realizados por el Instituto de Ingeniería, como son:

- *Bifurcación-Oxiacaque* se consultó el estudio Plan Hídrico Integral de Tabasco dentro del cual se inscribe la Ejecución del Plan de Acción Urgente (PAU) y la Formulación del Plan de Acción Inmediata (PAI), para la Rehabilitación de la Infraestructura Dañada por las Lluvias Atípicas de los Días 28 y 29 de Octubre del 2007, Capítulo 5-Asesoría hidráulica en la restitución de bordos y análisis de la estructura de control sobre el río Carrizal.
- *Oxiacaque-descarga golfo de México* se consultó el estudio Plan Hídrico Integral de Tabasco, Tercera etapa; Capítulo 3 Drenaje superficial aguas abajo del río Samaria.
- *Peñitas a la Bifurcación* se consultó el Estudio en modelo matemático del fenómeno de arrastre del río Mezcalapa-Samaria, año 1990.

### Bifurcación-Oxiacaque

En la figura 3.a.1 se muestra el plano llave que ubica a las 26 secciones transversales que han sido utilizadas para el análisis del Río Samaria en la presente aplicación. En las figuras 3.a.2 a 3.a.4 se muestran diversas secciones transversales del río Samaria, proporcionadas por CFE, y que datan del año 2000.

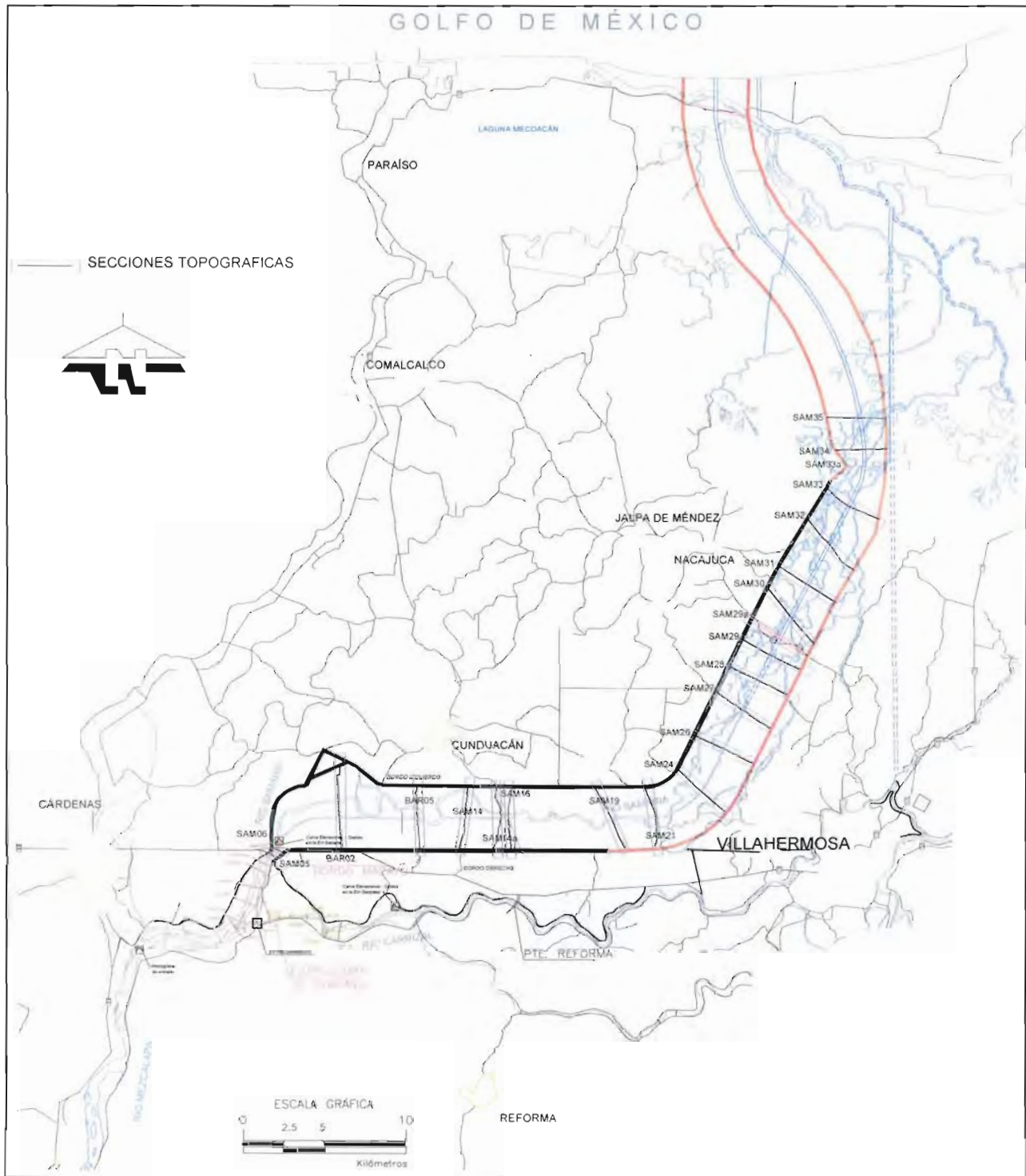


Figura 3.a. 1 Ubicación, en planta, de las 26 secciones transversales analizadas

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITASHASTA LA DESEMBOLCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)

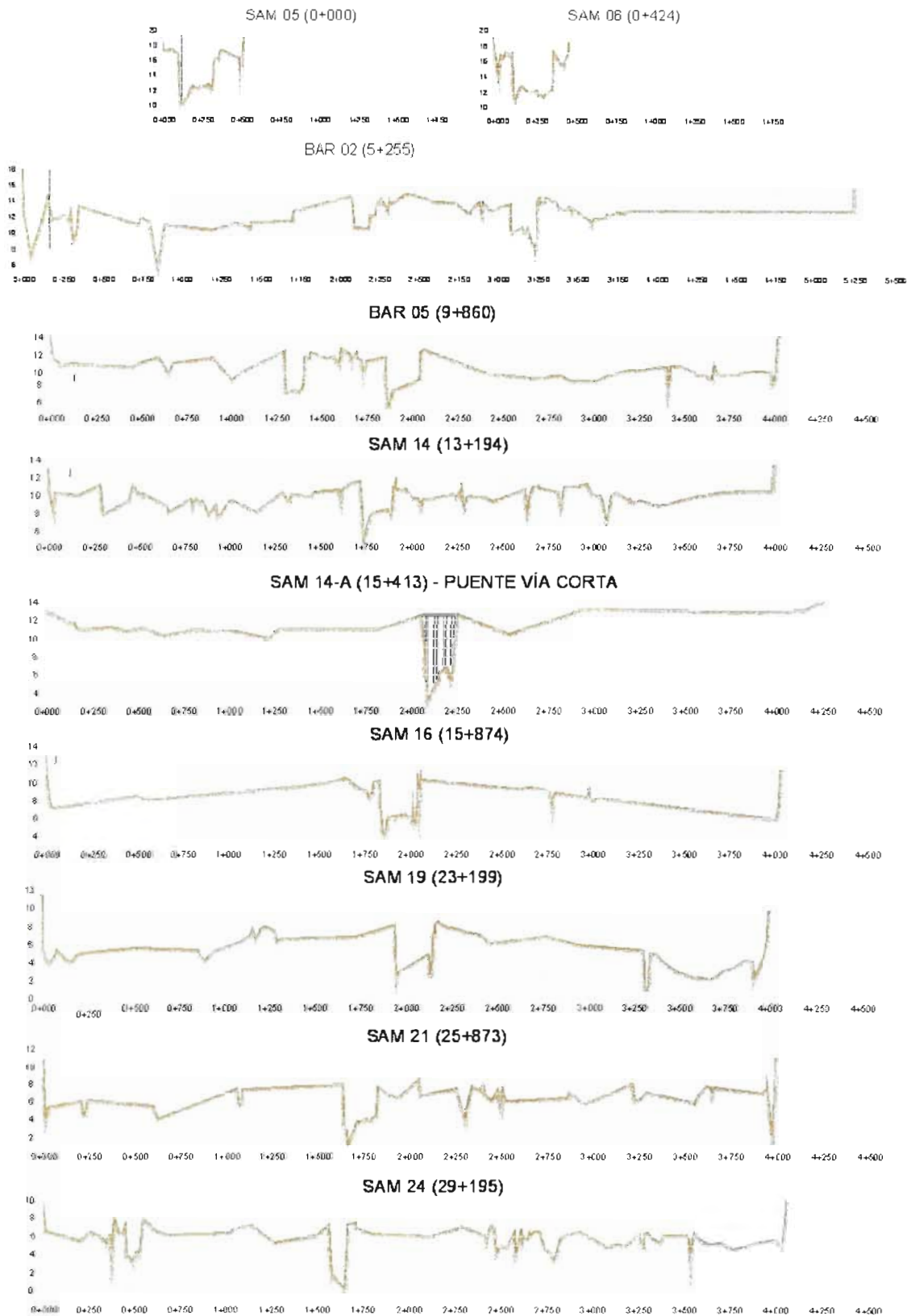


Figura 3.a.2 Secciones transversales analizadas del Río Samaria, I parte

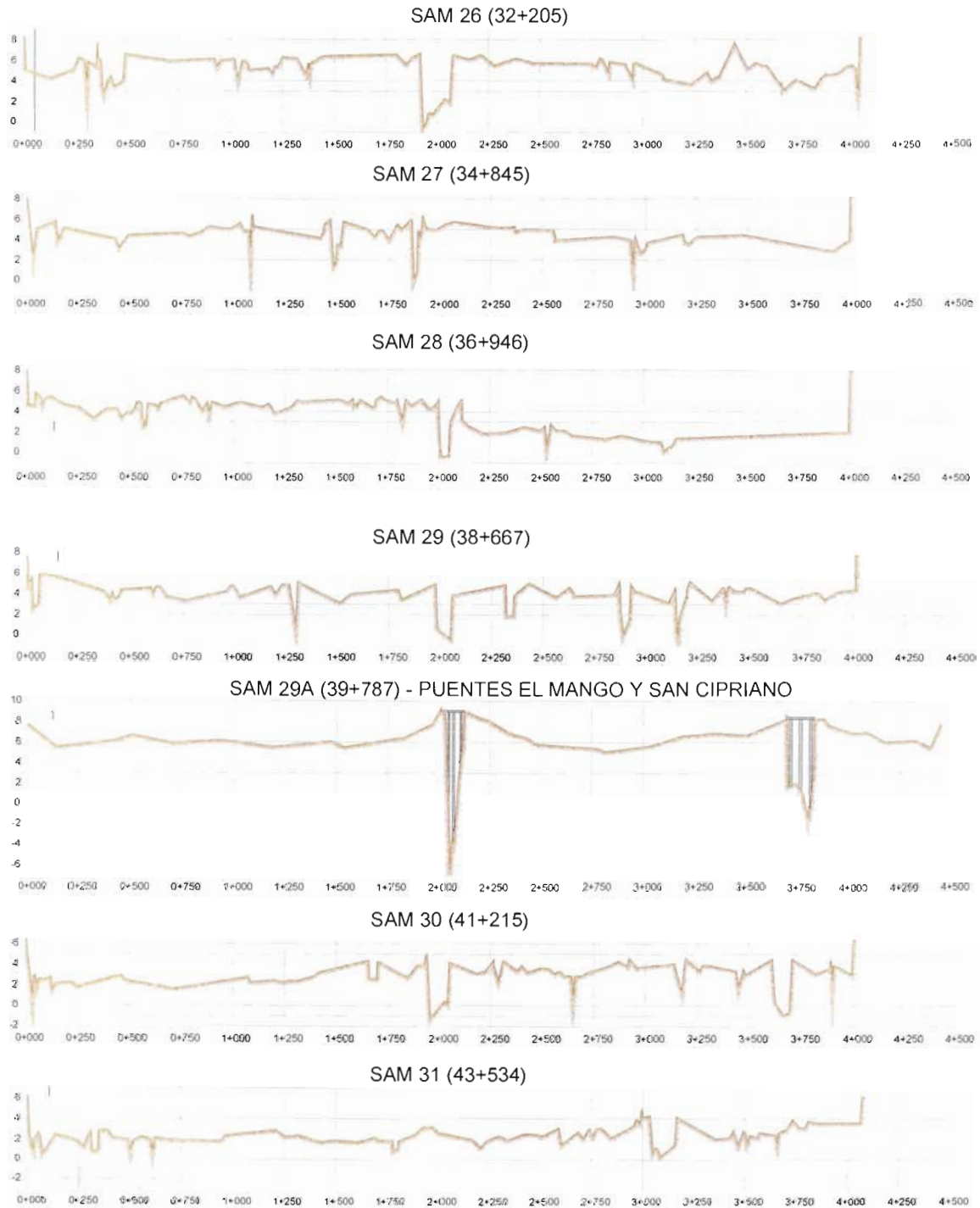
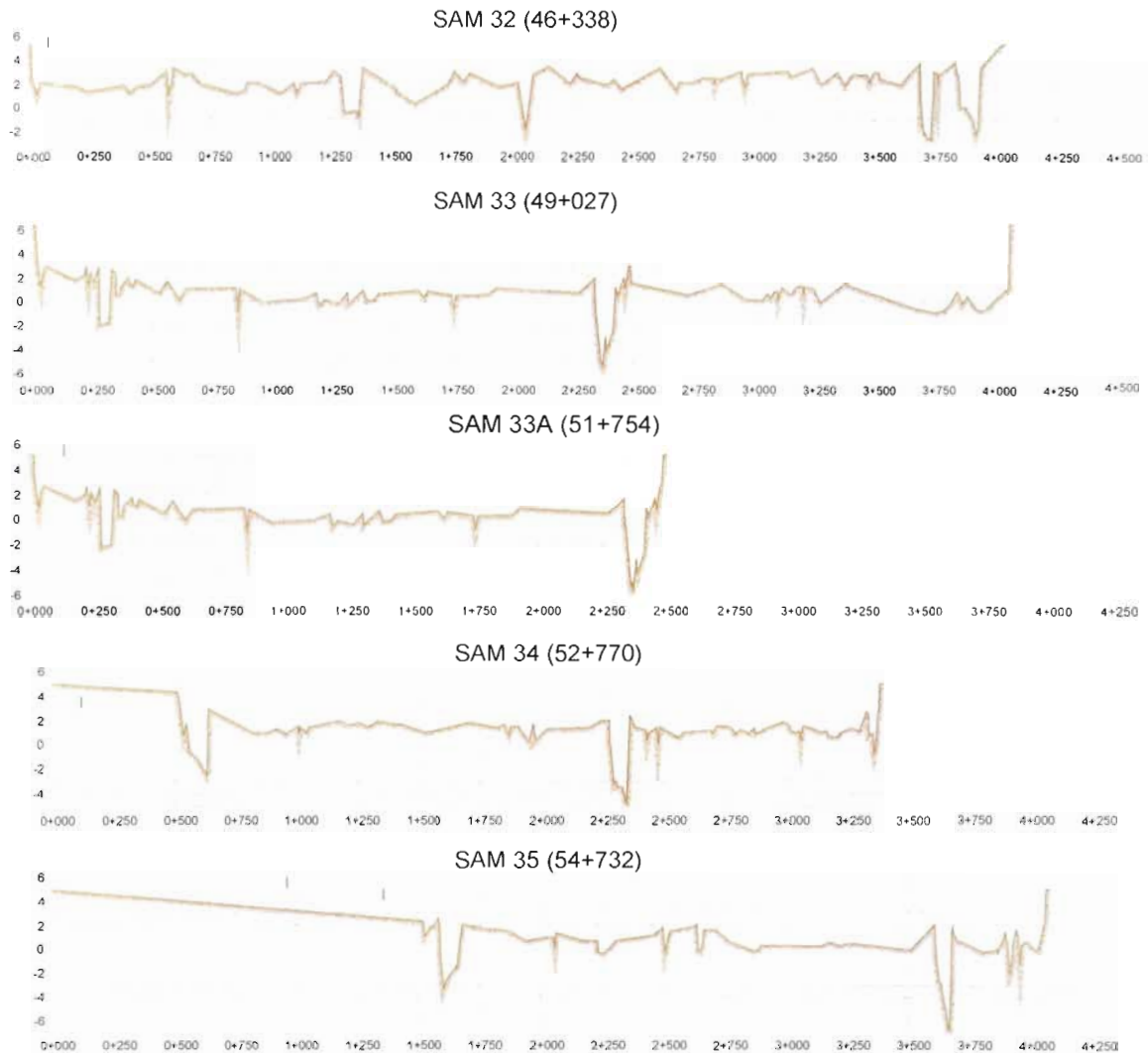


Figura 3.a.3 Secciones transversales analizadas del Rio Samaria, II parte



ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITASHASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)



**Figura 3.a.4 Secciones transversales analizadas del Rio Samaria, III parte**

Partiendo del concepto de sección tipo que se muestra en la figura 3.a.5, en donde se cuenta con un cauce piloto y una sección amplia, en lo que se denomina "dren", con un ancho promedio de 4000 m, se aplicaron las metodologías de *Horton* y *Einstein*, *Pavlovski*, *Muhlhofer* y *Banks*, así como la de *Lotter*, para estimar el valor de rugosidad equivalente.

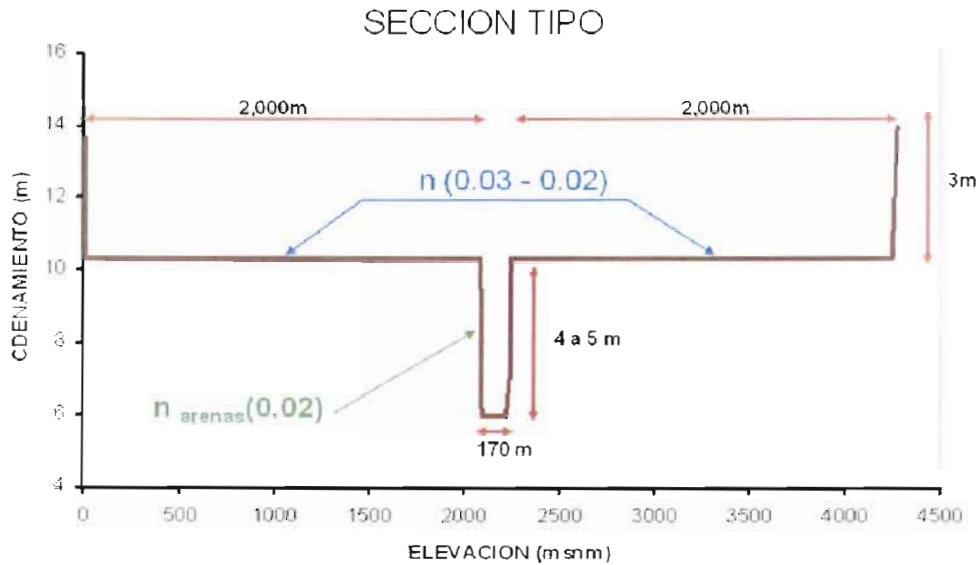


Figura 3.a.5 Secciones transversales tipo para determinar los coeficientes de rugosidad equivalente

En la figura 3.a.6 se muestran los resultados de dichas estimaciones, coincidiendo en dos de los casos en una rugosidad equivalente de 0.024, por lo que por seguridad se redondeo a un valor de 0.025 para los cálculos iniciales. Posteriormente, durante la calibración del modelo este sería una variable de cambio.

HORTON Y EINSTEIN					
	n	P	$n^{1.5}$	$p n^{1.5}$	
C PILOTO	0.02	180	0.00282843	0.50911688	
C PASTIZAL	0.025	4006	0.00395285	15.8351054	
TOTAL		4186	SUMA	16.3442223	
				<b>n= 0.02480489</b>	
PAVLOSVKI, MUHLHOFER Y BANKS					
	n	P	$(pn)^2$		
C PILOTO	0.02	180	12.96		
C PASTIZAL	0.03	4006	14443.2324		
TOTAL		4186	14456.1924	n= 1.8583493	
LOTTER					
	n	P	A	R	$R^{5/3}$
C PILOTO	0.02	180	850	4.72222222	13.2902278
C PASTIZAL	0.025	4006	12000	2.99550674	6.22422672
TOTAL		4186	12850	3.06975633	6.48346791
					<b>n= 0.02429743</b>

Figura 3.a.6 Valores de coeficientes de rugosidad equivalente obtenidos para el río Samaria, se asume 0.025

En el año de 2008 la CONAGUA proporcionó un levantamiento actualizado de los niveles de los bordos de margen izquierda y margen derecha del río Samaria, con ello se actualizaron las secciones del cauce que sirvieron para los cálculos de flujo. Se encontraron algunos cambios en los niveles de los bordos de dichas secciones, mismos que arrojaron como resultado las secciones finales que se muestran las figuras 3.a.7 a la 3.a.18

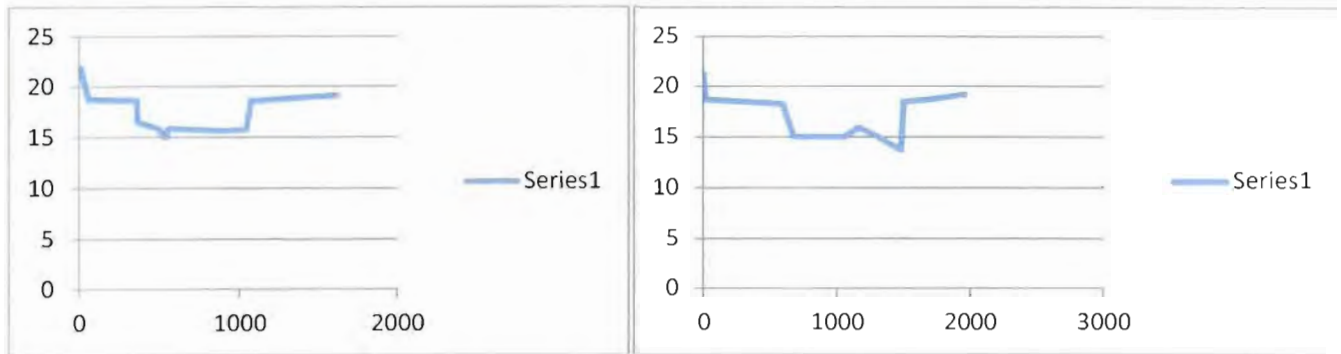


Figura 3.a.7 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAMBF1 y SAMBF2

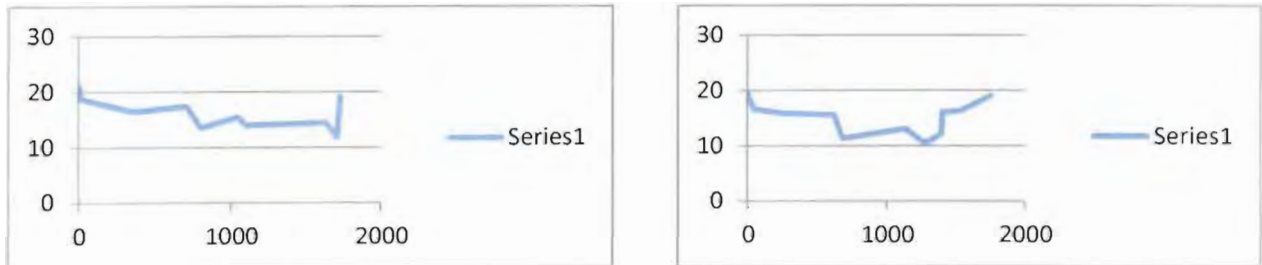


Figura 3.a.8 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAMBF3 y SAMBF4

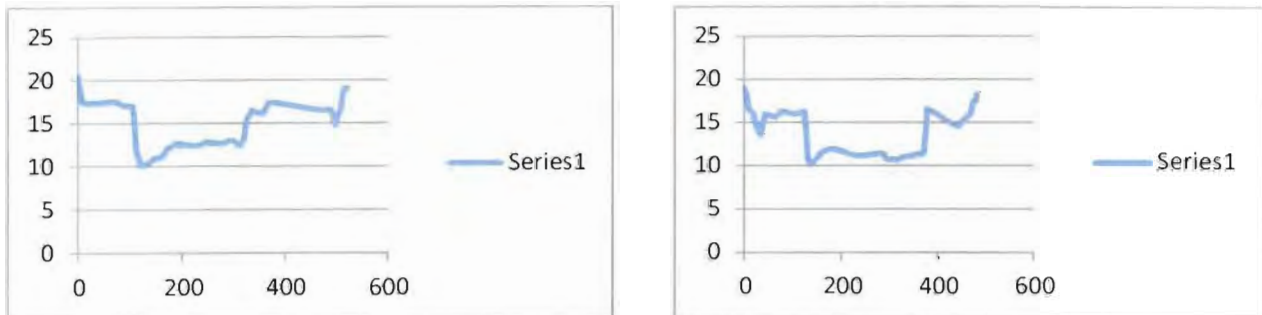


Figura 3.a.9 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM05 y SAM06

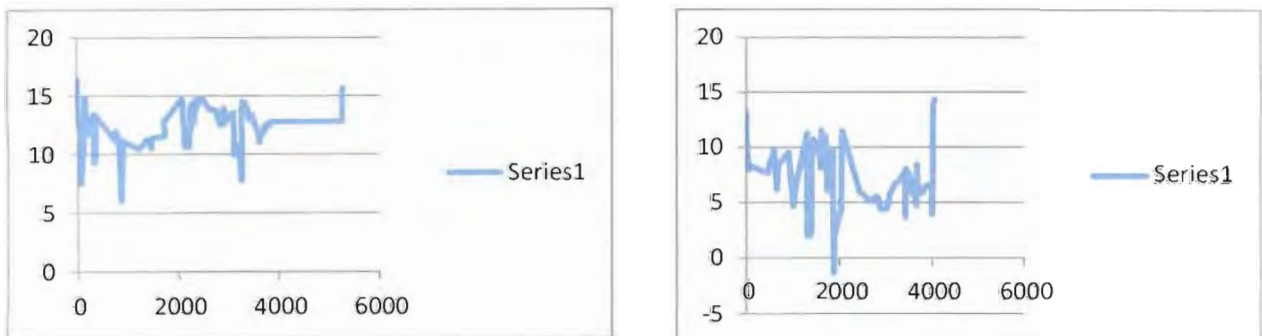


Figura 3.a.10 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones BAR02 y BAR05

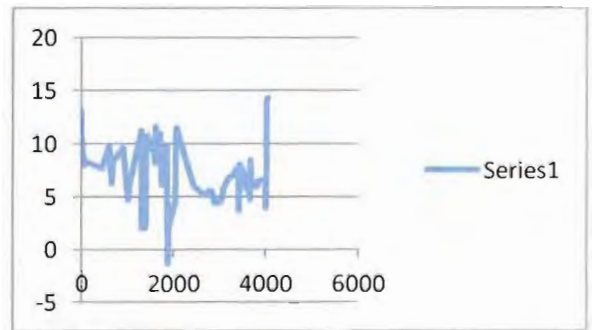
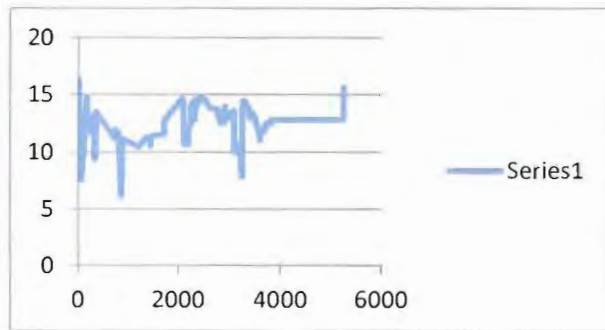


Figura 3.a.11 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM14 y SAM14A

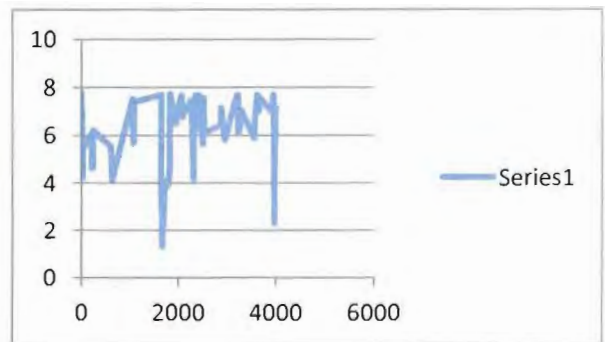
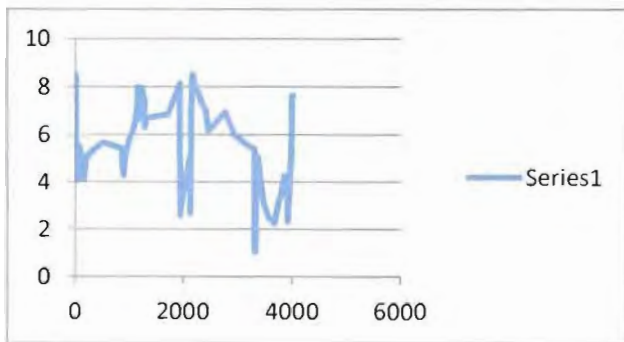


Figura 3.a.12 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM16 y SAM19

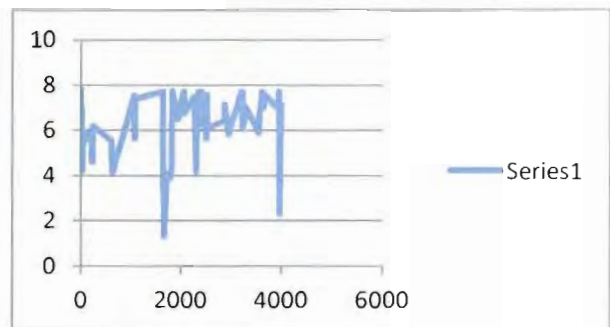
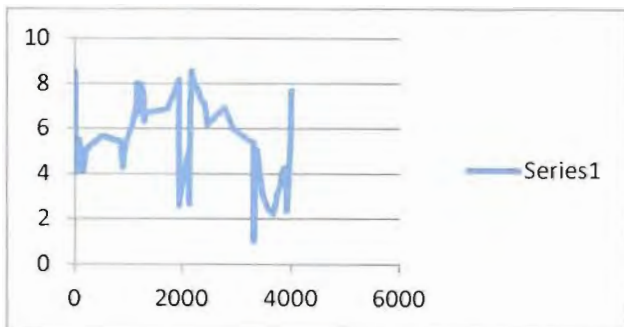


Figura 3.a.13 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM21 y SAM24

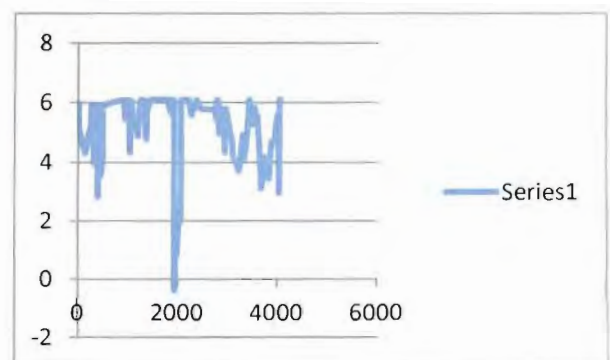
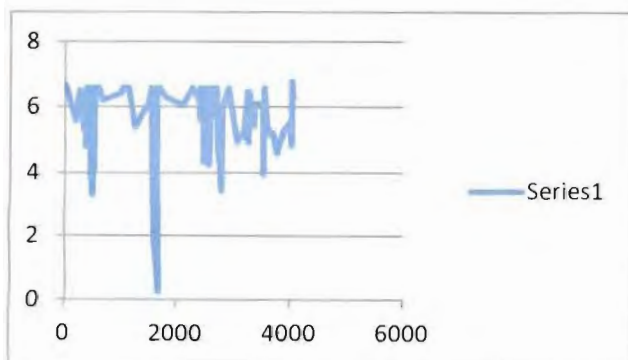


Figura 3.a.14 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM26 y SAM27

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITASHASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)

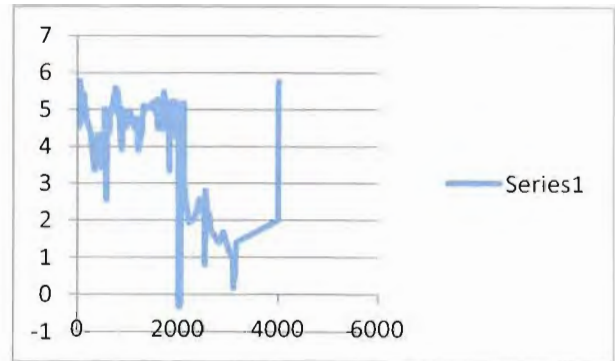
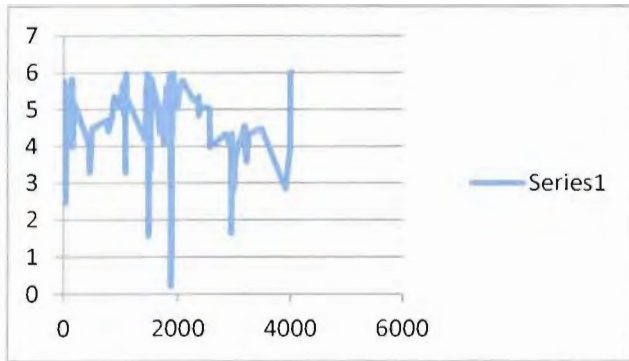


Figura 3.a.15 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM28 y SAM29

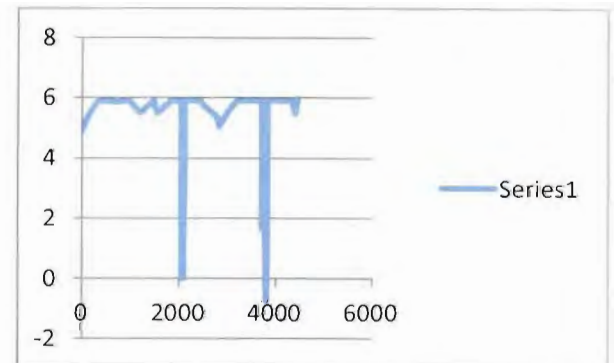
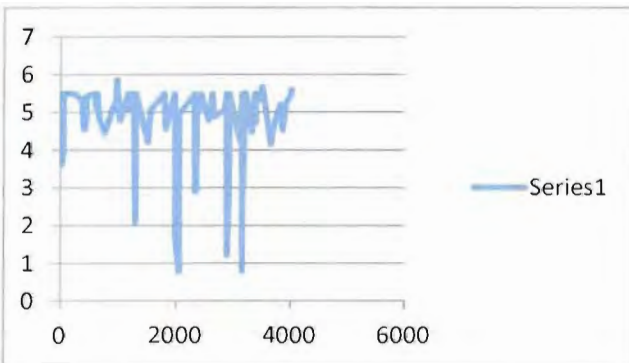


Figura 3.a.16 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM29 y SAM29A

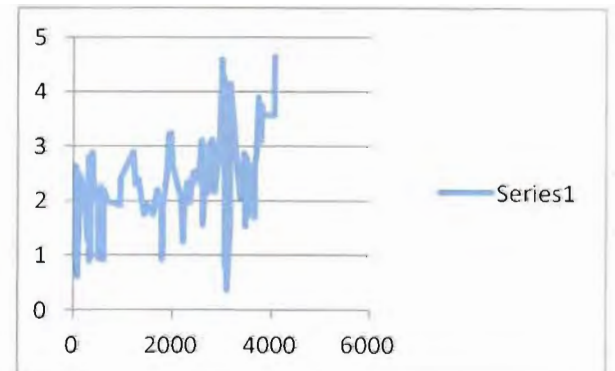
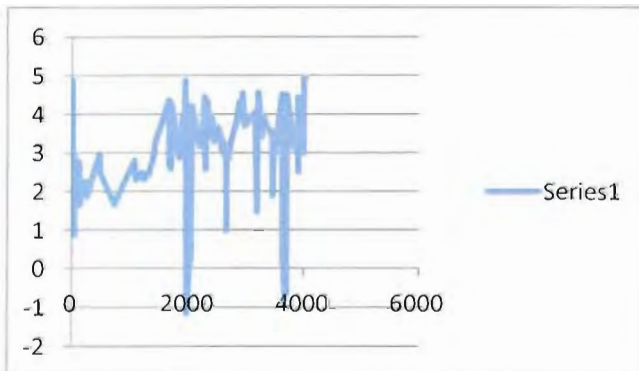


Figura 3.a.17 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM30 y SAM31

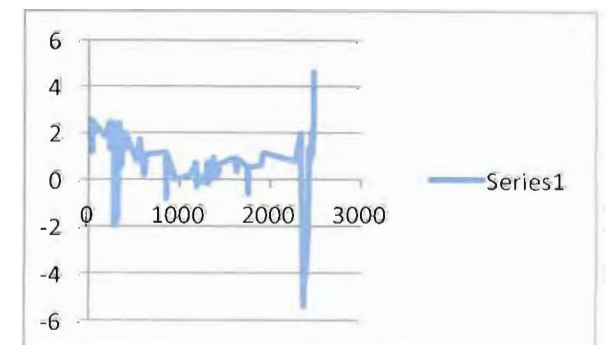
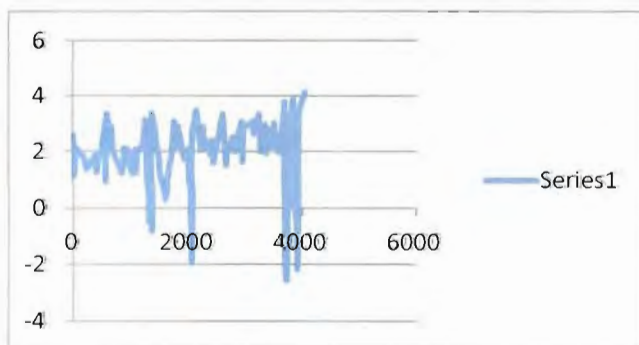


Figura 3.a.18 Secciones finales de análisis del río Samaria, secciones SAM32 y SAM33

La Tabla 3.a.1 resume los valores de los bordos en cada una de las sección a lo largo del río Samaria.

**Tabla 3.a.1 Resumen de valores de bordos en cada una de las secciones del río Samaria**

SECCION	CADENAMIENTO	M. IZQ	M. DER
SAMBF1	0	21.948	19.2
SAMBF2	1200	21.364	19.2
SAMBF3	2200	21.245	19.2
SAMBF4	3350	19.5	19.0
SAM05	4700	20.56	19.08
SAM06	5124	19.05	18.29
BAR02	9955	16.39	15.69
BAR05	14560	13.12	14.32
SAM14	17894	12.37	12.38
SAM14A	20114	10.64	10.97
SAM16	20575	10.55	10.42
SAM19	27900	8.51	7.67
SAM21	30575	7.8	7.11
SAM24	33897	6.7	6.26
SAM26	36907	5.99	6.11
SAM27	39547	5.79	6.04
SAM28	41648	5.79	5.76
SAM29	43369	5.02	5.6
SAM29A	44489	4.94	5.96
SAM30	45917	3.83	4.95
SAM31	48236	2.65	4.65
SAM32	51040	2.61	4.13
SAM33	53729	2.6	4.6

### Oxiacaque-Golfo de México

El área definida para este sistema comprende todo el cauce del río González desde la terminación de los bordos a la altura del poblado de Oxiacaque hasta su desembocadura al mar. Se consideraron 13 secciones transversales tomadas de una batimetría levantada en el año 2010 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. (Tabla 3.a.3)

**Tabla 3.a.3 Secciones transversales del río González están referidas en Coordenadas UTM en metros X Y y la Z está en msnm**

XS	X	Y	Z
<b>1</b>	490044.483845	2039198.296	-0.040304
	490198.8937	2039204.086	-1.868759
	490397.6965	2039202.156	-2.066817
	490598.4293	2039202.156	-1.73312
	490704.5861	2039200.226	-0.0755
<b>2</b>	492232.0248	2037219.36	-0.714977
	492326.3895	2037313.725	-2.709452
	492416.0359	2037441.117	0.17041
	492458.5	2037606.256	6.613937
<b>3</b>	500500.2226	2035200.056	3.785589
	500537.464	2035274.538	-0.094983
	500559.1881	2035349.021	-5.725349
	500608.8433	2035439.021	-3.593708
	500639.8778	2035491.78	-0.131591
<b>4</b>	501847.1571	2034581.561	0.941175
	501890.1653	2034582.948	-1.248255
	501933.1736	2034584.335	-5.175599
	501969.245	2034584.335	-4.186347
	501998.3797	2034578.786	-1.398125
	502051.0995	2034569.074	-1.313173
<b>5</b>	501799.5563	2033154.037	-0.0414355
	501840.6496	2033151.203	-1.494588
	501893.079	2033155.454	-3.110911
	501945.5084	2033151.203	-2.290126
	501979.5166	2033152.62	0.487249

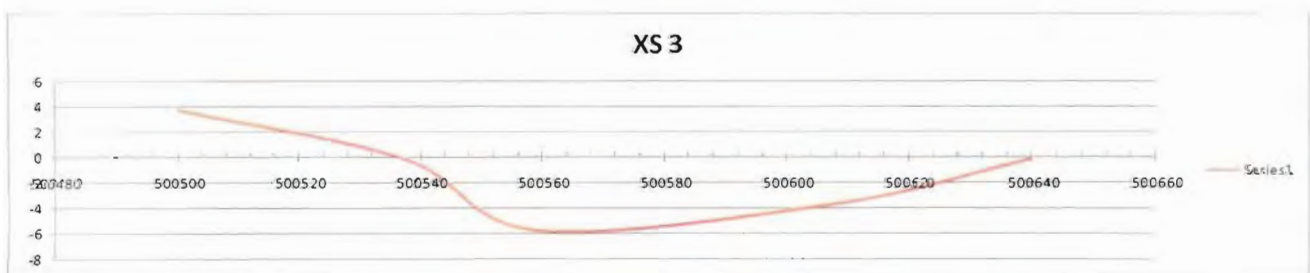
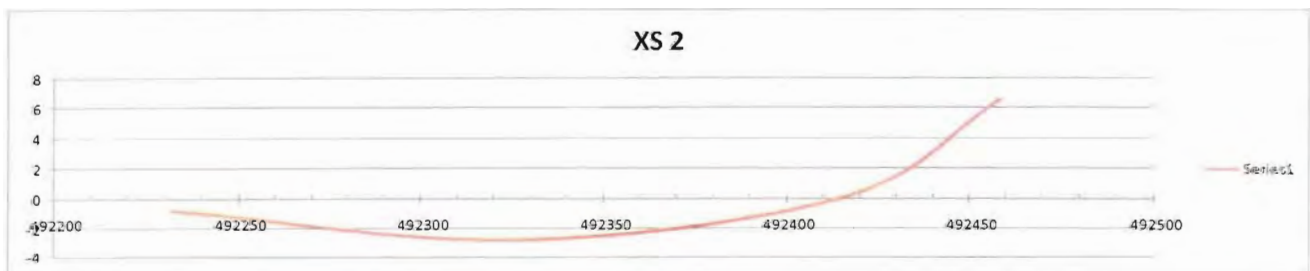
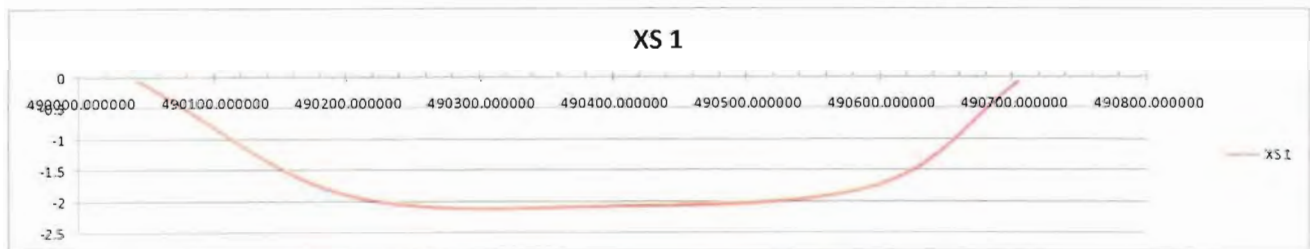
Tabla 3.a.3 Secciones transversales del río González están referidas en Coordenadas UTM en metros X Y y la Z está en msnm (continuación)

XS	X	Y	Z
6	501527.1573	2032798.564	-1.232977
	501575.7541	2032801.191	-2.936421
	501623.0375	2032801.191	-3.362954
	501669.0075	2032799.878	-2.635107
	501770.1415	2032801.191	-1.419863
XS	X	Y	Z
7	504062.2294	2030801.504	-1.436086
	504068.8143	2030808.089	-2.354303
	504071.2837	2030812.204	-2.899291
	504088.569	2030836.075	-3.601955
	504126.4321	2030896.985	-1.129955
XS	X	Y	Z
8	505080.8245	2028800.039	-1.193511
	505134.3688	2028802.716	-3.334926
	505180.7738	2028800.931	-4.672246
	505211.1155	2028800.931	-4.122398
	505251.2737	2028803.608	-1.135221
XS	X	Y	Z
9	506962.8369	2028464.353	-0.266265
	506971.2451	2028497.989	-4.817069
	506990.8664	2028555.452	-6.545491
	507020.2985	2028619.922	-3.409038
	507037.1168	2028666.172	-0.189395
XS	X	Y	Z
10	507998.9855	2028230.252	0.267644
	507998.2689	2028242.434	-1.836335
	508001.1352	2028301.912	-6.728881
	508010.451	2028398.652	-3.476316
	508000.4186	2028438.065	-0.21247
XS	X	Y	Z
11	508862.5621	2027422.015	-1.065511
	508879.5754	2027419.495	-3.583619
	508894.0683	202420.7548	-6.357442
	508924.3142	2027422.645	-6.384141
	508986.0663	2027420.755	-4.863478
	509037.1063	2027401.221	-3.069039
	509053.4895	2027400.591	-2.179142



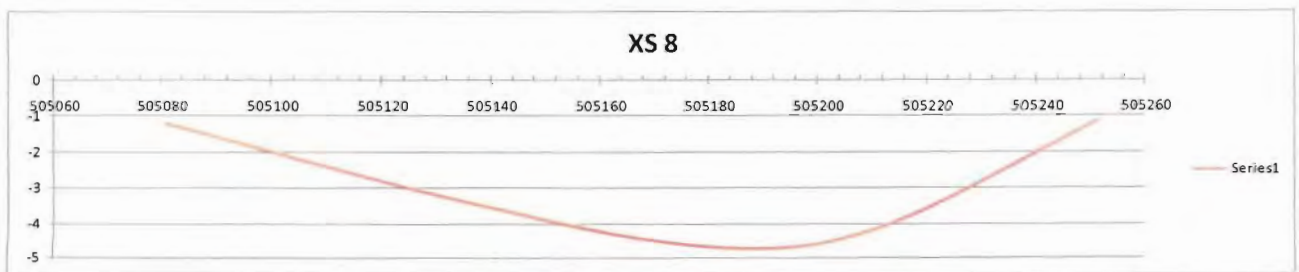
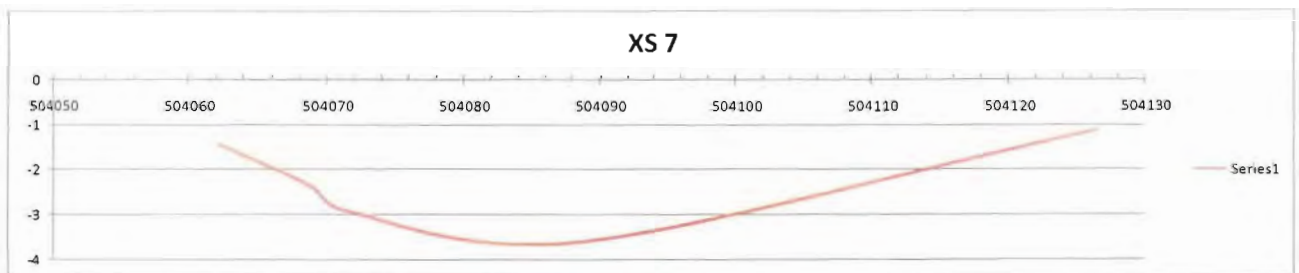
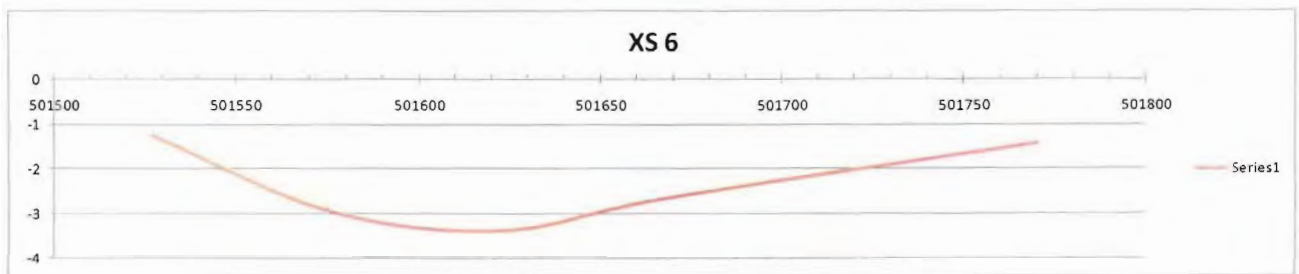
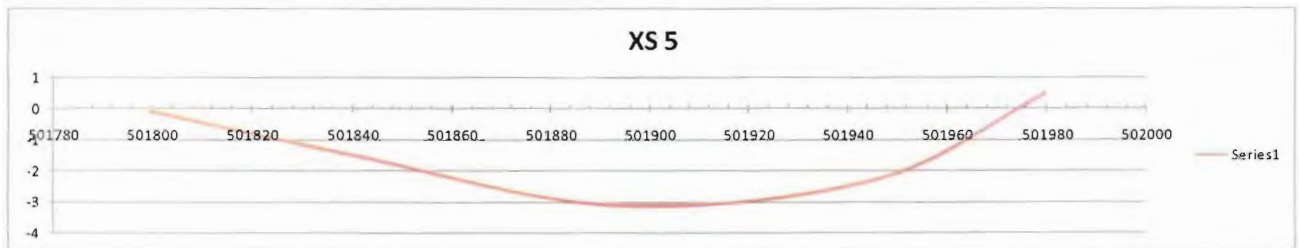
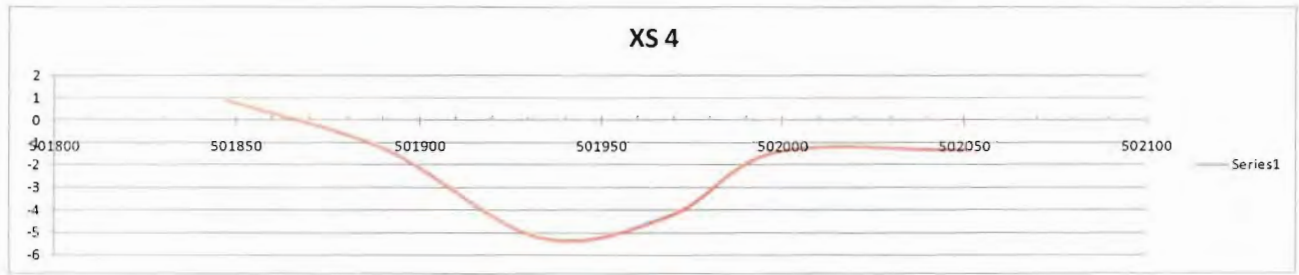
Tabla 3.a.3 Secciones transversales del río González están referidas en Coordenadas UTM en metros X Y y la Z está en msnm (continuación)

XS	X	Y	Z
12	508863.8014	2024959	-1.628663
	508876.9377	2024958.482	-3.601961
	508922.9145	2024962.313	-6.688125
	508995.1637	2024962.86	-6.857334
	509042.7826	2024960.124	-6.390938
	509053.7294	2024960.671	-4.471905
	509067.413	2024960.671	-2.118903
XS	X	Y	Z
13	508865.5829	2017640.617	-3.053368
	508875.0056	2017640.617	-4.267381
	508895.663	2017640.617	-6.265515
	508944.5885	2017640.617	-6.552232
	508984.4538	2017640.617	-5.772733
	509008.3729	2017640.617	-4.804506
	509021.4197	2017642.791	-3.876756



*[Handwritten signature]*

ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO



JF

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITASHASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)

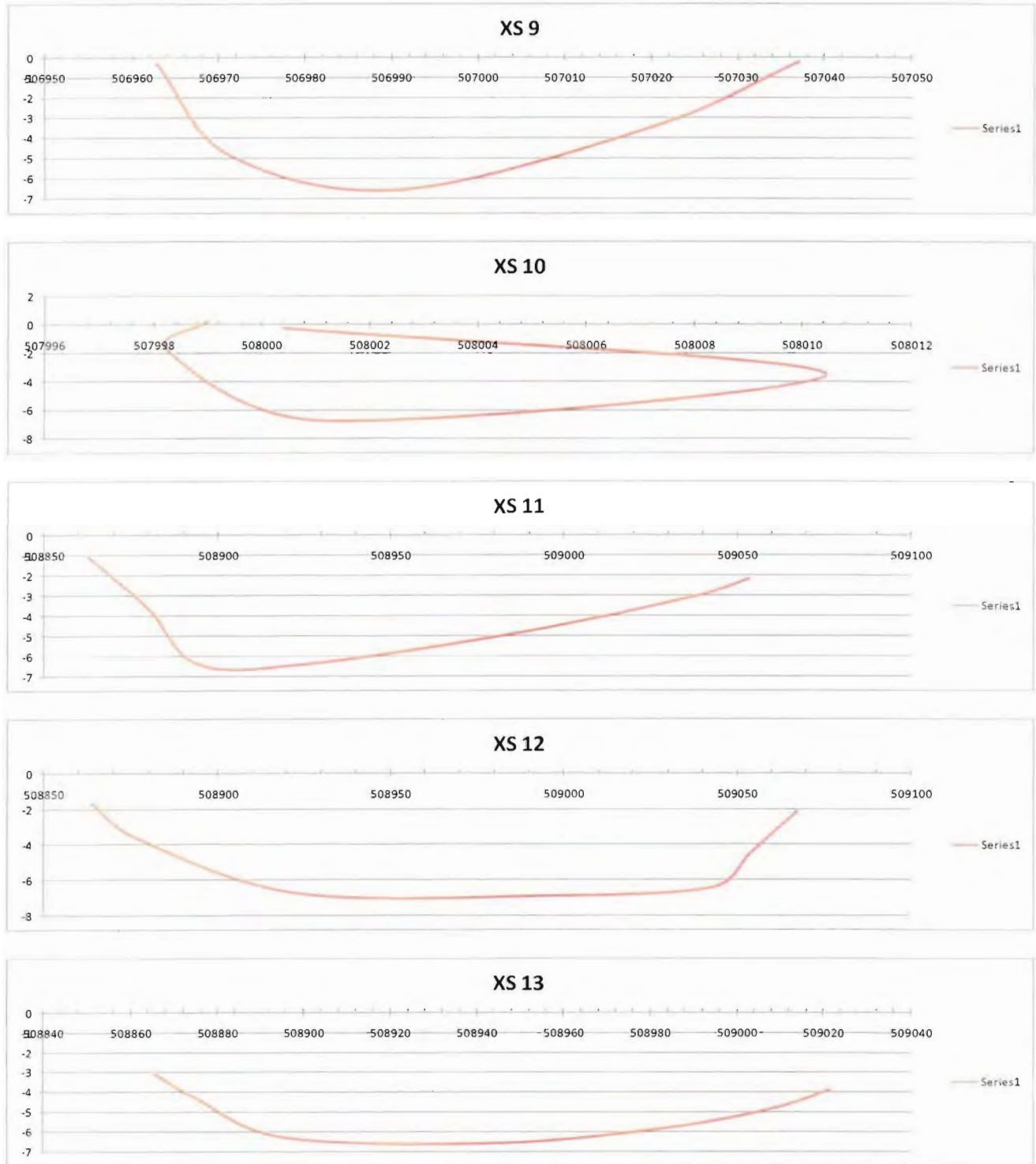
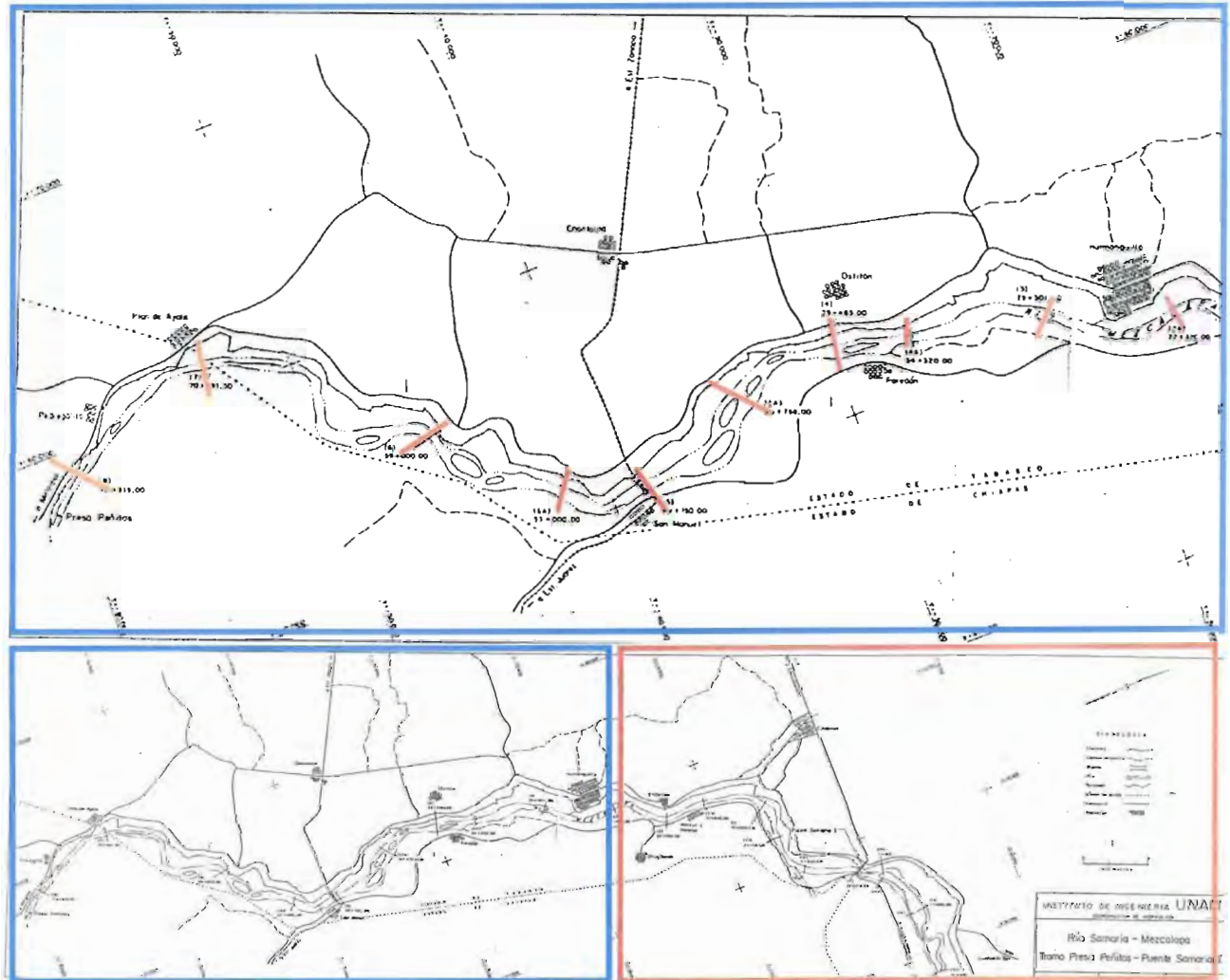


Figura 3.a.20 Secciones transversales del río González hasta su desembocadura al mar

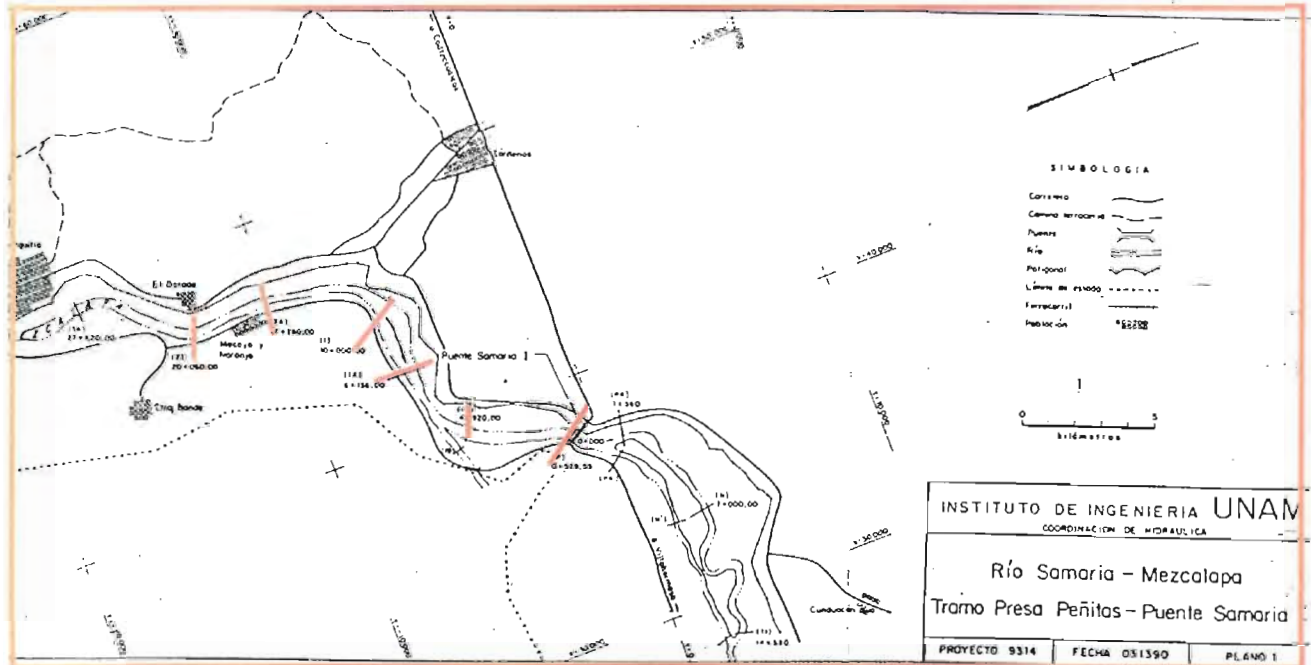
### Descarga Presa Peñitas-Bifurcación

Estas secciones fueron obtenidas de un estudio del año 1990 realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, como se muestra en la siguiente figura 3.a.21.



*Handwritten signature*

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITAS HASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)



El presente estudio utilizó 16 secciones transversales ubicadas a lo largo del río Mezcalapa desde la descarga de la presa Peñitas y hasta su bifurcación. Estas se muestran en la figura 3.a.22 y se encuentran marcadas con líneas de color rojo en la imagen anterior.

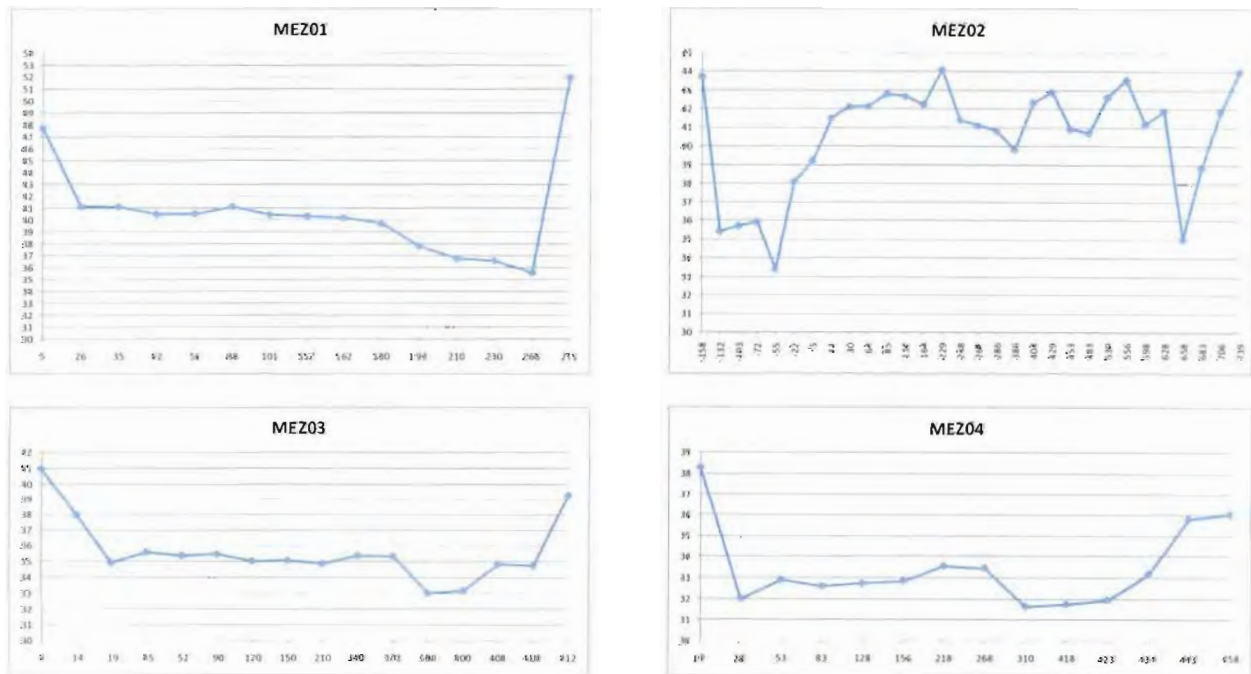


Figura 3.a.22 Secciones transversales del río Mezcalapa

*[Handwritten signature]*

ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO

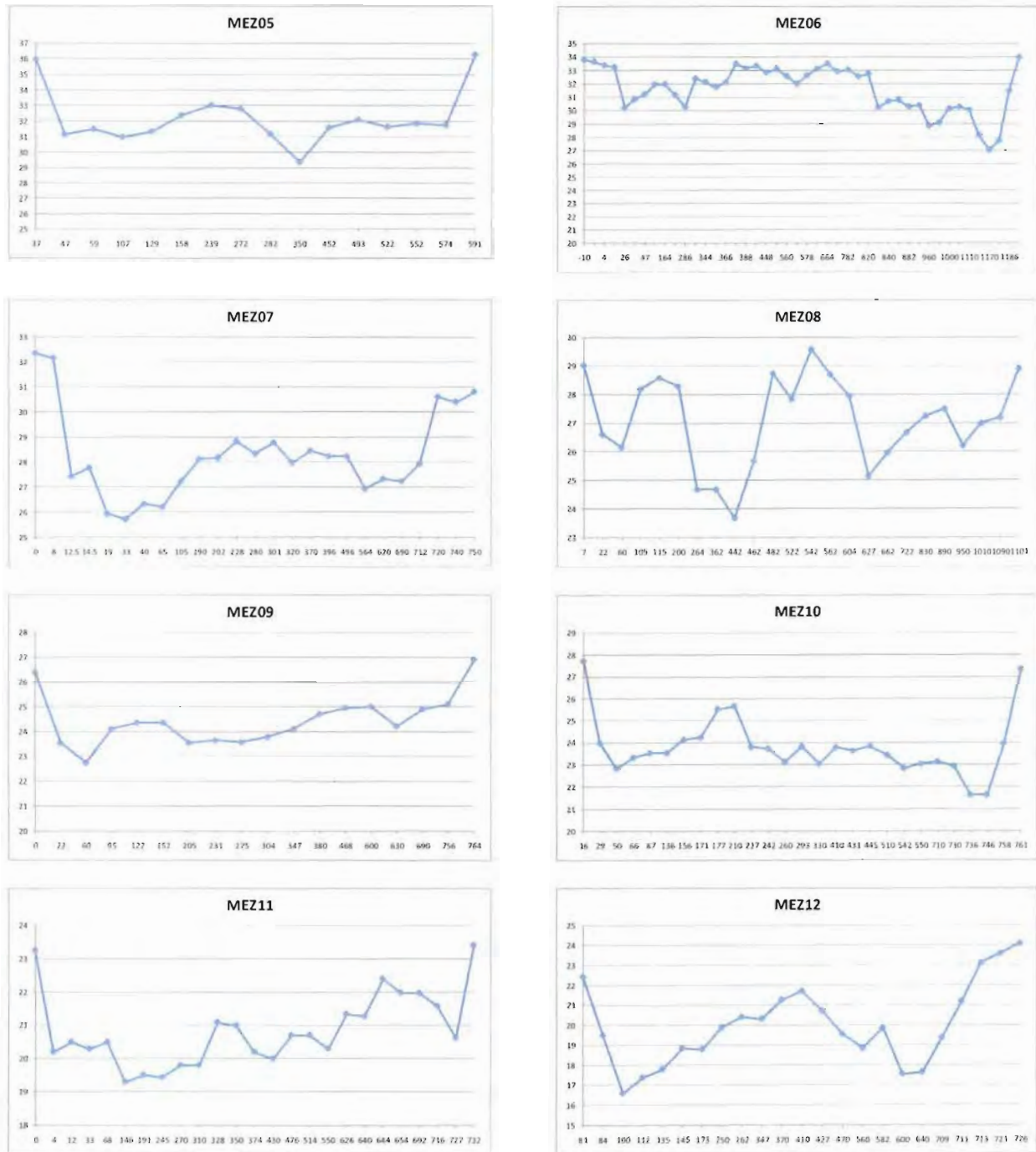


Figura 3.a.22 Secciones transversales del río Mezcalapa

UF

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITASHASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)

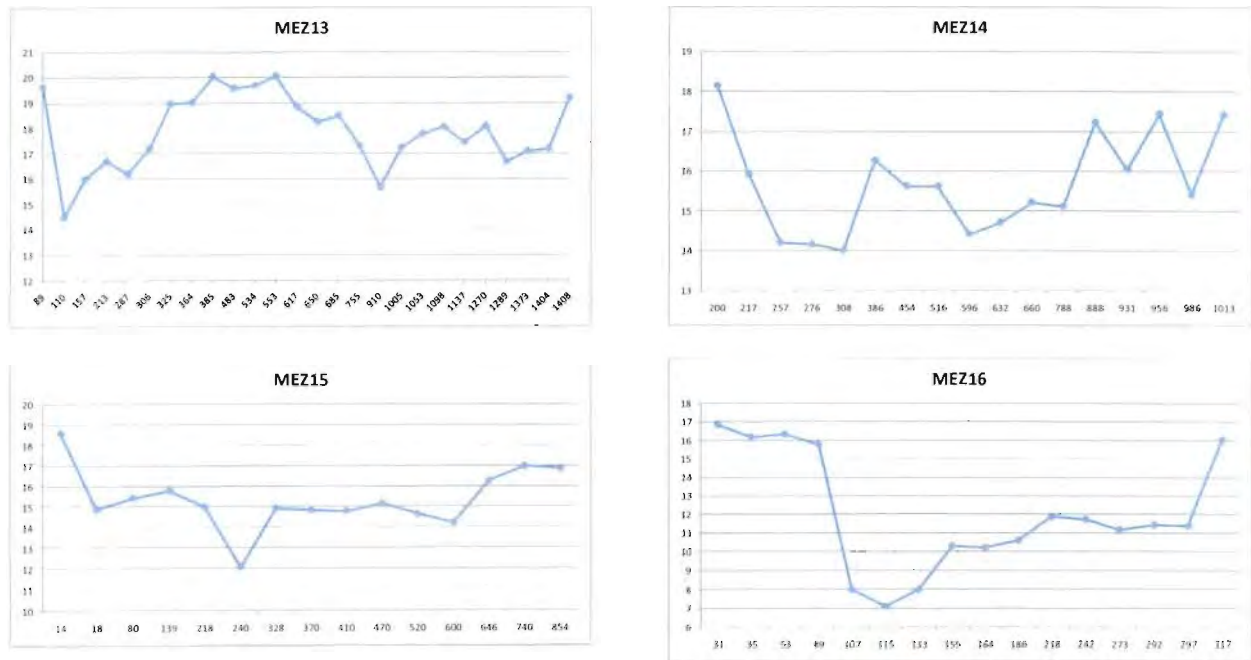


Figura 3.a.22 Secciones transversales del río Mezcalapa

Con esta información topográfica se configuró el esquema unifilar de la zona de estudio en el SWMM v.5.0, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.a.23 Esquema unifilar de la zona Mezcalapa - Samaria

*Handwritten signature/initials*

A continuación se presenta los datos hidrométricos empleados para el sistema Mezcalapa-Samaria para las simulaciones. Cabe señalar que los registros del río Platanar son pocos en cuanto a la variable gasto, sin embargo se muestran los datos obtenidos a partir de los boletines hidrometeorológicos emitidos por la CONAGUA.

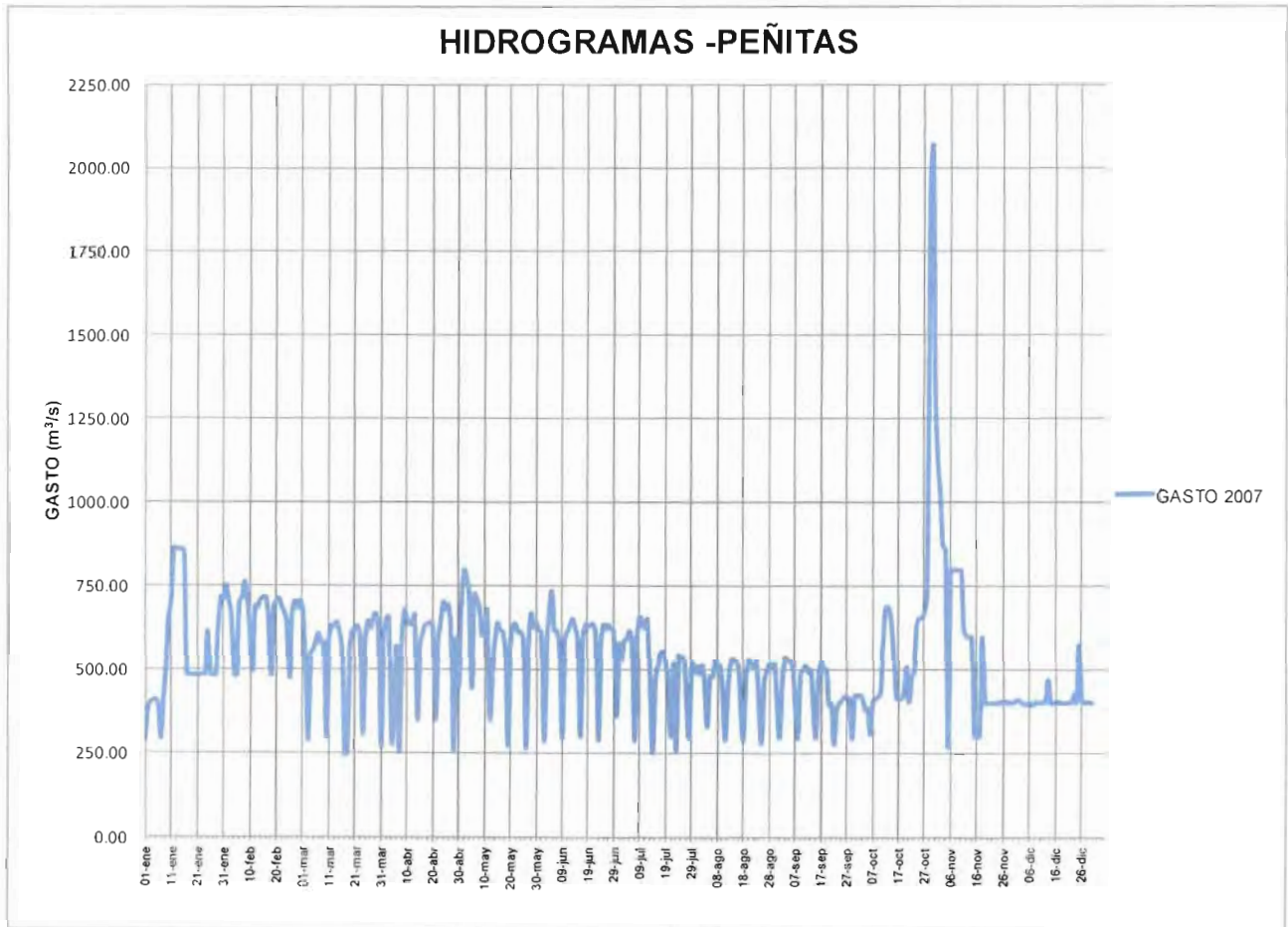


Figura 3.a.24 Presa Peñitas (extracciones cada hora) Periodo: 01/01/2007 al 31/12/2007



ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO, DESDE LA DESCARGA DE LA PRESA PEÑITAS HASTA LA DESEMBOCADURA EN EL GOLFO DE MÉXICO (SISTEMA MEZCALAPA-SAMARIA)

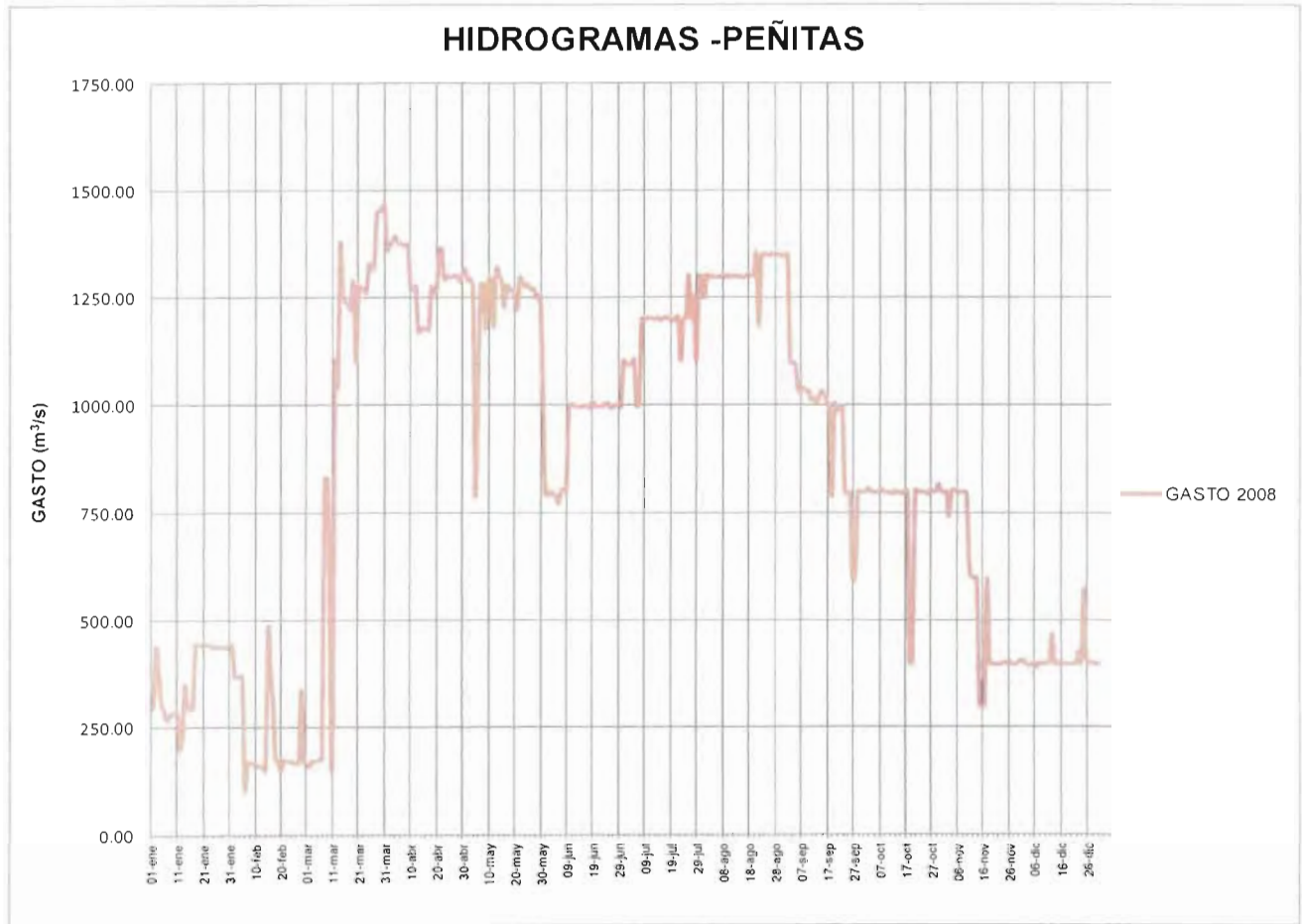


Figura 3.a.25 Presa Peñitas (extracciones cada hora) Periodo: 01/01/2008 al 31/12/2008

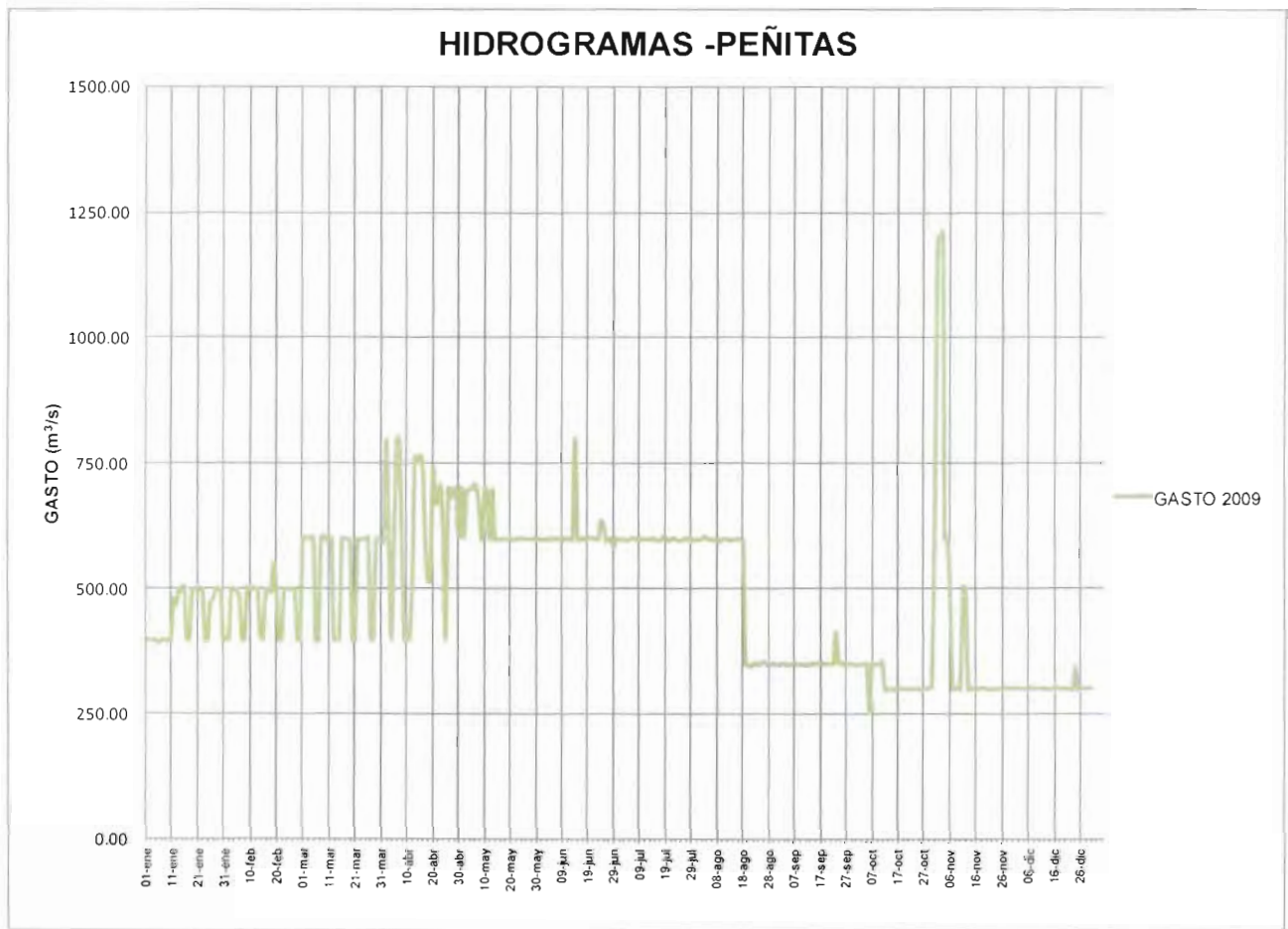


Figura 3.a.26 Presa Peñitas (extracciones cada hora) Periodo: 01/01/2009 al 31/12/2009

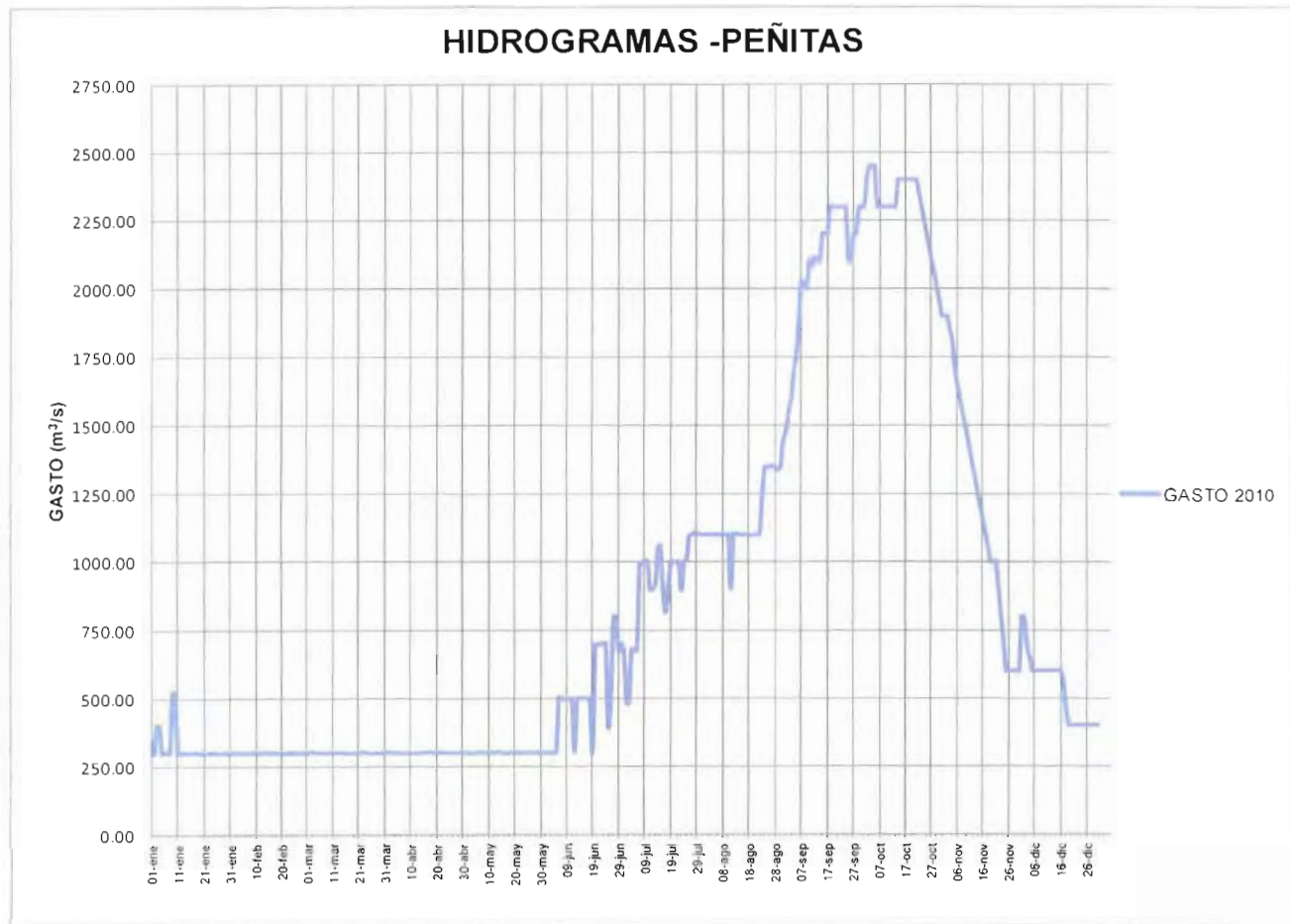


Figura 3.a.27 Presa Peñitas (extracciones cada hora) Periodo: 01/01/2010 al 31/12/2010

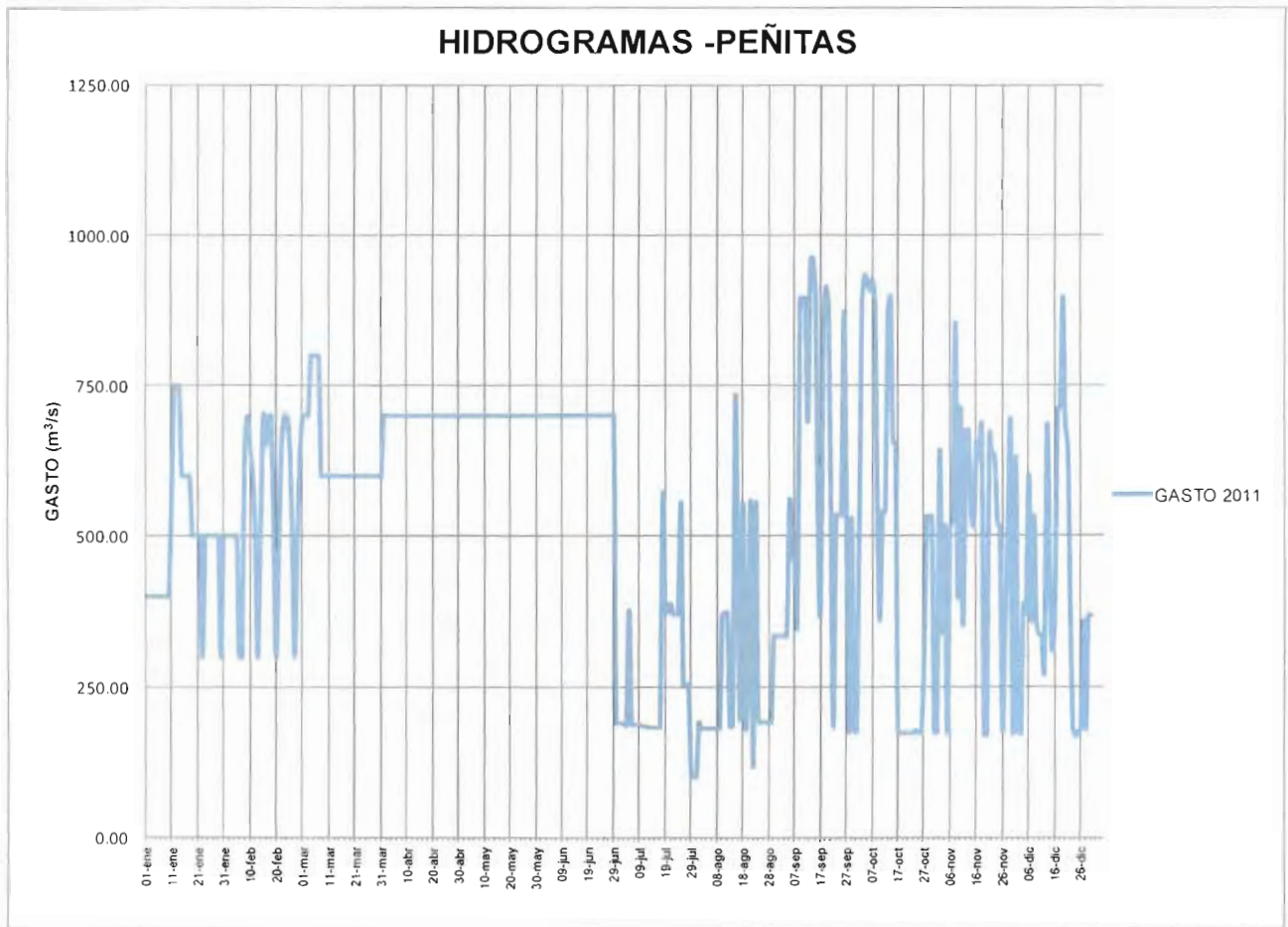


Figura 3.a.28 Presa Peñitas (extracciones cada hora) Periodo: 01/01/2011 al 31/12/2011

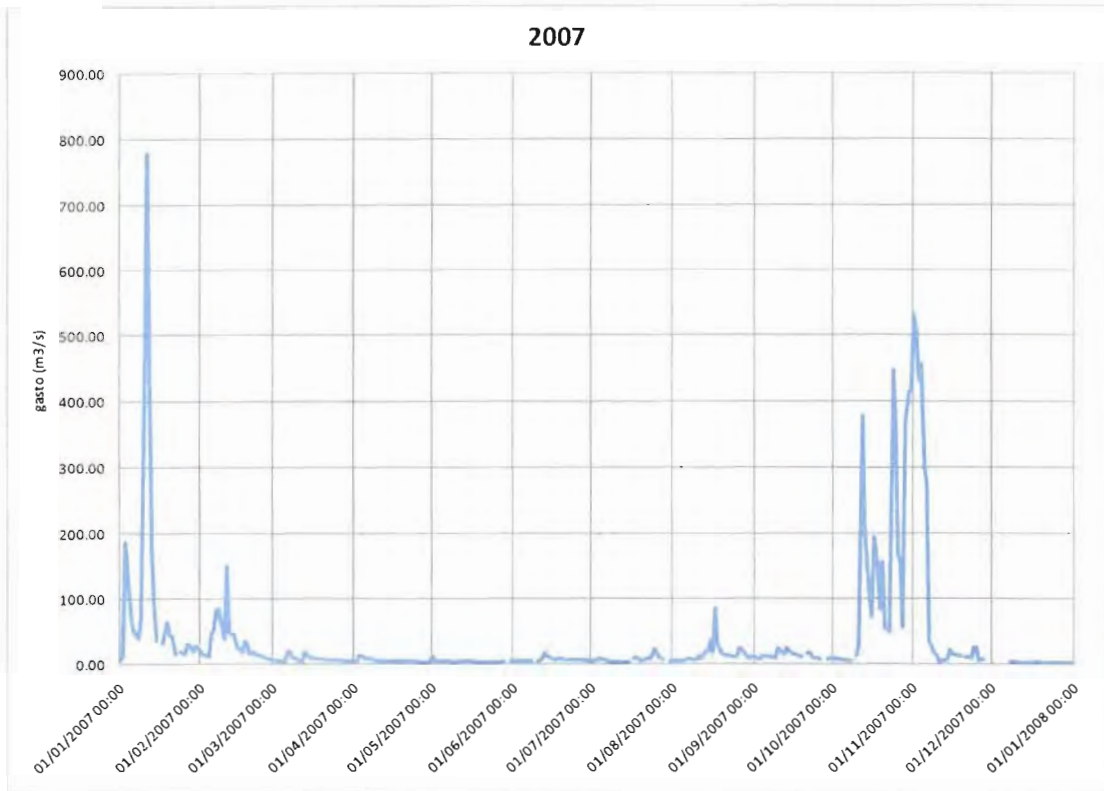


Figura 3.a.29 Hidrograma -Platanar -Periodo: 01/01/2007 al 31/12/2007

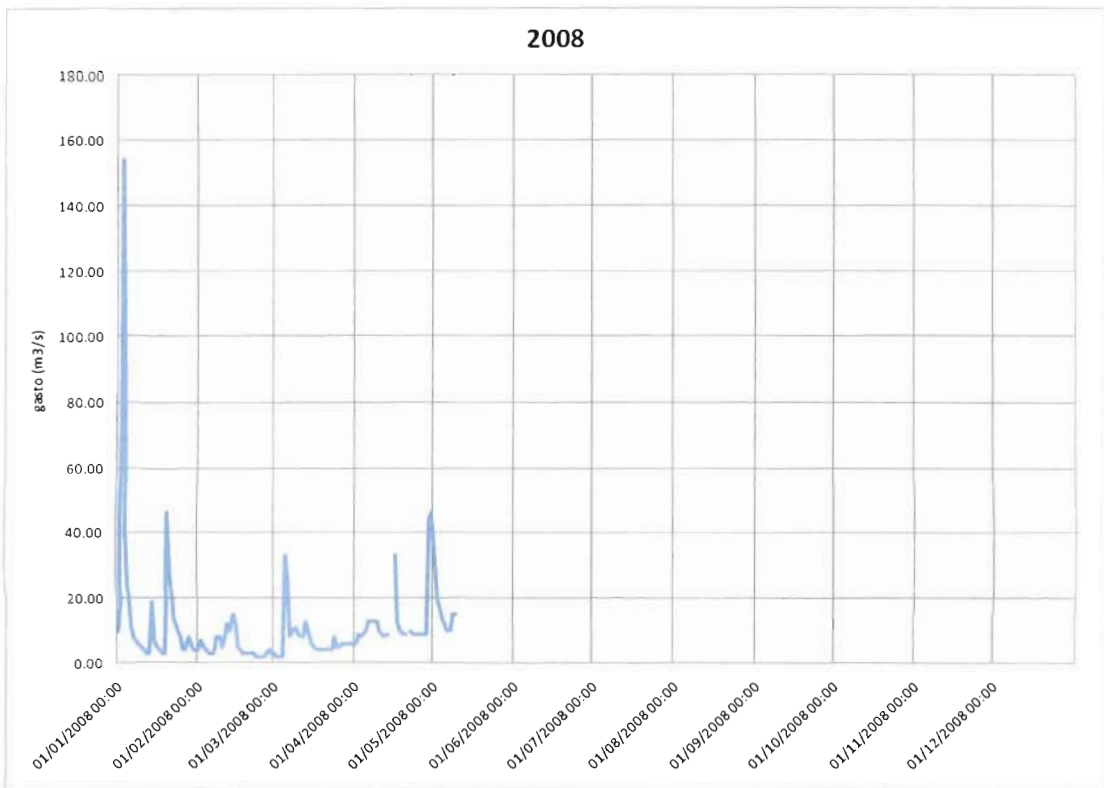


Figura 3.a.30 Hidrograma -Platanar -Periodo: 01/01/2008 al 31/12/2008

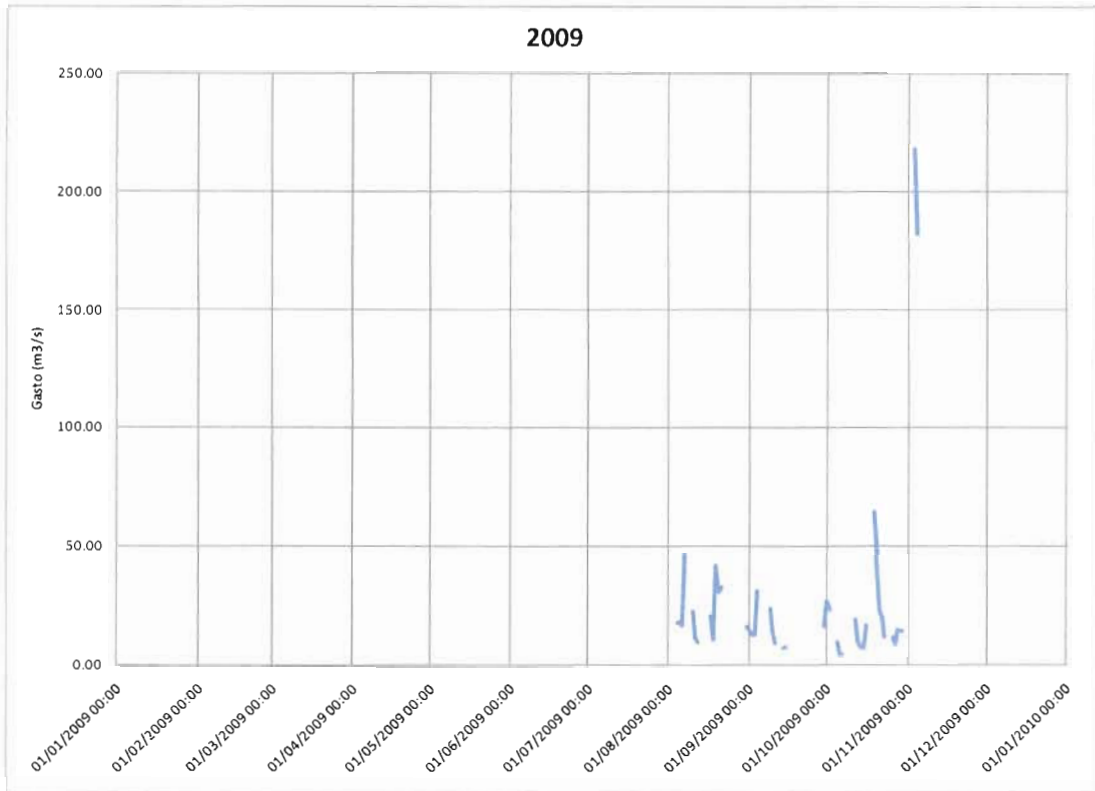


Figura 3.a.31 Hidrograma -Platanar -Periodo: 01/01/2009 al 31/12/2009

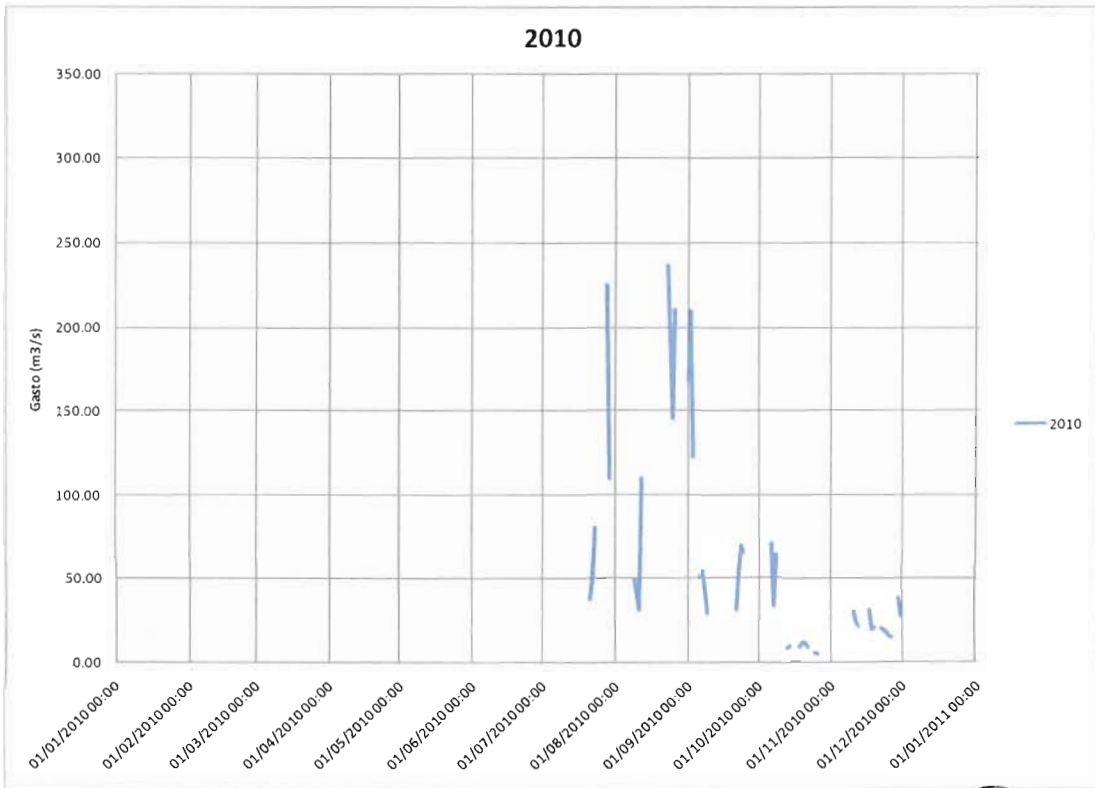


Figura 3.a.32 Hidrograma -Platanar -Periodo: 01/01/2010 al 31/12/2010

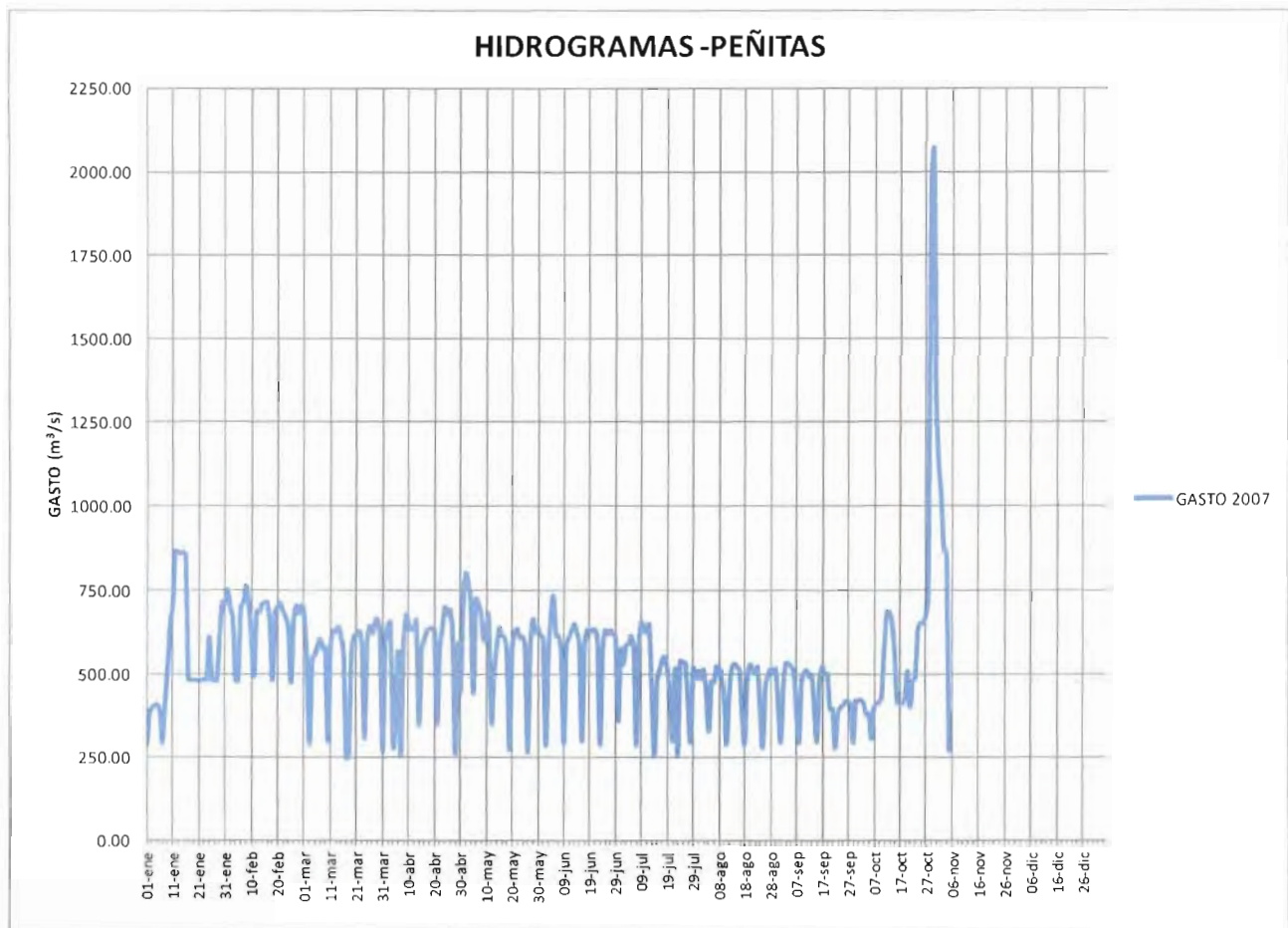
Para considerar el aporte de flujo de los ríos de las cuencas libres (Platanar y Comuapa) hacia el río Mezcalapa fue necesario obtener información de la variable gasto, sin embargo para el caso del río Platanar se obtuvieron datos consistentes en el año 2007 y de enero a mayo del 2008. Después de este periodo la información es escasa. Para el caso del río Comuapa, no se cuenta con una estación de medición por lo que se desconoce el aporte en cada año. Estos dos ríos son importantes para el sistema ya que en conjunto aportan al río Mezcalapa aproximadamente 1850 m<sup>3</sup>/s en una avenida similar a la del año 2007.

**b SIMULACIÓN DEL FLUJO EN CONDICIONES DEL 2007**

Del 28 al 30 de octubre del año 2007 ocurrieron precipitaciones extraordinarias en la cuenca del río Grijalva que generaron grandes escurrimientos en la cuenca de la presa Peñitas, en los ríos de la Sierra y, en general, en la planicie tabasqueña, los cuales inundaron una superficie aproximada del 80% del territorio del estado de Tabasco.

La información que se utilizó para simular el evento del año 2007 fue:

- Hidrograma generado a partir de las descargas de la presa Peñitas hacia el río Mezcalapa. (Figura 3.b.1)
- Hidrograma generado a partir de mediciones reportados en boletines hidrométricos de la estación Platanar (Figura 3.b.2)
- Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria (Figura 3.b.3)



**Figura 3.b.1 Hidrograma de entrada al sistema Mezcalapa**

*Handwritten signature or initials.*



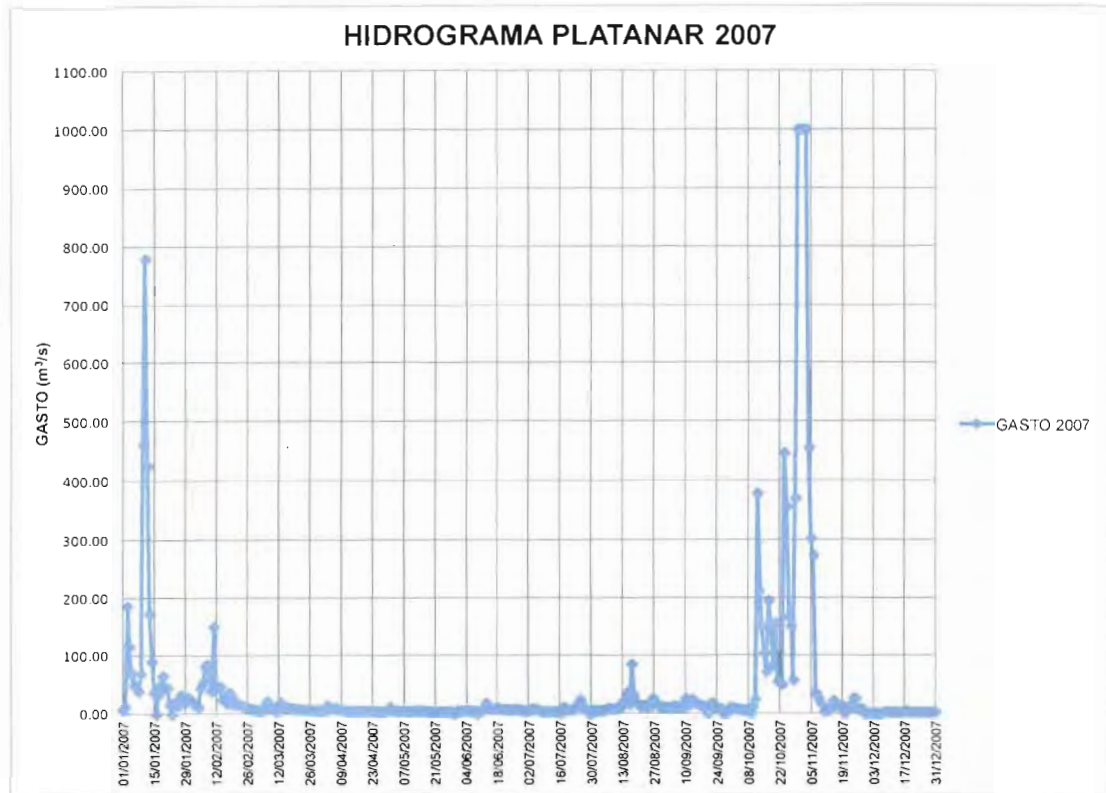


Figura 3.b.2 Hidrograma generado a partir de mediciones reportados en boletines hidrométricos de la estación Platanar

El río Comuapa carece de medición, por lo que para considerar la aportación de flujo al río Mezcalapa se propuso un Hidrograma de la mitad del que ingresa por el río Platanar.

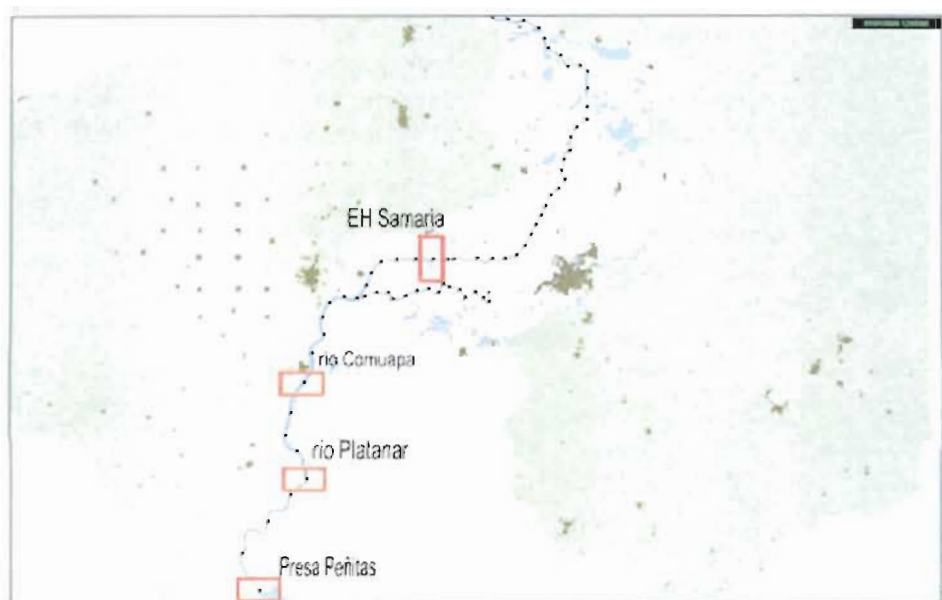


Figura 3.b.3 Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria

Resultados de la simulación

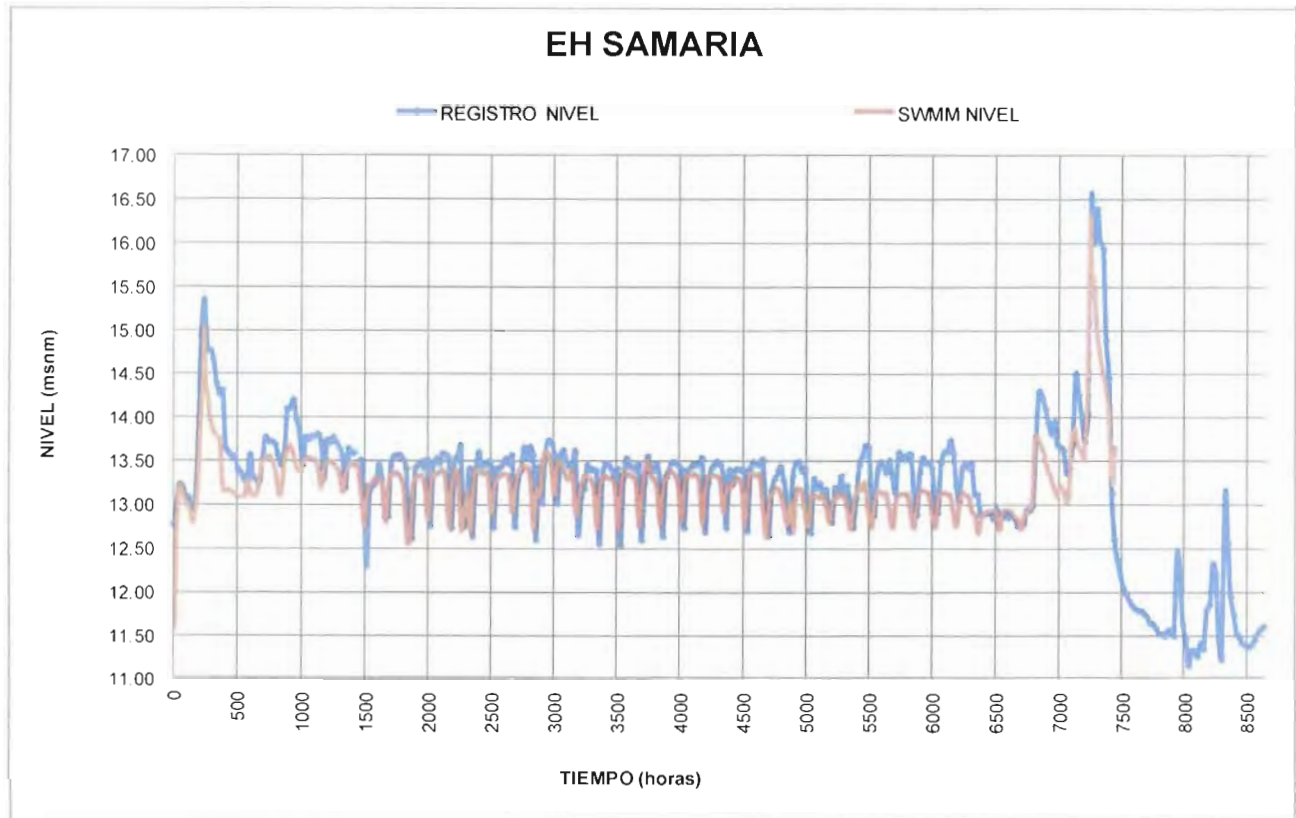
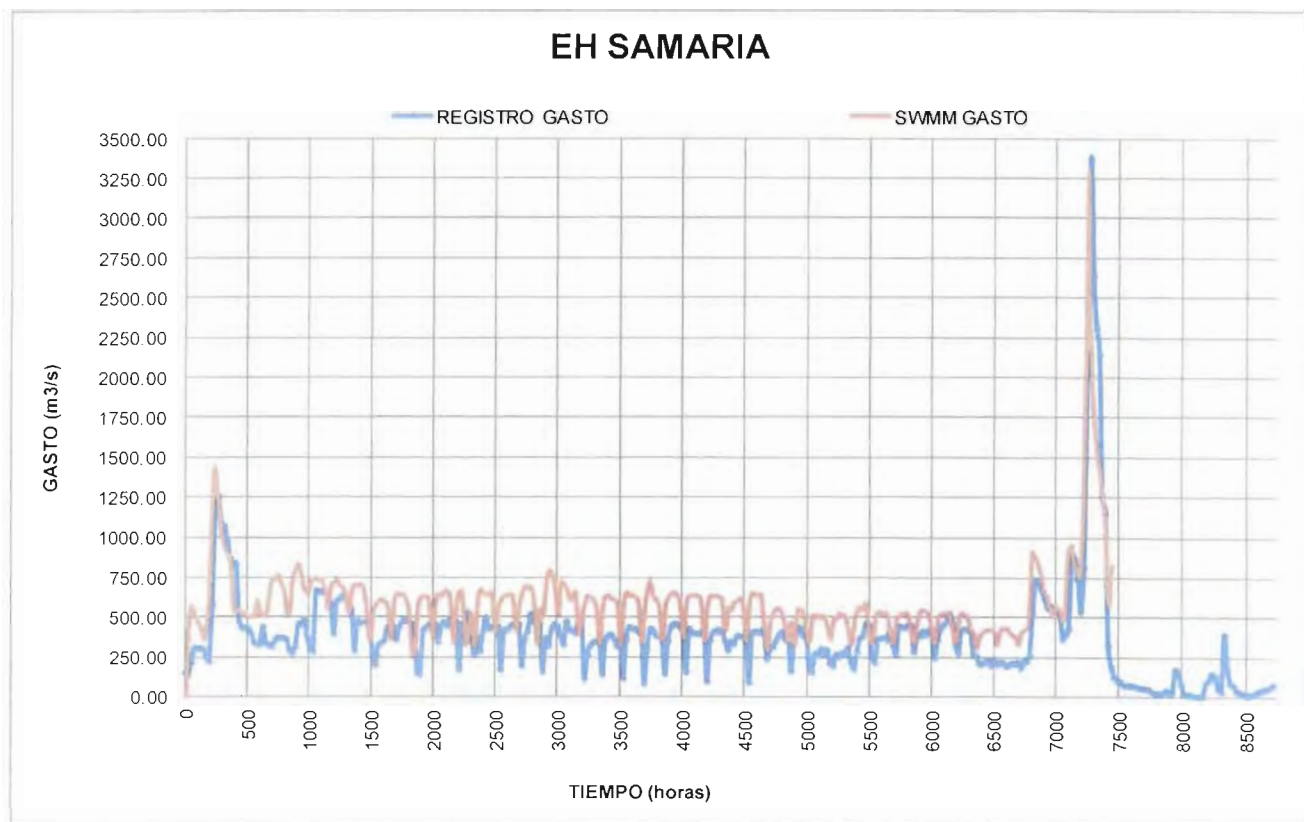


Figura 3.b.4 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

La figura 3.b.4 muestra la comparación de los resultados obtenidos a partir de la simulación en el SWMM v.5.0. Cabe mencionar que el hidrograma (ver figura 3.b.1) de ingreso al modelo en la zona de la presa Peñitas (condiciones de frontera aguas arriba) se encuentra entre el periodo del 01 de enero al 06 de noviembre del 2007, por este motivo, la línea de color rojo, la cual muestra los resultados obtenidos llega hasta el tiempo 7500 horas (06 de noviembre de 2007).

Se observa que la simulación es similar a lo ocurrido durante el año 2007. Se representaron los picos del periodo, el primero se presenta: el 11 de enero del 2007 y el segundo periodo las inundaciones del 28 de octubre al 05 de noviembre del 2007. Esto mismo ocurre en la figura 3.b.5 para la variable de gasto.

VF



**Figura 3.b.5 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.**

La zona donde se presenta desbordamiento se muestran en la figura 3.b.6, la cual muestra desbordamiento en la sección 29A correspondiente a los Puentes Manguito y San Cipriano, para el 31 de octubre de 2007.

Condiciones 2007

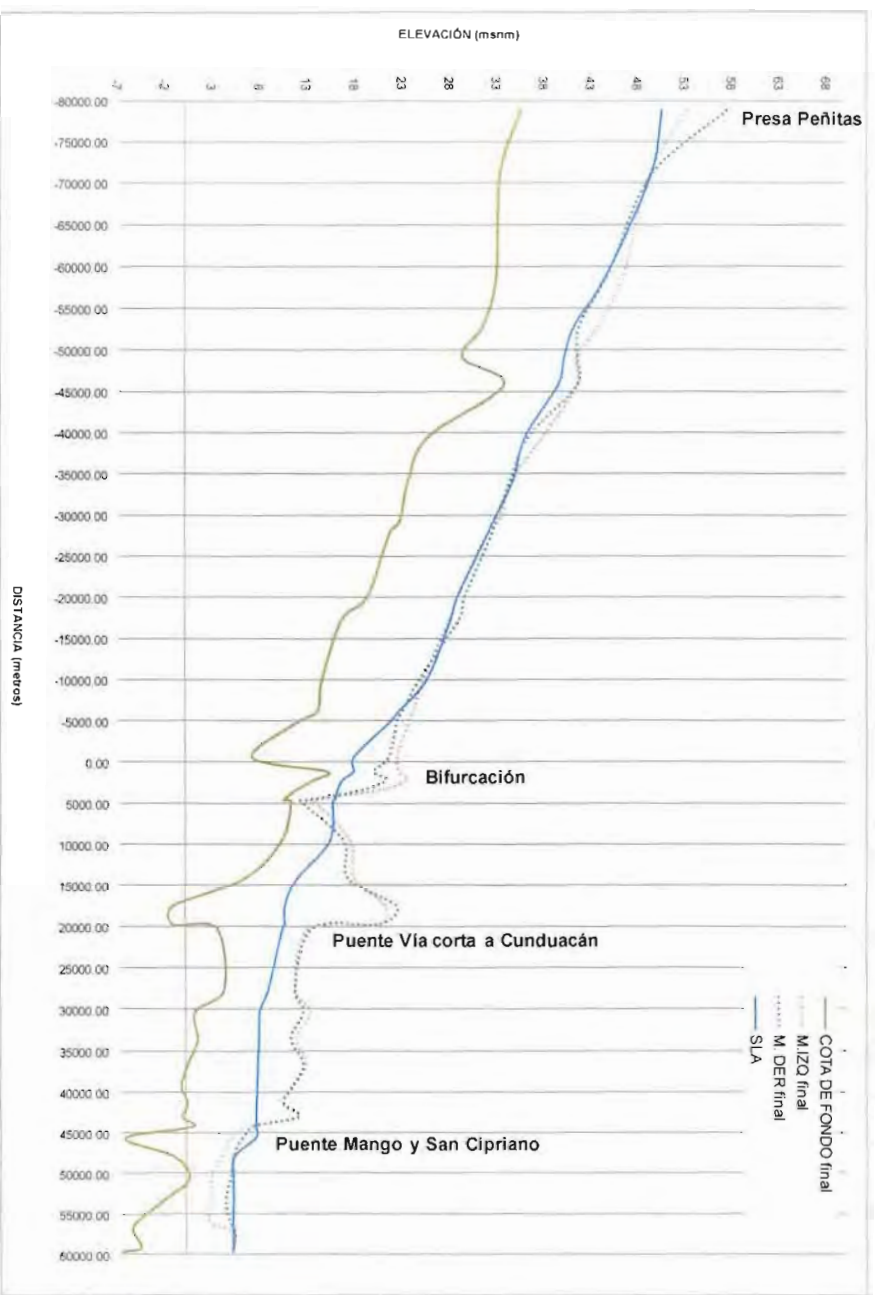


Figura 3.b.6 Perfil del agua (talweg) de la presa Peñitas hasta el río Samaria.  
FECHA:31/OCTUBRE/2007

c) Simulación del flujo en el sistema con avenidas de los años 2008, 2009, 2010 y 2011

La información que se utilizó para simular el evento del año 2008 fue:

- Hidrograma generado a partir de las descargas de la presa Peñitas hacia el río Mezcalapa. (Figura 3.c.1)
- Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria (Figura 3.c.2)

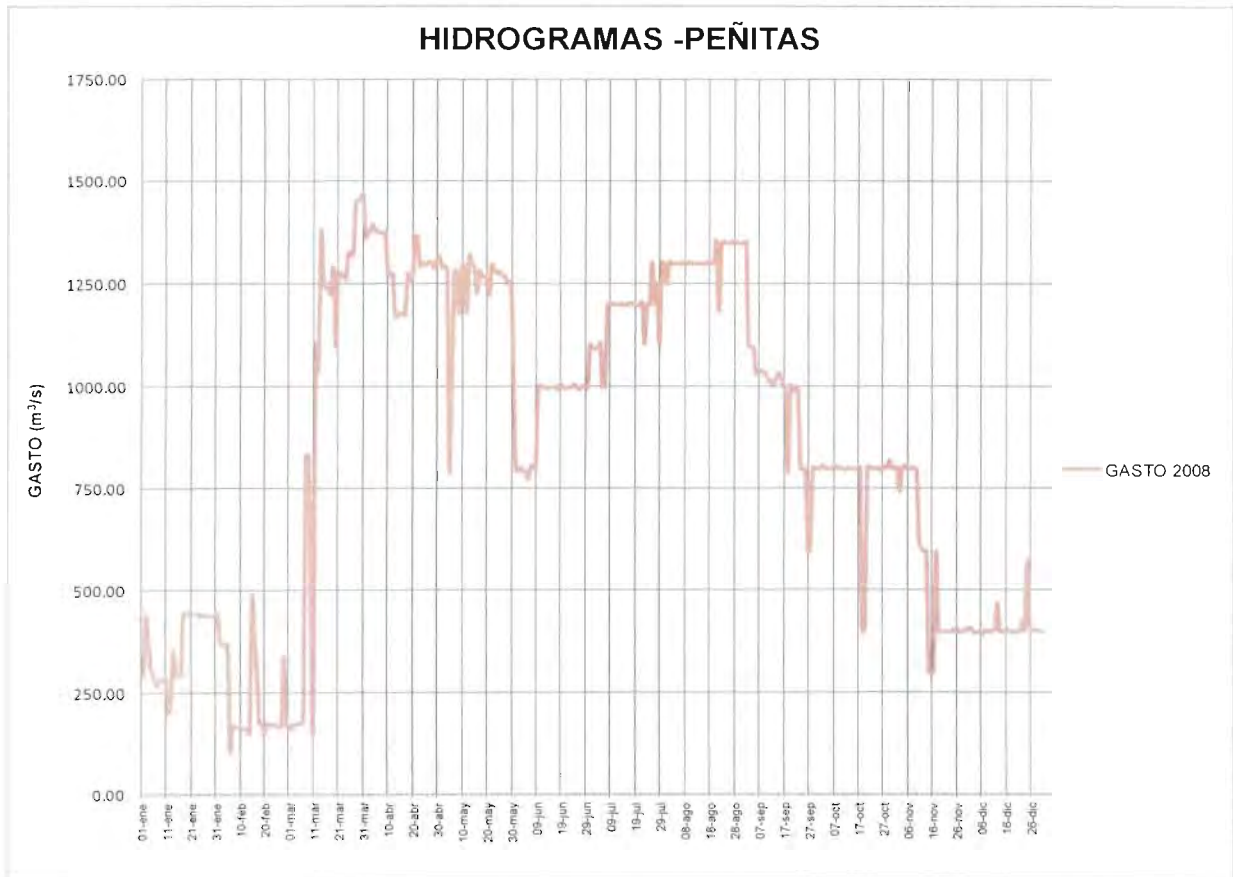


Figura 3.c.1 Hidrograma de entrada al sistema Mezcalapa



Figura 3.c.2 Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria

Resultados de la simulación

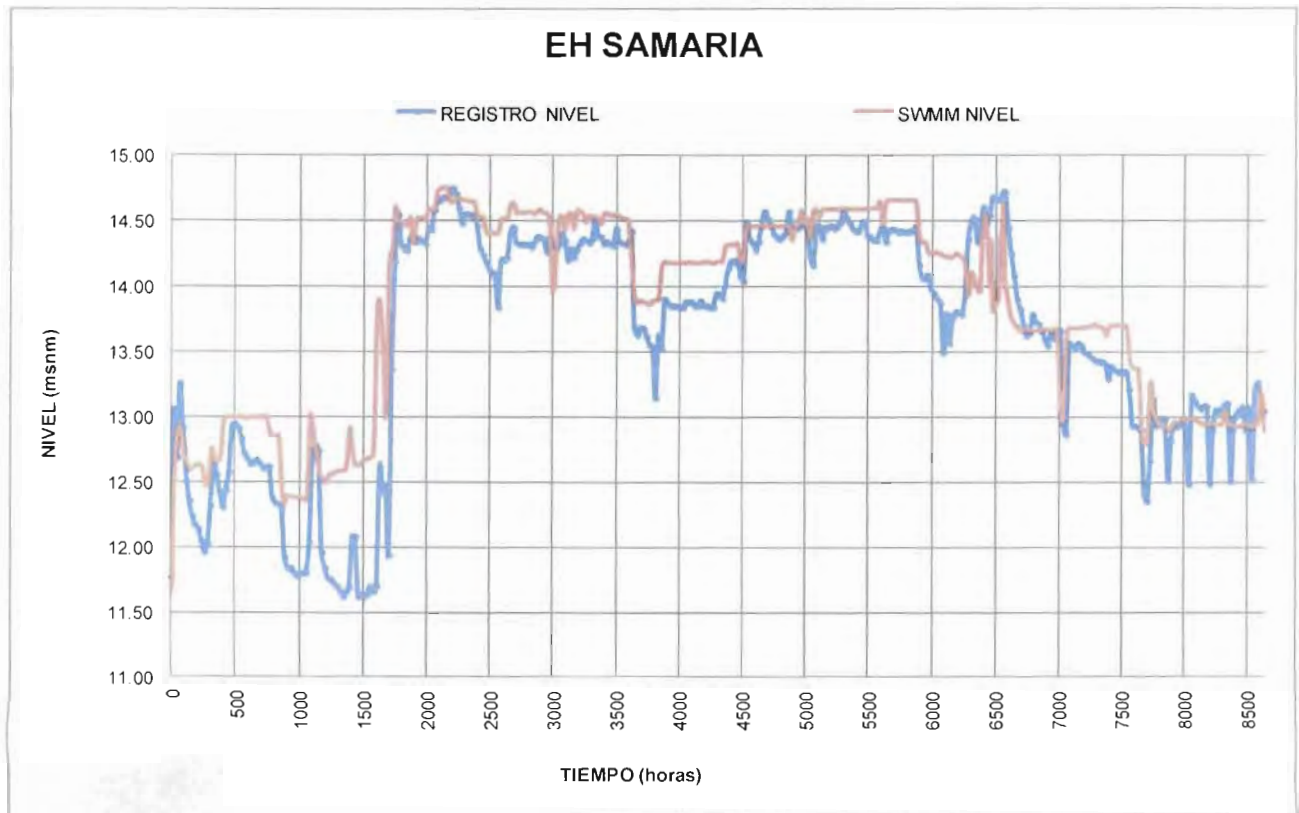
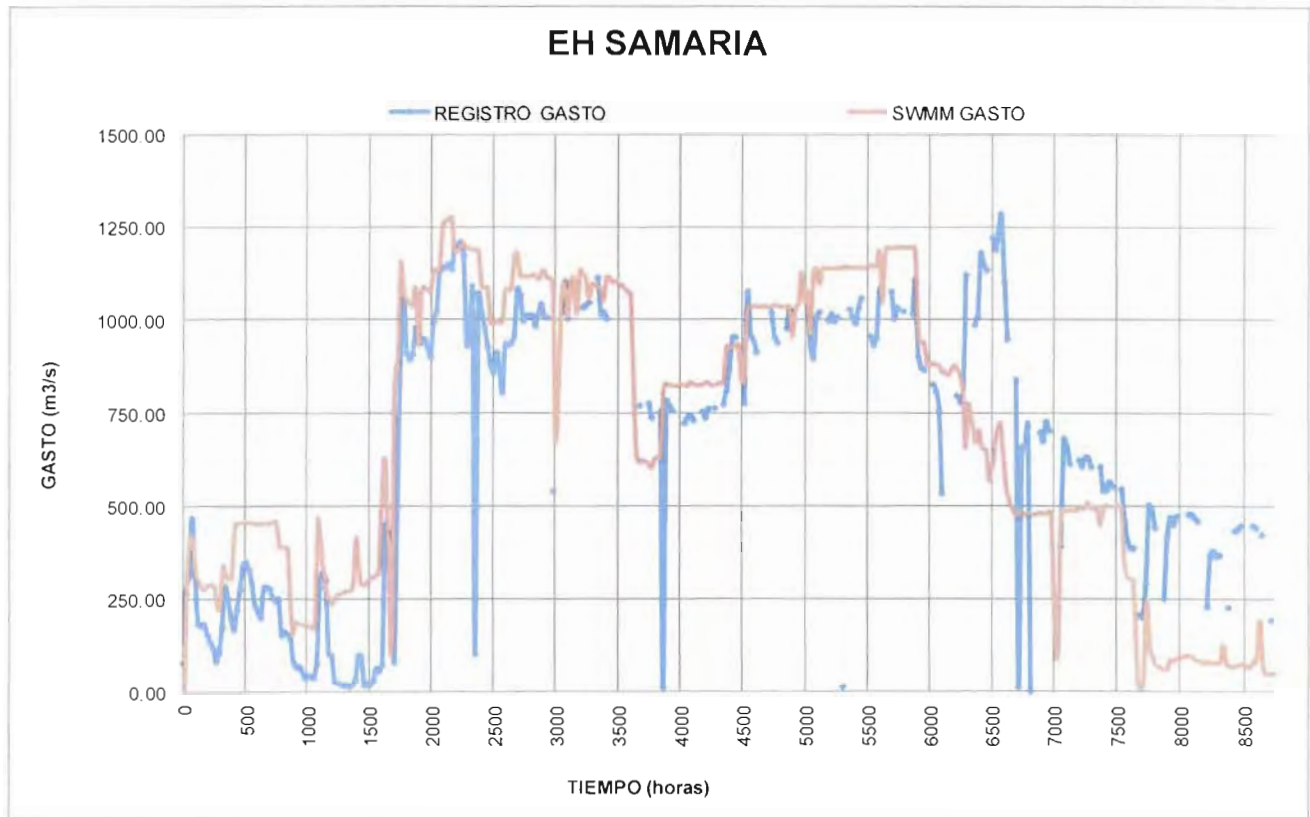


Figura 3.c.3 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

La figura 3.c.4 muestra la comparación de los resultados obtenidos a partir de la simulación en el SWMM v.5.0. Se observa que la simulación es similar a lo ocurrido durante el año 2008. En un 75 % del año el nivel del río Samaria se mantuvo por arriba de la cota 14. Esto mismo ocurre en la figura 3.c.4 para la variable de gasto.



**Figura 3.c.4 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.**

La zona donde se presenta desbordamiento se muestran en la figura 3.c.4, la cual muestra desbordamiento en la sección 29A correspondiente a los Puentes Manguito y San Cipriano, para el 31 de octubre de 2007.

Condiciones 2008

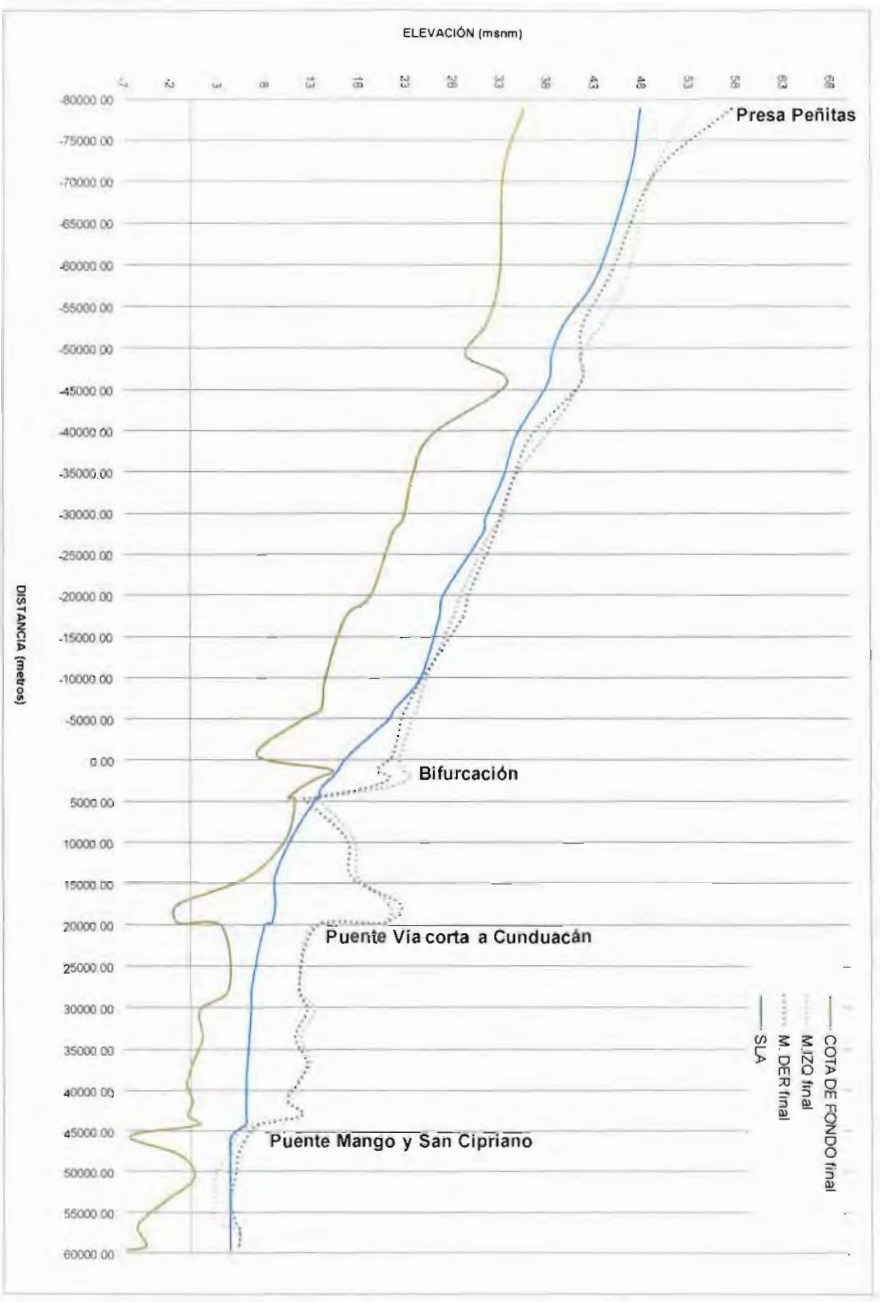


Figura 3.c.5 Perfil del agua (talweg) de la presa Peñitas hasta el río Samaria.  
FECHA:31/OCTUBRE/2008



### Condiciones 2009

La información que se utilizó para simular el evento del año 2009 fue:

- Hidrograma generado a partir de las descargas de la presa Peñitas hacia el río Mezcalapa. (Figura 3.c.7)
- Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria (Figura 3.c.8)

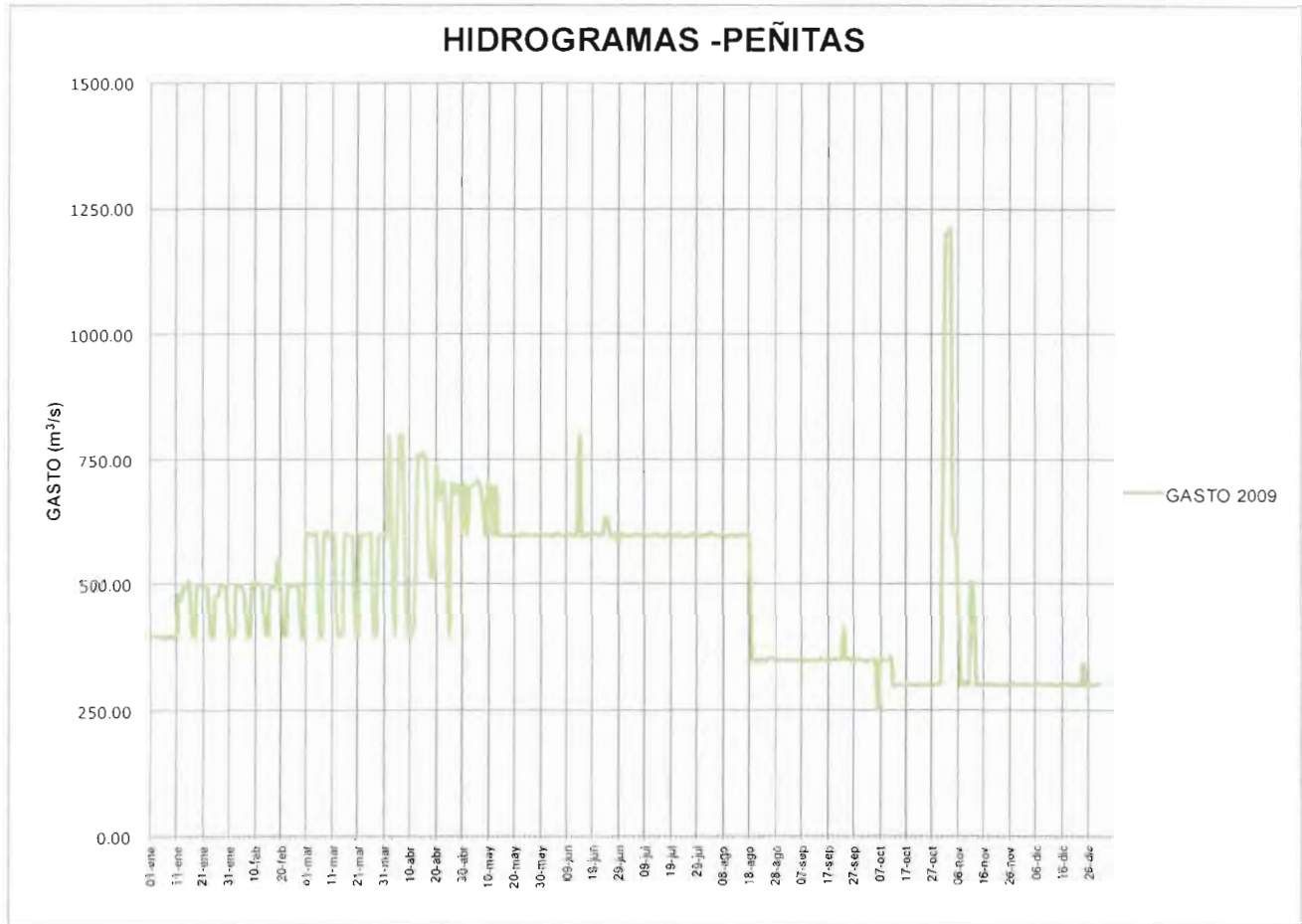


Figura 3.c.7 Hidrograma de entrada al sistema Mezcalapa

UF



Figura 3.c.8 Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria

### Resultados de la simulación

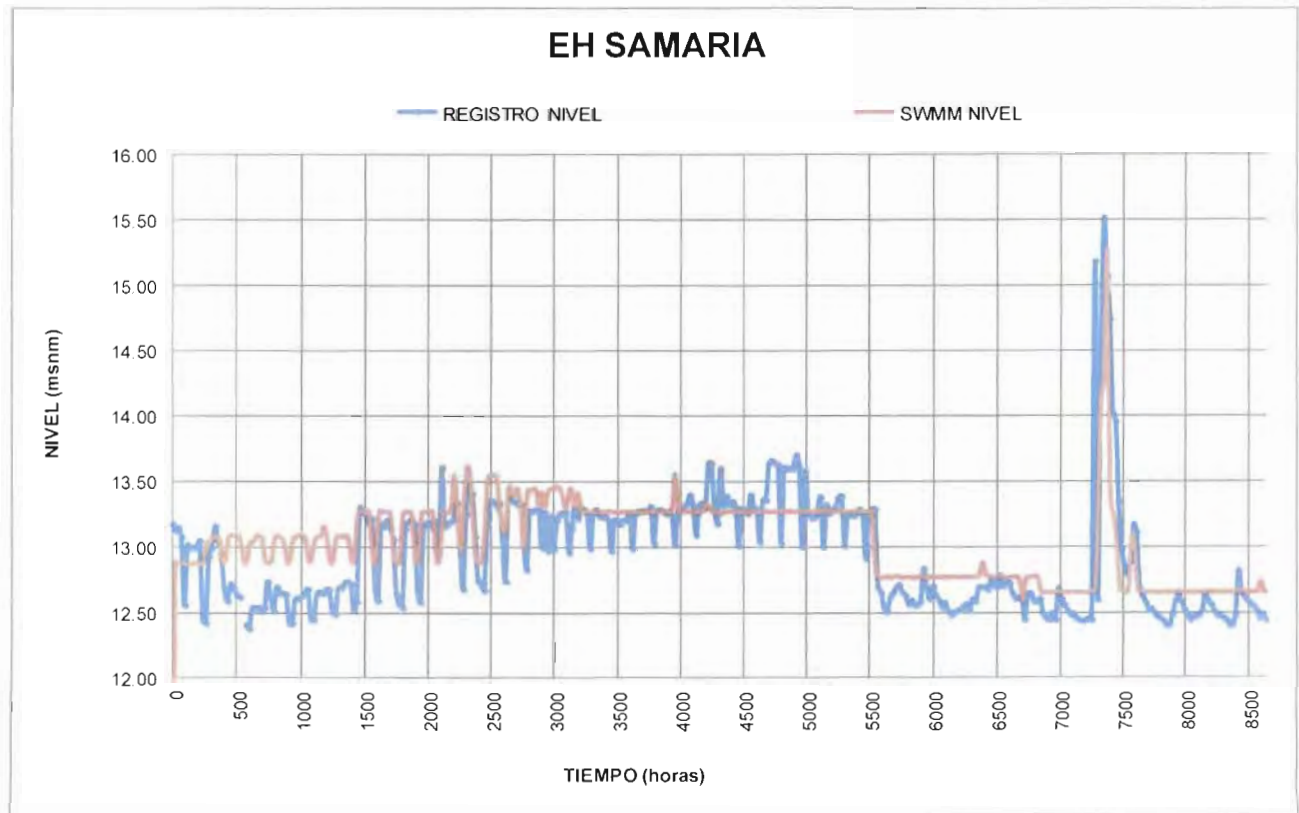


Figura 3.c.9 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

NF

La figura 3.c.9 muestra la comparación de los resultados obtenidos a partir de la simulación en el SWMM v.5.0. Se observa que la simulación es similar a lo ocurrido durante el año 2009. Se represento el pico del periodo, 28 de octubre al 05 de noviembre del 2009. Esto mismo ocurre en la figura 3.c.10 para la variable de gasto.

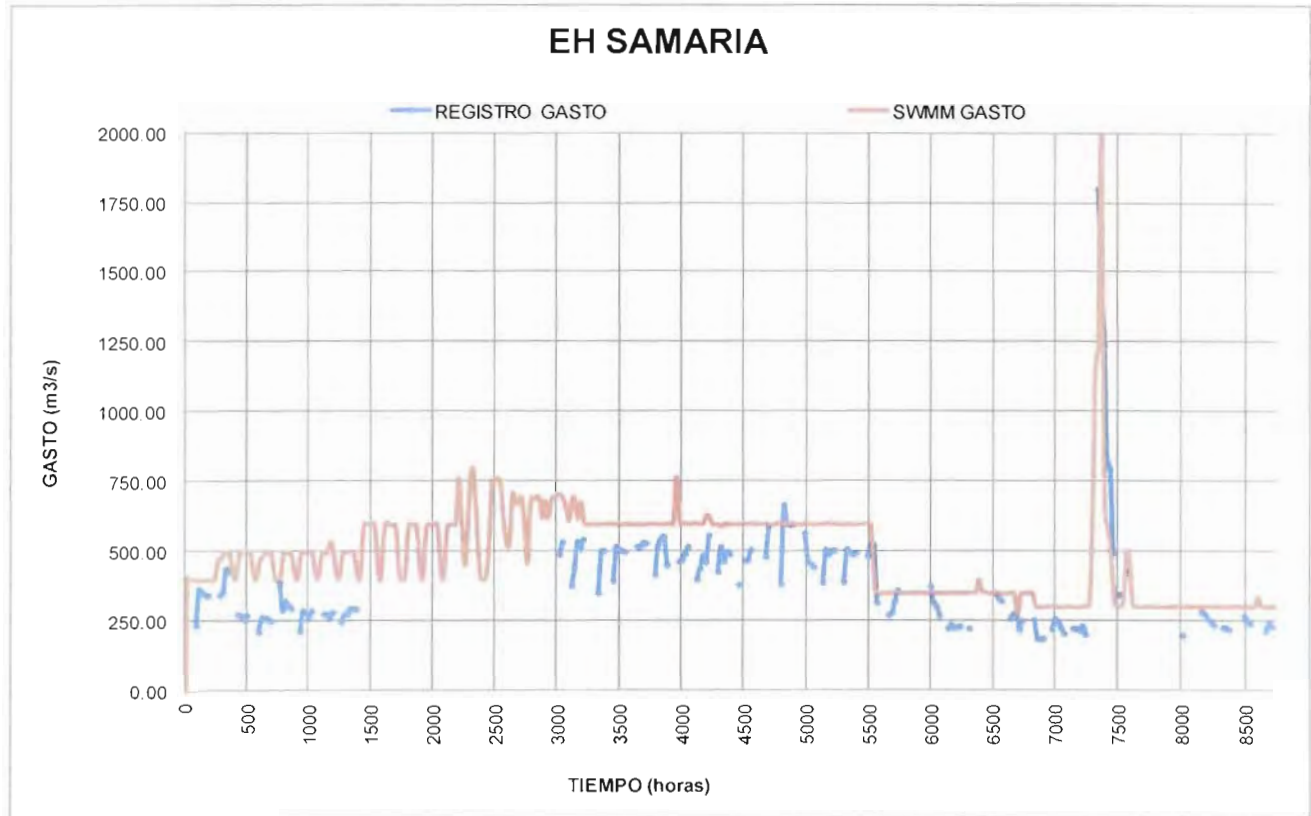


Figura 3.c.10 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

Condiciones 2009

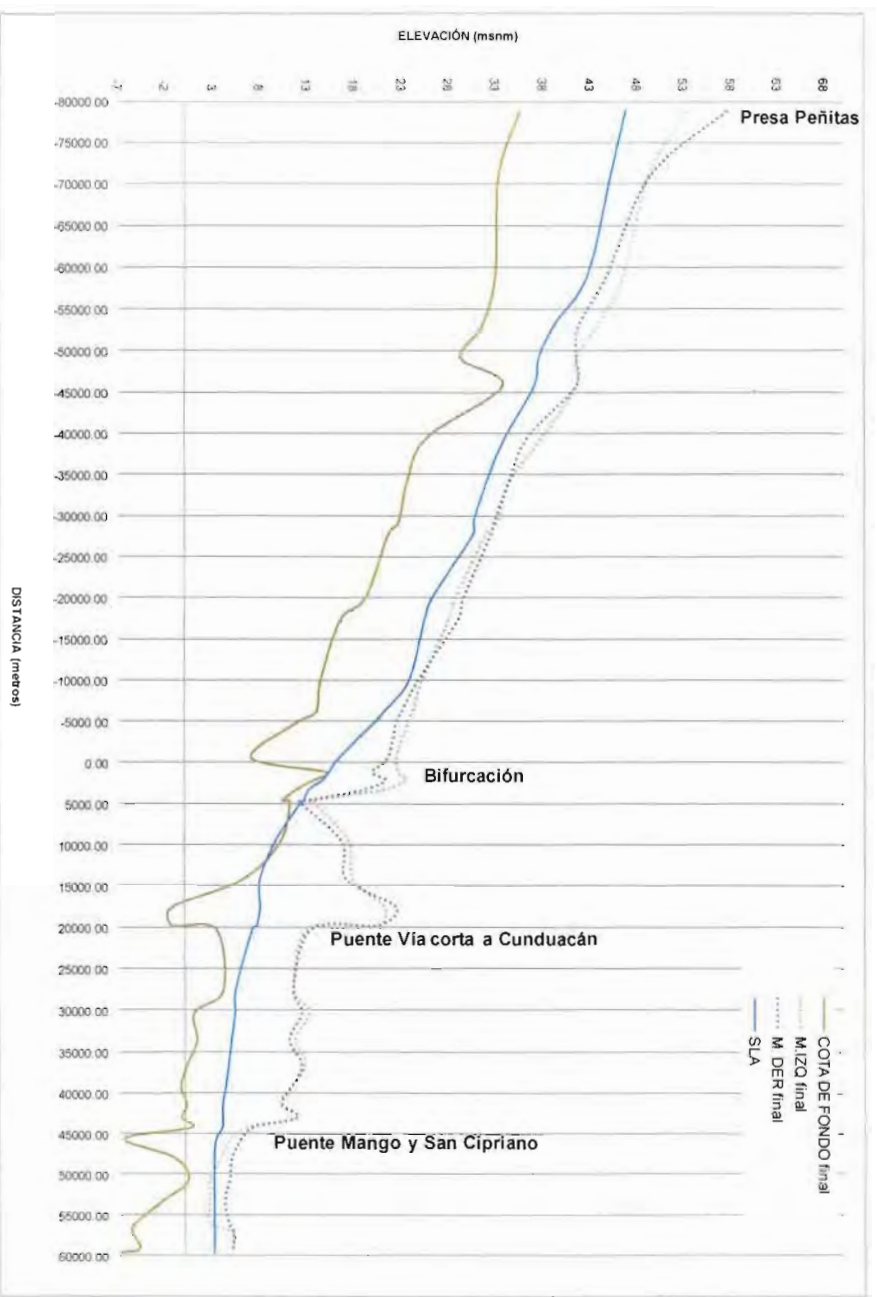


Figura 3.c.11 Perfil del agua (talweg) de la presa Peñitas hasta el río Samaria.  
FECHA:31/OCTUBRE/2009

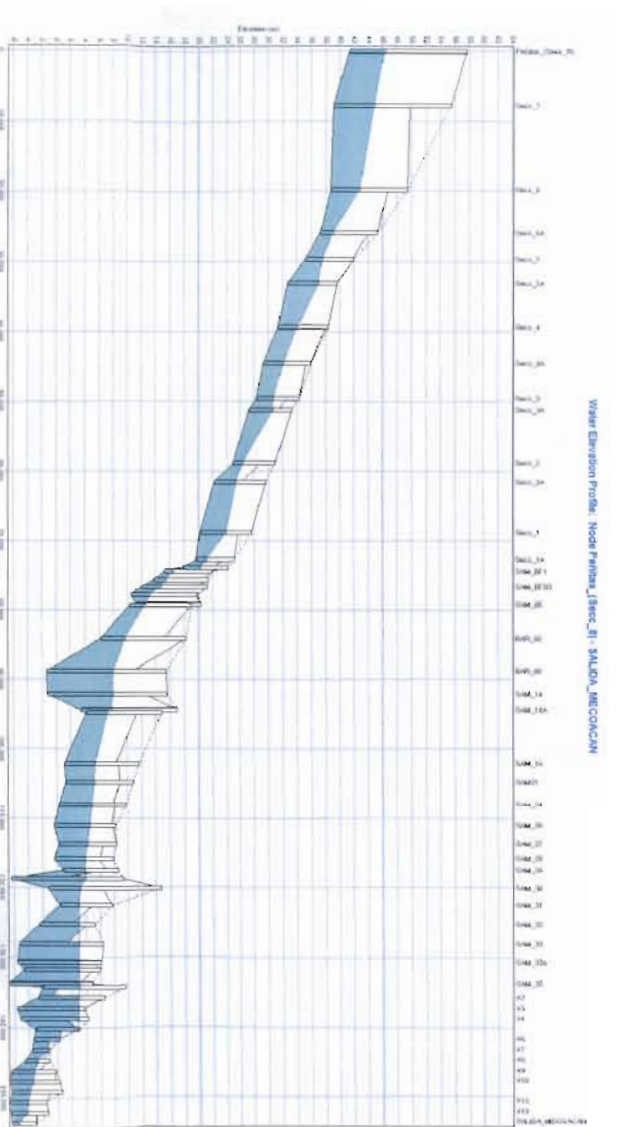


Figura 3.c.12 Talweg generado en el SWMM v.5.0 FECHA:31/OCTUBRE/2009

### Condiciones 2010

La información que se utilizó para simular el evento del año 2010 fue:

- Hidrograma generado a partir de las descargas de la presa Peñitas hacia el río Mezcalapa. (Figura 3.c.13)
- Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria (Figura 3.c.14)

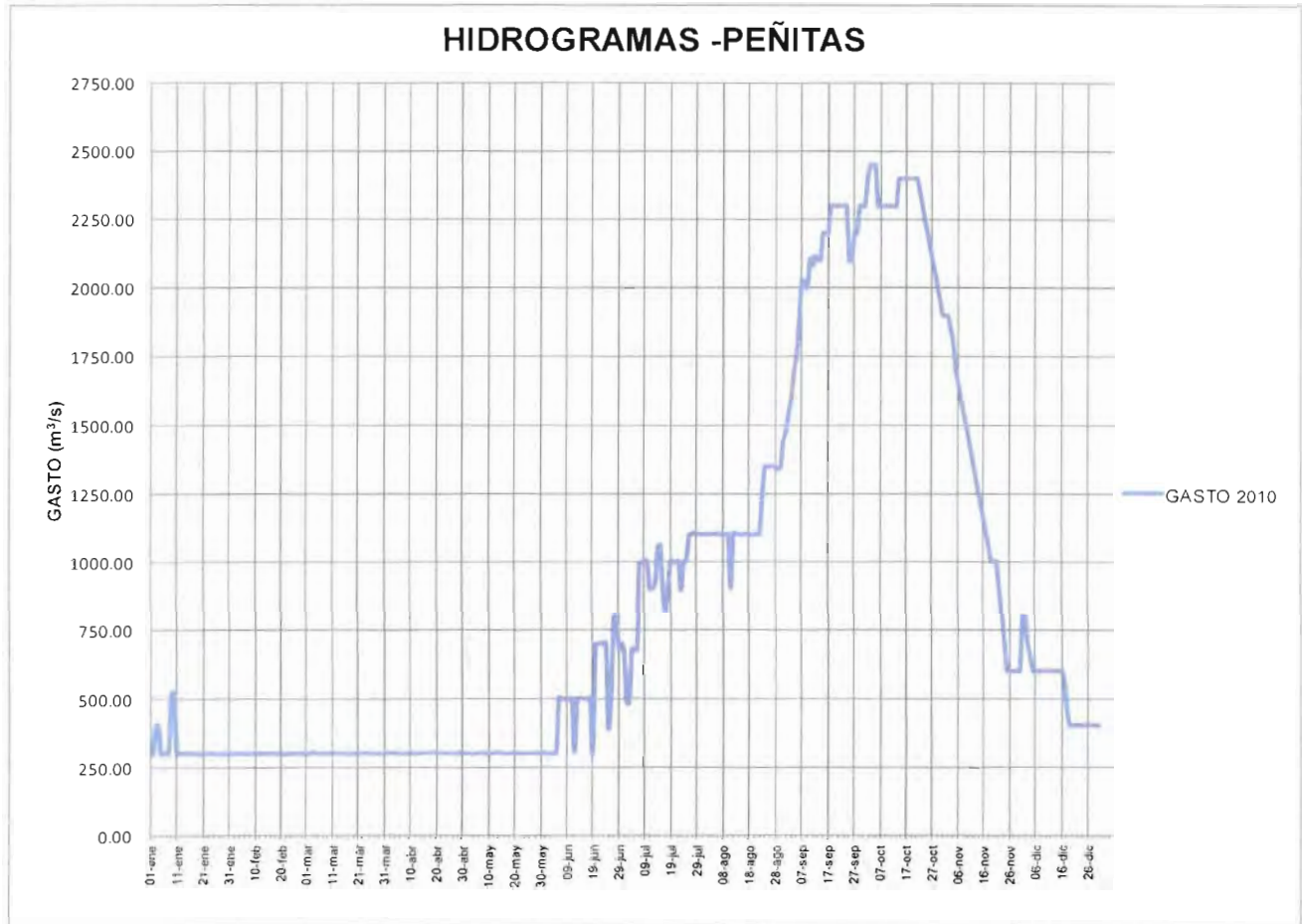


Figura 3.c.13 Hidrograma de entrada al sistema Mezcalapa



Figura 3.c.14 Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria

Resultados de la simulación

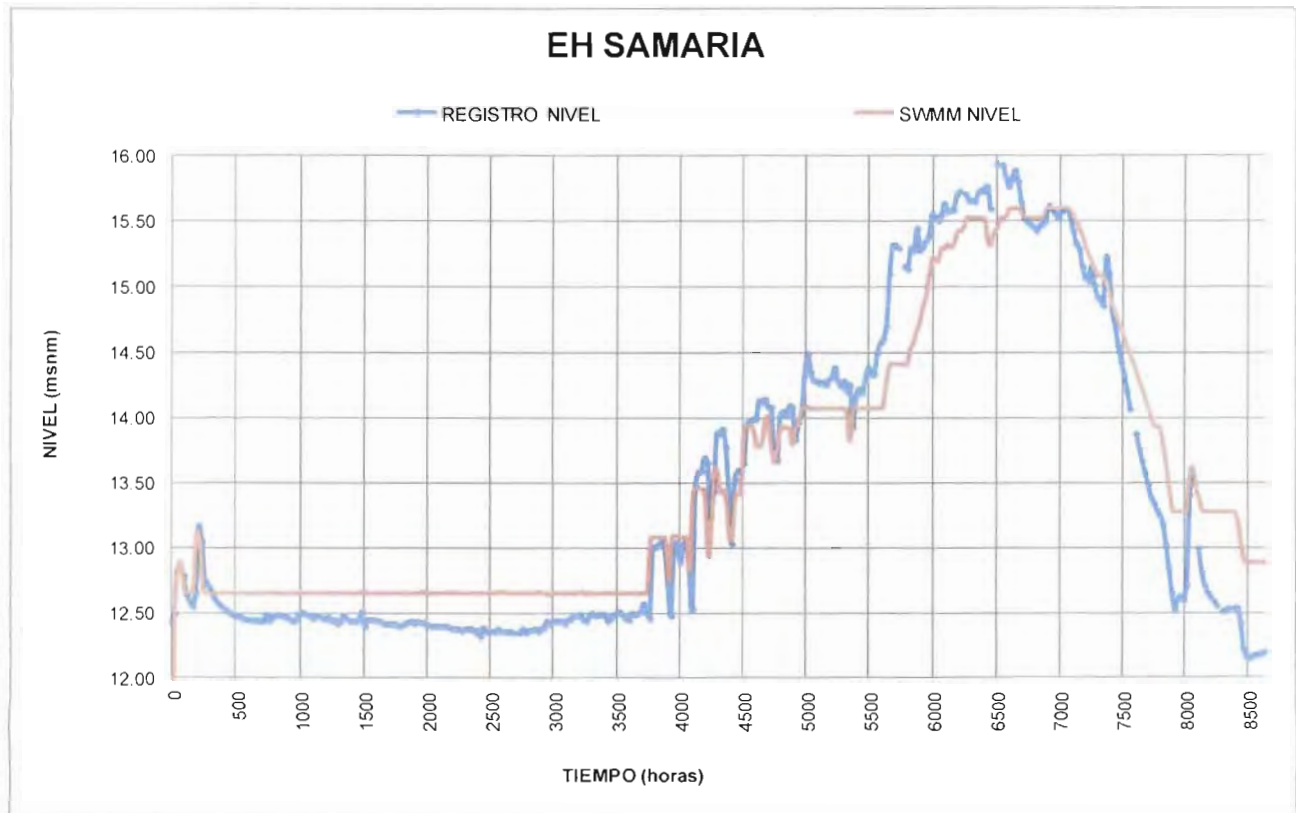


Figura 3.c.15 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

A handwritten signature or set of initials, possibly 'JF', written in black ink.

La figura 3.c.15 muestra la comparación de los resultados obtenidos a partir de la simulación en el SWMM v.5.0. Se observa que la simulación es similar a lo ocurrido durante el año 2009. Se represento el pico del periodo, 28 de octubre al 05 de noviembre del 2009. Esto mismo ocurre en la figura 3.c.10 para la variable de gasto.

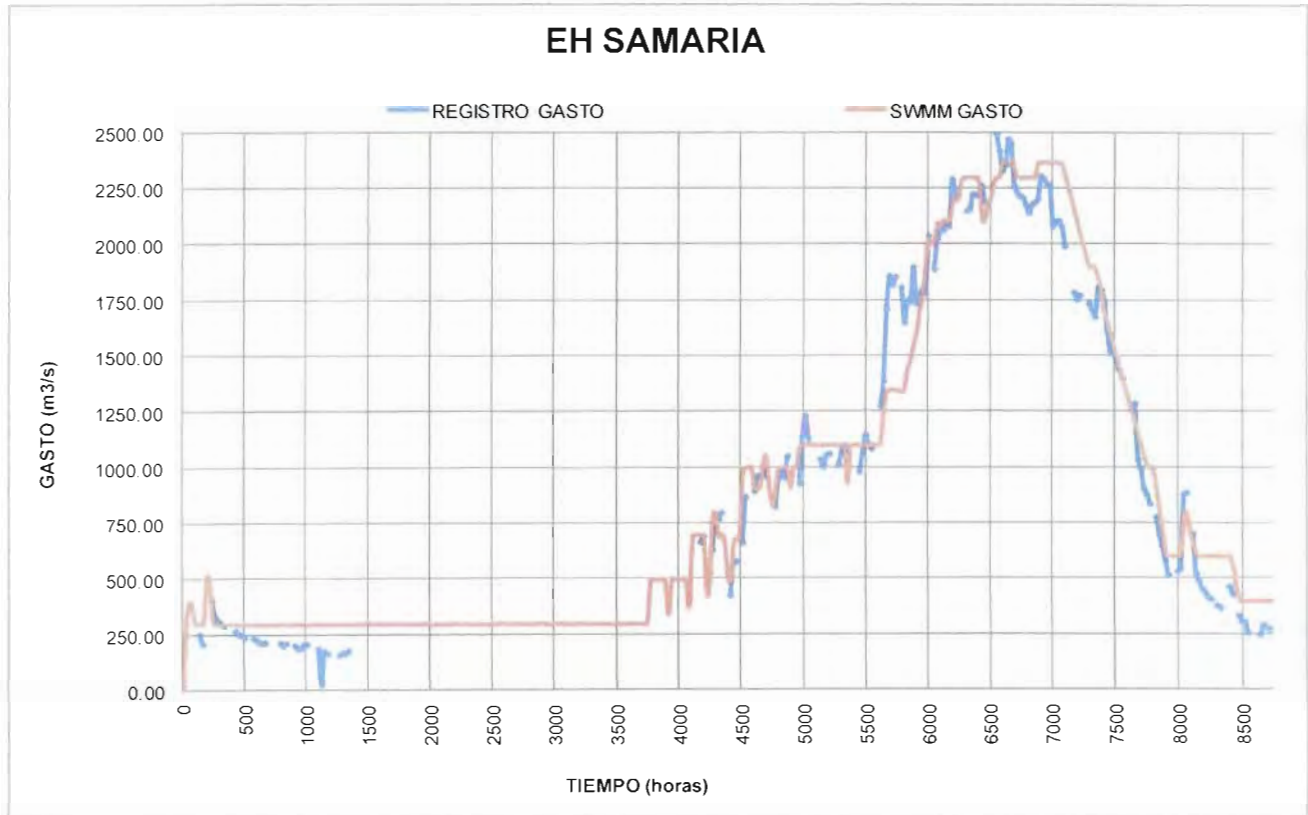


Figura 3.c.16 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

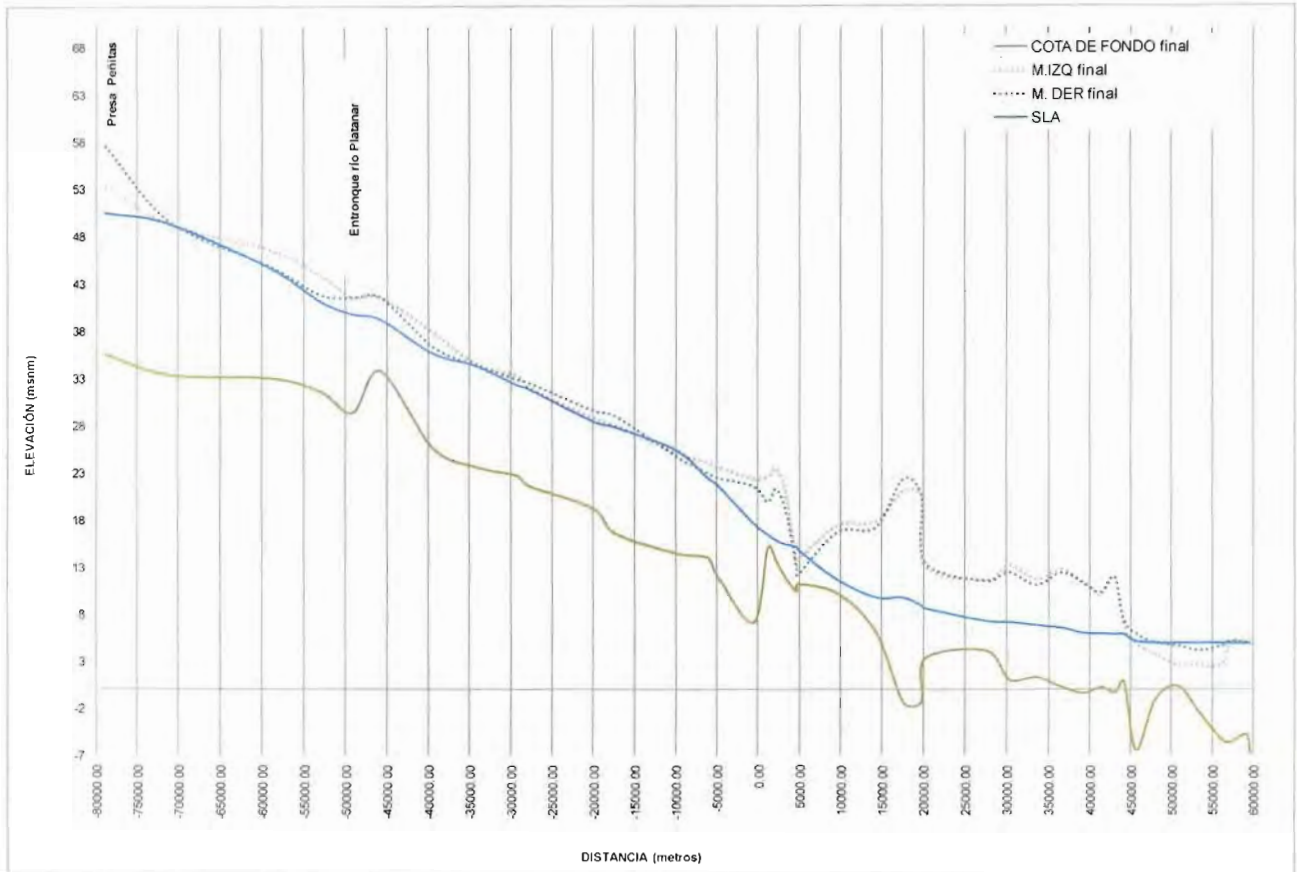


Figura 3.c.17 Perfil del agua (talweg) de la presa Peñitas hasta el río Samaria. FECHA:31/OCTUBRE/2010

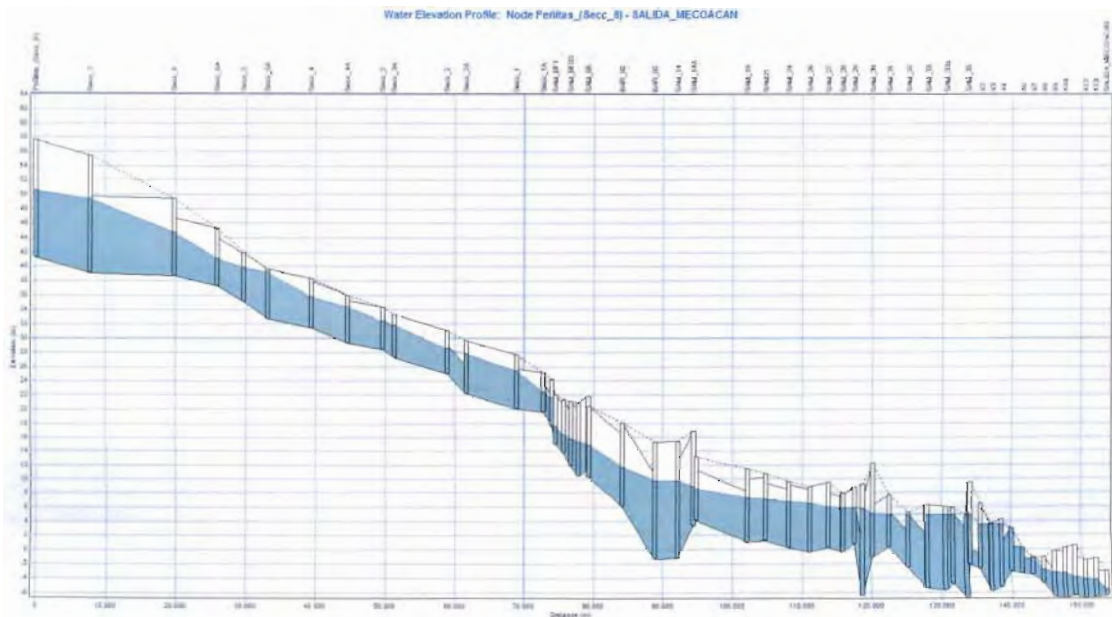


Figura 3.c.18 Talweg generado en el SWMM v.5.0 FECHA:31/OCTUBRE/2010

VF



### Condiciones 2011

La información que se utilizó para simular el evento del año 2011 fue:

- Hidrograma generado a partir de las descargas de la presa Peñitas hacia el río Mezcalapa. (Figura 3.c.19)
- Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria (Figura 3.c.20)

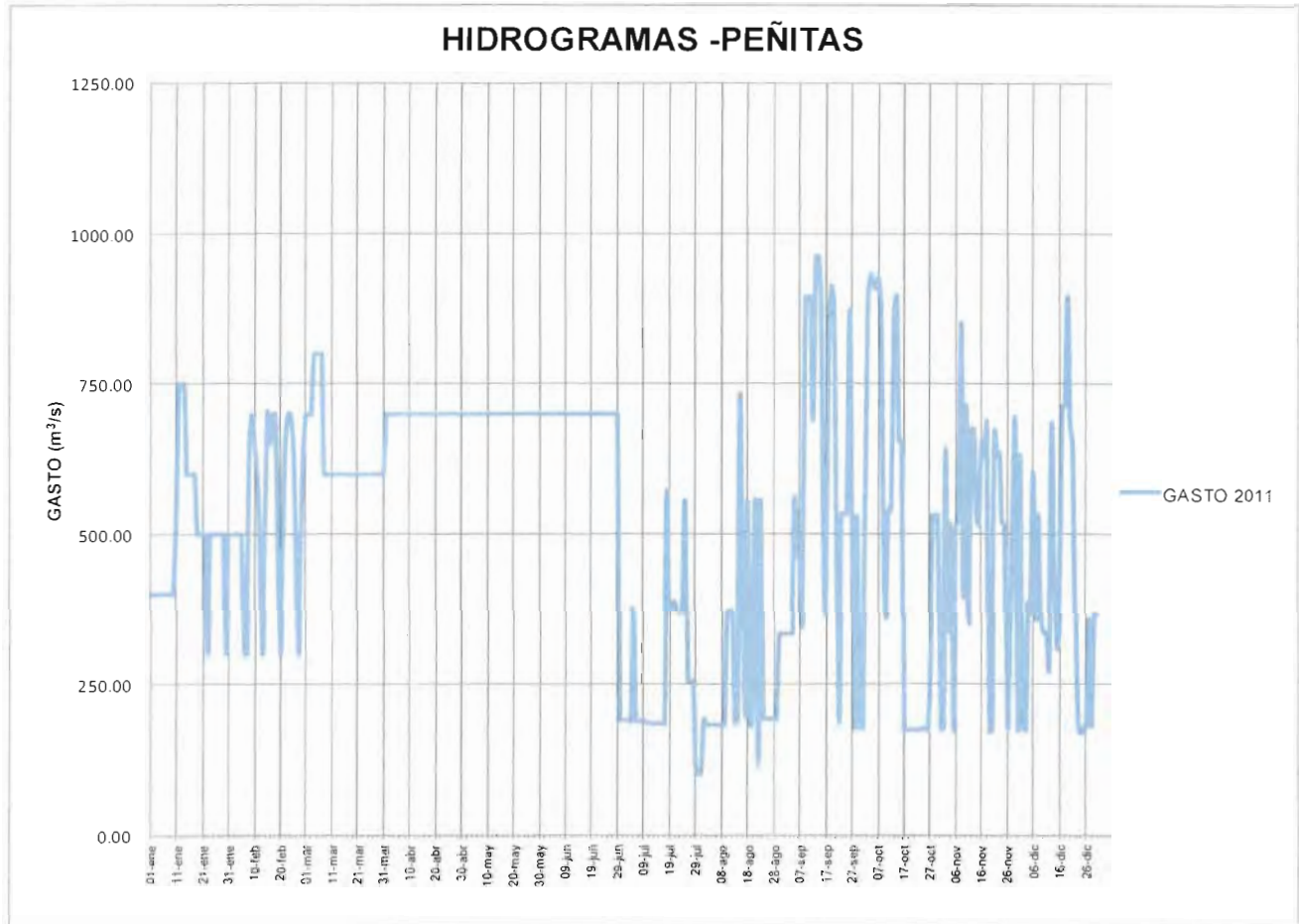


Figura 3.c.19 Hidrograma de entrada al sistema Mezcalapa



Figura 3.c.20 Esquema unifilar del sistema Mezcalapa-Samaria

Resultados de la simulación

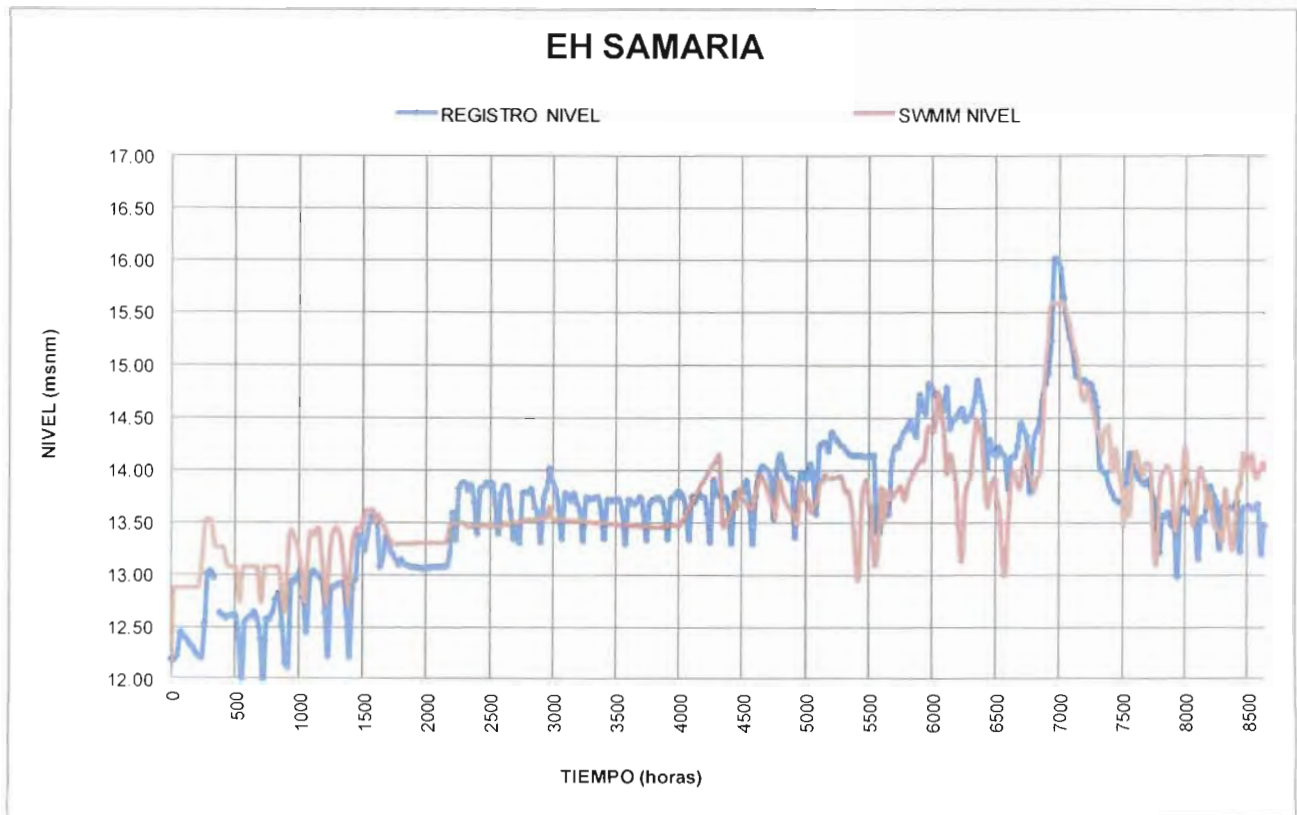


Figura 3.c.21 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

La figura 3.c.21 muestra la comparación de los resultados obtenidos a partir de la simulación en el SWMM v.5.0. Se observa que la simulación es similar a lo ocurrido durante el año 2011. Se represento el pico del periodo, 28 de octubre al 05 de noviembre del 2011. Esto mismo ocurre en la figura 3.c.22 para la variable de gasto.

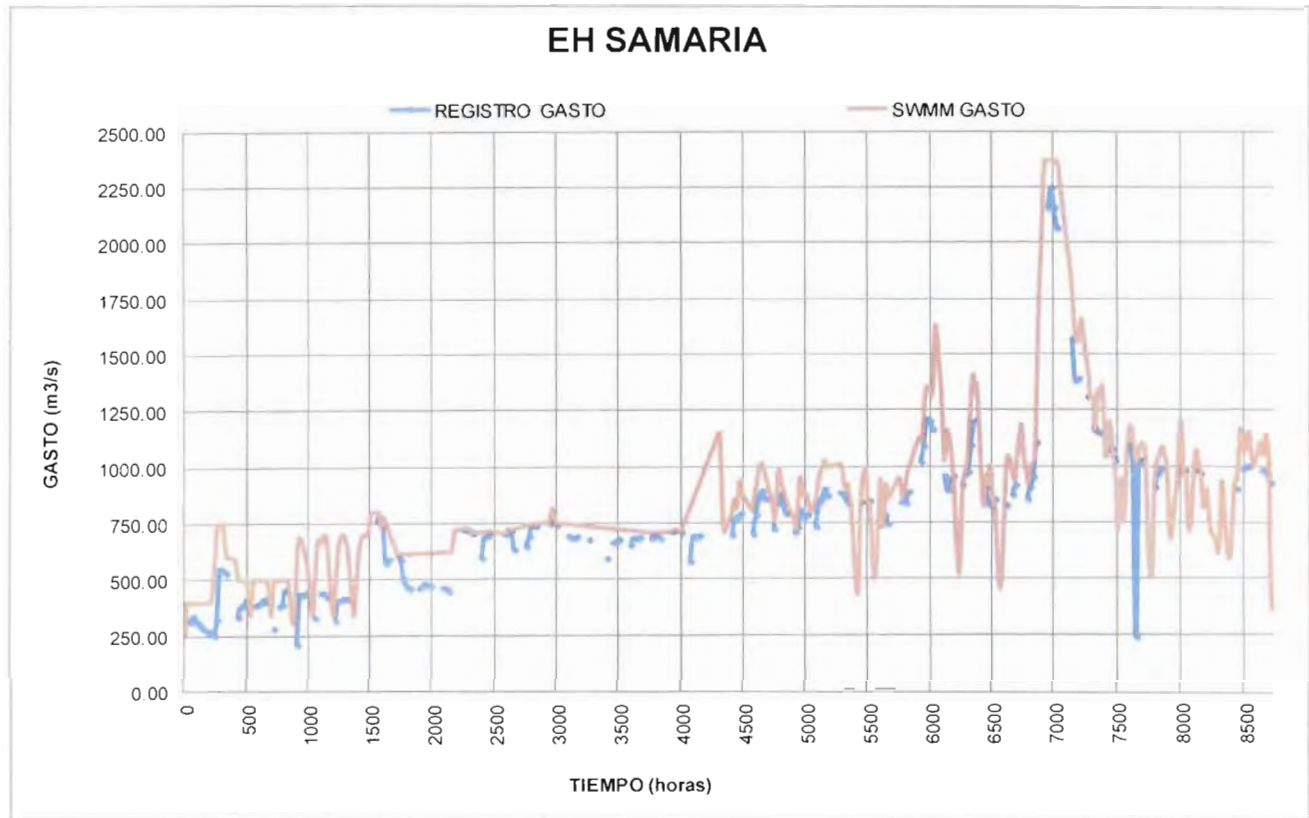


Figura 3.c.22 Comparación de resultados de la variable NIVEL obtenidos con la simulación vs mediciones en la estación hidrométrica Samaria.

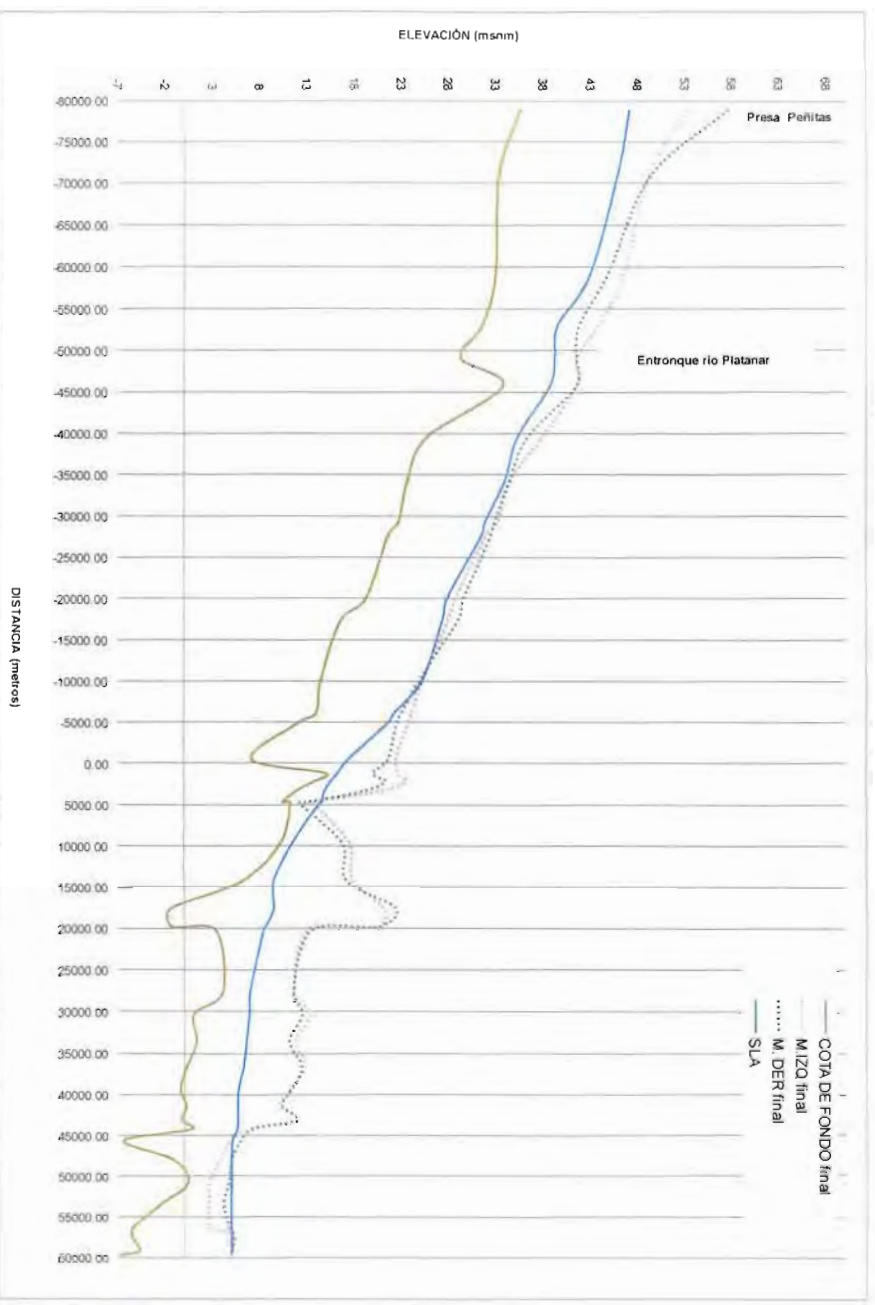


Figura 3.c.23 Perfil del agua (talweg) de la presa Peñitas hasta el río Samaria.  
FECHA:31/OCTUBRE/2011

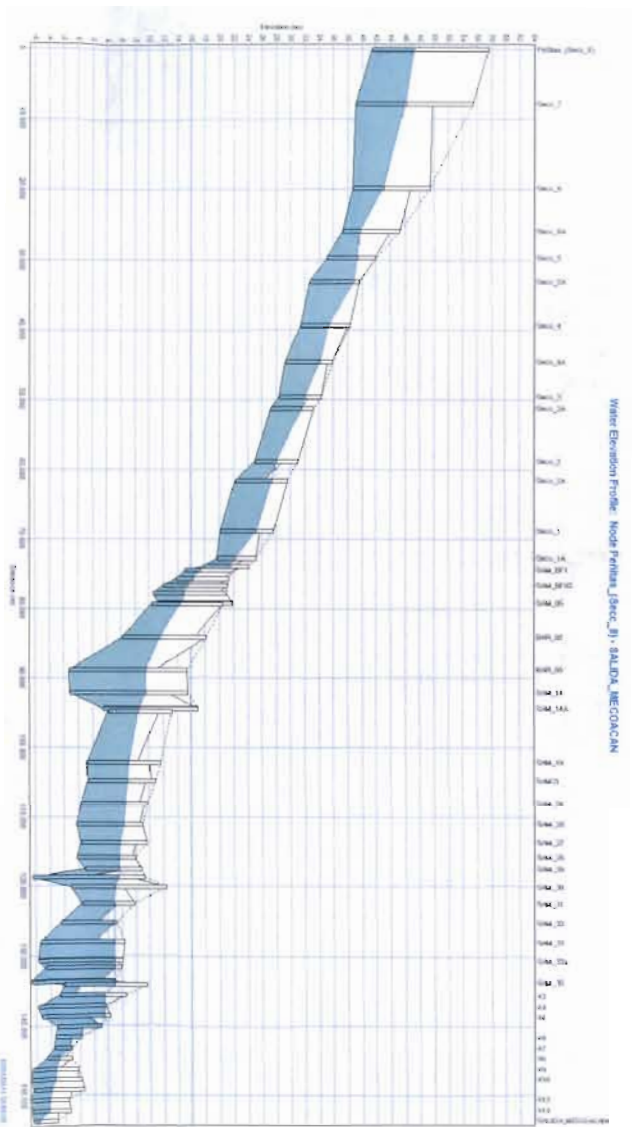


Figura 3.c.24 Talweg generado en el SWMM v.5.0 FECHA:31/OCTUBRE/2011

**d) Simulación del flujo en el sistema con avenidas asociadas a  $T_r = 10, 20, 50, 100, 500$  y  $1000$  años**

Tomando en cuenta que en la cuenca comprendida entre La presa Peñitas y la bifurcación Carrizal-Samaria solamente se tienen datos (parciales) de las estaciones Paredón y Platanar, se prefirió caracterizar las aportaciones históricas sumando, día a día, los gastos medios registrados en las estaciones hidrométricas Samaria y González (o Reforma cuando González no registró) y restando el valor correspondiente de las descargas de Peñitas, registrado en la estación del mismo nombre o bien obtenido del funcionamiento del vaso

**Gastos medios estimados, en  $m^3 \cdot s^{-1}$ , para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno**

$T_r$	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1071	848	759	688	628	582	544	512	484	464
5	1502	1189	1084	983	901	836	787	739	701	673
10	1787	1415	1299	1179	1082	1004	947	890	845	812
20	2060	1632	1506	1366	1255	1166	1101	1034	983	945
50	2414	1912	1773	1609	1480	1375	1301	1221	1162	1118
100	2680	2122	1974	1790	1648	1531	1450	1361	1296	1247
200	2944	2332	2173	1972	1815	1687	1599	1501	1430	1375
500	3292	2608	2437	2210	2036	1893	1795	1685	1606	1545
1000	3556	2817	2636	2391	2204	2049	1943	1824	1739	1674
2000	3819	3026	2835	2572	2371	2204	2092	1964	1872	1802
5000	4167	3301	3098	2810	2591	2410	2288	2148	2048	1971
10000	4431	3510	3296	2991	2758	2565	2436	2287	2181	2100

Es interesante observar que, en los 45 años para los que se cuenta con información, no se manifiestan valores que hagan pensar en que los gastos máximos anuales provienen de dos poblaciones, y a eso se debe que el evento de 2007, siendo muy importante, no modifica sustancialmente las estimaciones a las que se había llegado con la información disponible hasta el año 2000.

Cabe recalcar que los hidrogramas obtenidos no consideran las aportaciones por extracción de la presa Peñitas, ya que, las descargas de la presa Peñitas y particularmente su frecuencia, dependen de la operación de todo el sistema Grijalva situado aguas arriba.

Se presenta un resumen de los resultados del tránsito de las avenidas de diseño por peñitas, los cuales fueron tomados de Domínguez et al., 2006.

En la Tabla 3.d.1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos al simular el tránsito de las avenidas con periodos de retorno de 50, 100 y 10000 años. Para las avenidas de 50 y 100 años se consideró que Malpaso estaría descargando por las turbinas un gasto de  $1440 m^3 \cdot s^{-1}$ . Para la avenida de 10000 años se estudiaron dos alternativas: en la primera se simuló el tránsito de la avenida generada por la cuenca propia de Peñitas más la descarga de  $1440 m^3 \cdot s^{-1}$  de Malpaso, y en la segunda se simuló el tránsito de las descargas de Malpaso correspondientes a 10000 años de periodo de retorno.

**Tabla 3.d.1. Resumen de los resultados del tránsito de las avenidas de diseño por el vaso de la presa Peñitas (con salidas Malpaso)**

Elevación inicial (msnm)	Variable	Tr (años)			
		50	100	10,000	10,000 (hidrograma de salida por Malpaso)
87.4	$Q_{\text{máx Ingreso}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	9869	11354	21005	14509
87.4	$Q_{\text{máx Salida}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	4717	5761.54	13518.98	14504.38
87.4	$V_{\text{máx total almac}} \text{ ( millones de m}^3)$	313.31	332.43	422.02	431.55
87.4	$Elev_{\text{máx}} \text{ (msnm)}$	90.60	90.87	92.11	92.24

Las avenidas de diseño incluyen el gasto de 1440 m<sup>3</sup>/s descargado por Malpaso y la forma del pico de la avenida del 2003

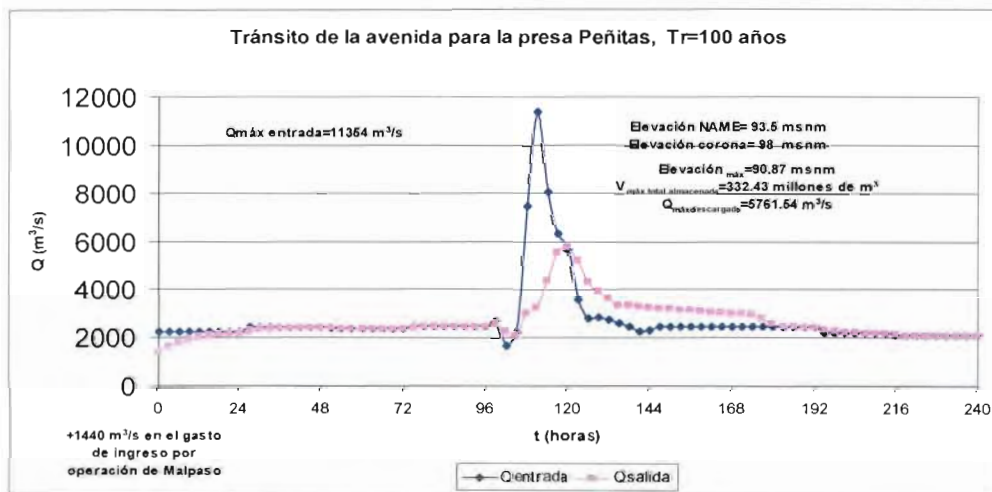
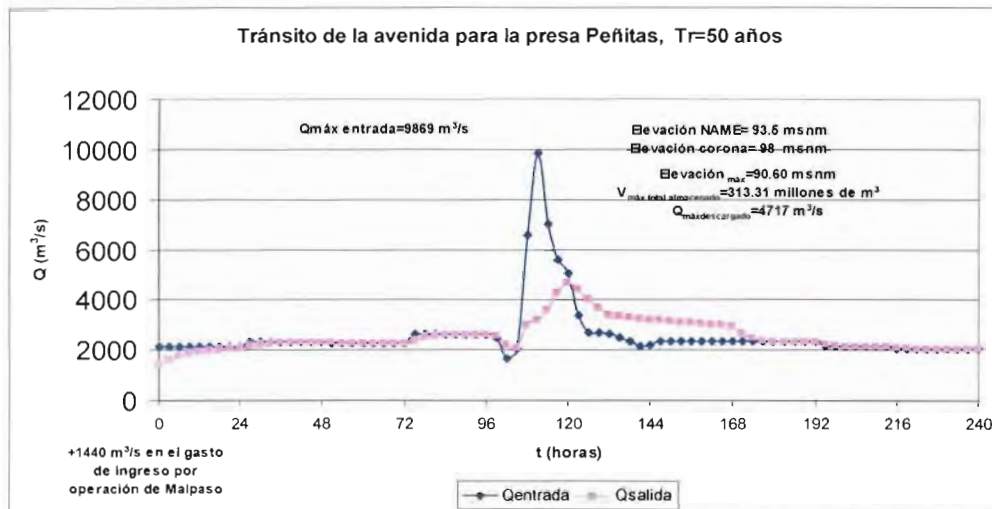
Nota: Tomando en cuenta resultados proporcionados por la función Doble Gumbel para 1 día y Gumbel para duraciones de 2 a 10 días

Los resultados de los tránsitos de avenidas muestran que, para avenidas con periodos de retorno hasta de 10000 años no se rebasaría el NAME.

Para la avenida por cuenca propia, de 10,000 años y una descarga de Malpaso de 1440 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, el nivel máximo del agua quedaría 1.4 m abajo del NAME.

Si se considera que al vaso de Peñitas ingresa la descarga de Malpaso correspondiente a su avenida de Tr = 10000 años, el nivel máximo quedaría 1.26 m. abajo del NAME.

En la figura 3.d.1 se muestra el resultado de los tránsitos de las avenidas de 50 y 100 años, respectivamente. En ambos casos se consideró que al ocurrir las crecientes en la cuenca de Peñitas, la presa de Malpaso estaría descargando por las turbinas un gasto de 1440 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.



**Figuras 3.d.1. Tránsitos de las avenidas de 50 y 100 años por el vaso de la presa Peñitas**

La experiencia histórica muestra que cuando se han presentado crecientes importantes en la cuenca de Peñitas que han obligado a utilizar su vertedor, ha sido posible cerrar la obra de toma de Malpaso para evitar que sus descargas se sumen a dichas crecientes

Esto ha sido posible porque las crecientes que produce la cuenca de Peñitas son de corta duración, de forma que el volumen que se almacena en Malpaso al impedir que descargue no es muy importante en comparación con su volumen de regulación. Así, un gasto de 1440 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, durante un día equivale a 124.4 millones de m<sup>3</sup>.

Adicionalmente, la ocurrencia simultánea de crecientes importantes en las dos cuencas es poco probable, como se muestra en la Tabla 3.d.2. En dicha tabla se observa que cuando en la cuenca de Peñitas ocurrieron gastos medios diarios mayores que 2 000 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (años 1967, 1979, 2000 y 1977), solamente en una ocasión (en 1979) se presentó un gasto relativamente importante (3 207 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>) en la cuenca de Malpaso, y que cuando ocurrieron gastos medios diarios mayores que 4 000 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> en Malpaso, los gastos en Peñitas no pasaron de 1400 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

Tabla 3.d.2. Gastos medios diarios máximos anuales registrados para las cuencas de Malpaso y Peñitas

P E Ñ I T A S				MALPASO					
				ANUAL					
Q máximo	Año	Mes	Día	Qmed max diario	Año	Mes	Día	Peñitas	
Ordenado								Simultáneo	Fecha
4054	1967	12	23	7505	1980	9	25	1323	29-Sep
2749	1967	9	29	6436	1963	9	24	1153	08-Oct
2365	1979	9	16	4233	1986	5	31		
2012	2000	10	9	4117	1998	9	10	1609	21-Oct
2010	1977	11	11	3750	1973	9	3		
1913	1999	10	20	3602	2003	10	6		
1908	1972	12	16	3297	1989	9	23		
1892	1968	10	22	3207	1979	9	16		
1888	1959	10	16	2844	1978	3	22		
1868	1974	9	20	2689	1959	10	18		
1861	1970	9	29	2528	1970	9	12		
1849	1973	8	21	2473	1999	10	1		
1836	1961	10	16	2404	2005	10	5		
1797	1967	10	18	2304	1988	9	5		
1782	2004	1	10	2192	1965	10	23		
1759	1973	10	24	2130	1966	10	3		
1748	1979	12	18	2101	1969	9	30		
1691	2003	11	28	2007	1966	9	8		
1609	1998	10	21	1994	2001	9	29		
1583	1993	10	23	1978	1968	9	24		
1562	1989	10	19	1917	1973	8	31		
1561	1959	4	14	1904	1962	9	30		
1556	1988	10	4	1877	1984	9	13		
1549	1969	11	20	1818	1988	8	15		
1540	1990	12	4	1780	1988	10	4		
1527	1970	10	1	1774	1960	8	17		
1527	1978	12	10	1766	1986	6	1		

En resumen, para las descargas de Peñitas con periodos de retorno de 50 y 100 años, se obtienen gastos de 4,700 y 5,700 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, respectivamente, si se considera que a su cuenca ingresan 1,440 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> descargados por las turbinas de Malpaso. Tomando en cuenta la poca simultaneidad de los escurrimientos máximos en las dos cuencas, se considera que estos valores pueden reducirse a 3 700 y 4 700 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, respectivamente, si se garantiza un sistema de medición automática de al menos 6 a 8 estaciones pluviográficas en la cuenca de Peñitas más dos hidrométricas en la cuenca de Malpaso (Las Flores y Santa María)

JF



Para esta parte del estudio se tomo el modelo calibrado del año 2008 y los hidrogramas a diferentes periodos de retorno. En la figura siguiente se muestran los hidrogramas en periodos de retorno de 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años.

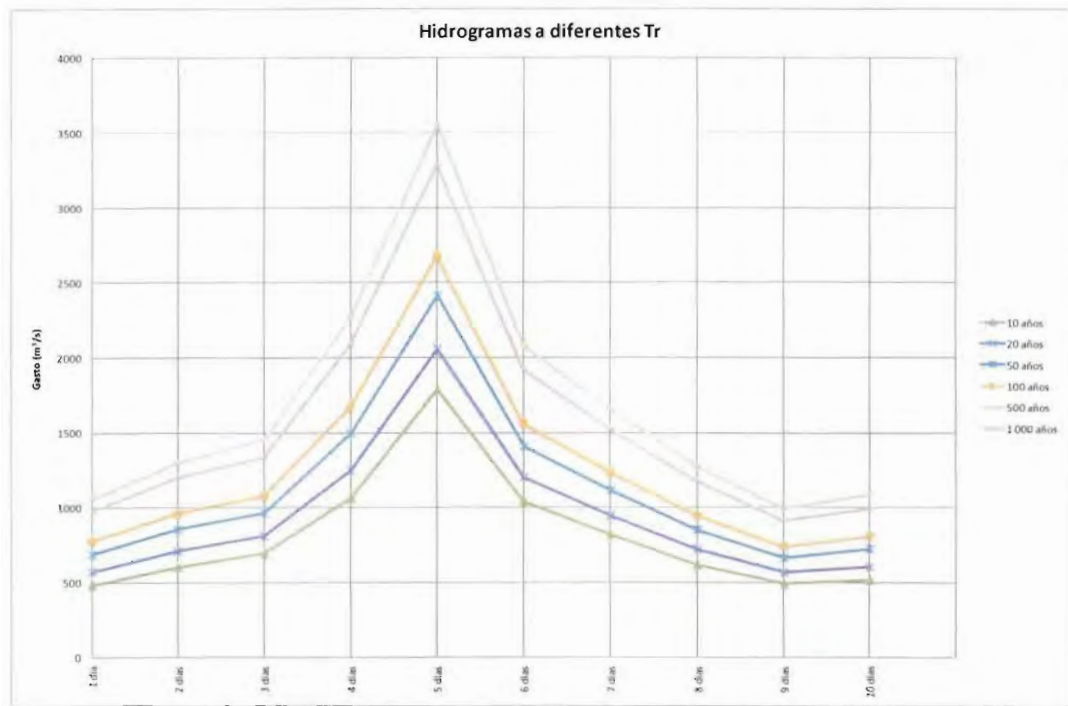


Figura 3.d.2 Hidrogramas a diferentes periodos de retorno

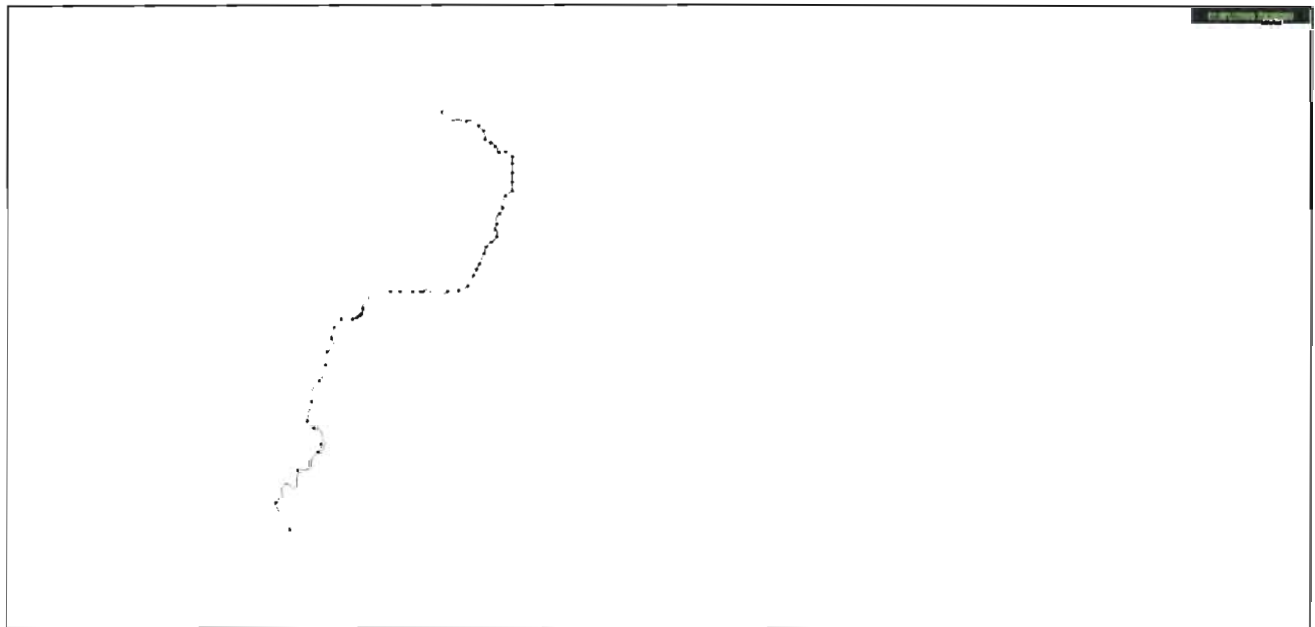


Figura 3.d.3 Sistema Mezcalapa-Samaria en condiciones 2008

Estos hidrogramas fueron transitados con una duración de 10 días con reporte de datos cada 12 horas, se obtuvieron los siguientes datos:

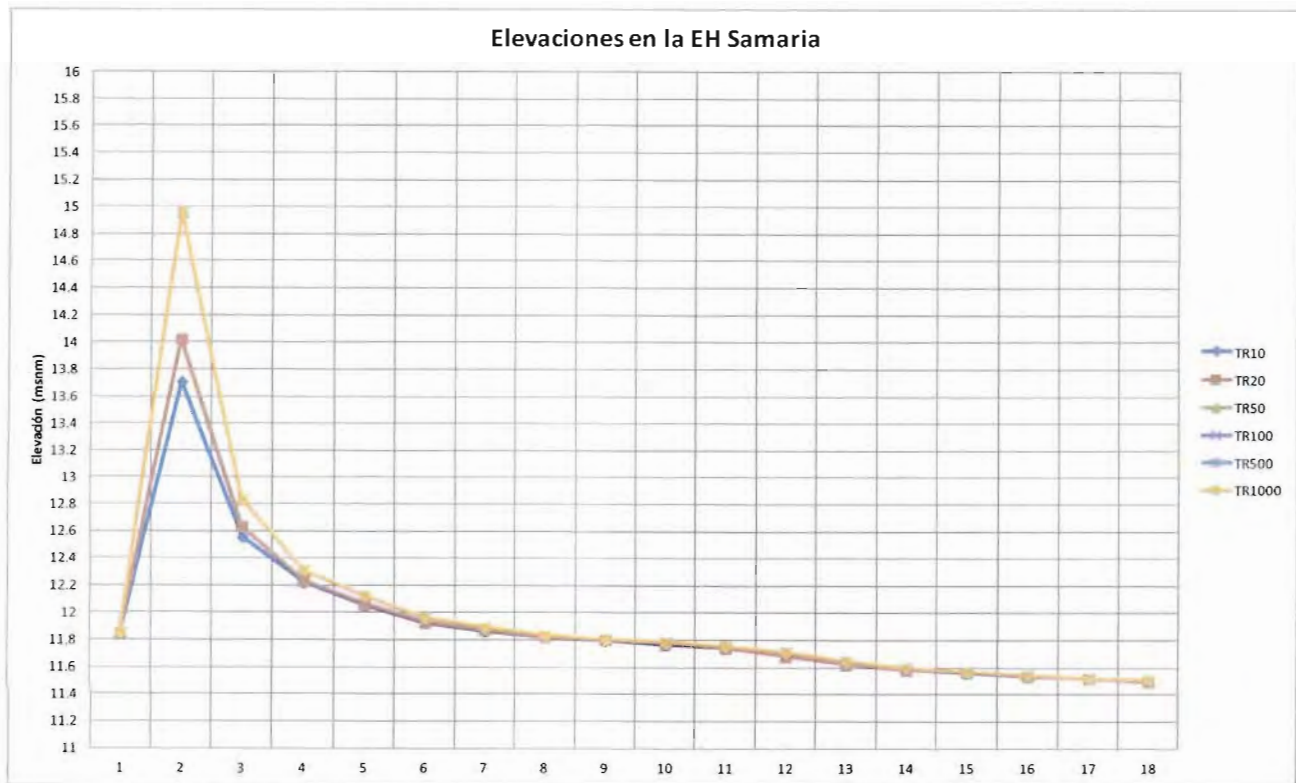


Figura 3.d.4 Limnigrama en la zona de la EH Samaria

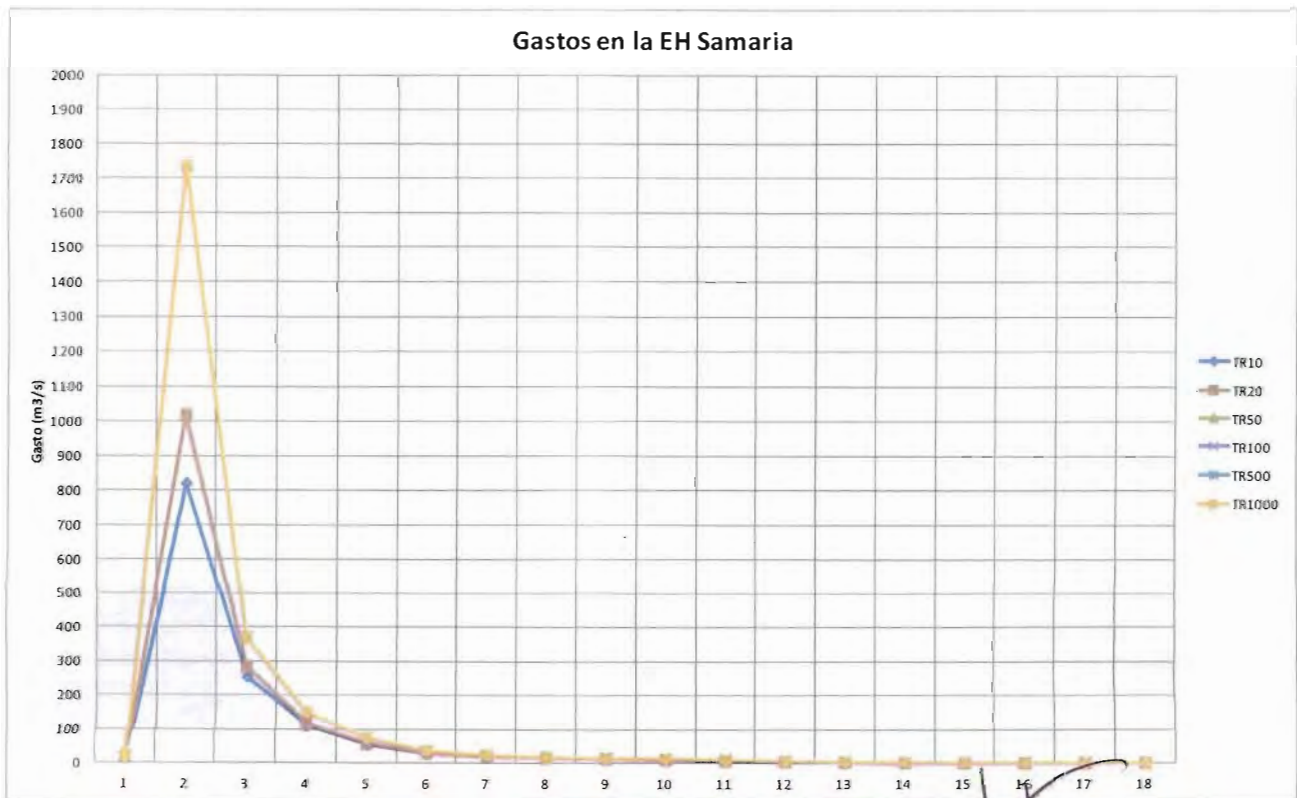


Figura 3.d.5 Hidrograma en la zona de la EH Samaria

## Resumen

El objetivo general de este capítulo, consistió en la generación de información y la aplicación de modelos matemáticos, a fin de valorar los efectos de drenaje de grandes caudales hacia los sistemas lagunares y partes bajas del Estado de Tabasco iniciando en la descarga de la presa Peñitas. Para ello, se consideró el estudio de todos los procesos físicos involucrados en el incremento del riesgo de inundación de las zonas bajas costeras (p.ej. gastos extraordinarios, variación en el nivel del mar y condiciones simultáneas).

Así entonces, los trabajos realizados bajo este tema estratégico se desarrollaron a través de dos vías: Por una parte se recopiló información base a través de investigación bibliográfica de la información topográfica la cual se tomó de tres estudios elaborados por el Instituto de Ingeniería, el primero de 1990, el segundo de 2008 y por último del año 2010. De este punto nace la recomendación de que la CONAGUA realice un levantamiento topográfico de la zona actualizado para disminuir la incertidumbre asociado a los modelos matemáticos por calidad de información, y por otra se adaptó y aplicó un modelo numérico (SWMM) que permitió estudiar todos los procesos involucrados en la generación de inundación de la zona de estudio. A partir de la investigación realizada se rescatan las siguientes conclusiones:

- a) Respecto al sistema que contiene la desembocadura del río González, los resultados numéricos indican que la gestación de un evento de inundación, está determinada por los gastos que transitan en el río, más que por las condiciones de frontera en la desembocadura del mismo.
- b) De acuerdo con los resultados numéricos, la zona más vulnerable dentro de este sistema, fue la que componen las lagunas de El Proyecto y Bayasucia, que representa una zona baja que se encuentra deshabitada, la cual presentó inundaciones bajo todos los escenarios extremos de operación simulados.
- c) Modelaciones bajo las condiciones gastos extraordinarios de operación indicaron que las poblaciones más expuestas a los efectos de estas condiciones son: Hidalgo, Cuauhtémoc, Vicente Guerrero e Ignacio Allende.
- d) Resultados de todos los escenarios extraordinarios simulados, indicaron que la Laguna de Mecoacán funciona hidráulicamente de forma muy eficiente, como un amortiguador natural de fenómenos extremos en la zona. Las características de flujo encontradas en la laguna evitan la generación de grandes inundaciones en las zonas aledañas.

Dentro del análisis con diferentes periodos de retorno se observó que el sistema soporta eventos menores a 100 años mayores a este periodo el sistema no conduce la avenida. Los resultados numéricos indican que desde el inicio de la simulación, se reportan grandes problemas de desbordamiento e inundación. Esto indica la importancia de generar obras necesarias para conducir el flujo extraordinario a través del dren Victoria y el río, con el objetivo de evitar que el flujo de inundación alcance a las zonas habitadas.

En cuanto al tema del sistema de medición en la zona de estudio, este es escaso ya que solo se contó con una estación hidrométrica convencional para calibrar el modelo, esta es EH Samaria. Se recomienda incrementar el sistema de medición sobre el río Mezcalapa antes de la bifurcación y sobre el río Samaria a la altura de la localidad de Oxiacaque, así como en la zona de la laguna de Mecoacán.

## REFERENCIAS

- Darwish M.S. and Moukalled F. (2003). *TVD schemes for unstructured grids*, Int. J. of Heat and Mass Transfer, 46, 599-611.
- Hirsch, C. (1990). *Numerical Computation of Internal and External Flows, Volume 2: Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows*, Wiley.
- Jawahar P. and H. Kamath (2000). *A high-resolution procedure for Euler and Navier-Stokes computations on unstructured grids*, Journal Comp. Physics, 164, 165-203.
- Munk, W., Anderson, E. (1948). *Notes on the theory of the thermocline*, Journal of Marine Research, 7, 276-295.
- Pugh, D.T. (1987). *Tides, surges, and mean sea-level: a handbook for engineers and scientists*. Wiley, Chichester, 472pp
- Rodi, W. (1984). *Turbulence models and their applications in hydraulics*, IAHR, Delft, the Netherlands.
- Roe, P.L. (1981). *Approximate Riemann solvers, parameter vectors, and difference-schemes*, Journal of Computational Physics, 43, 357-372.
- Shu C.W. (1997). *Essentially Non-Oscillatory and Weighted Essentially Non-Oscillatory Schemes for Hyperbolic Conservation Laws*, NASA/CR-97-206253, ICASE Report No. 97-65, NASA Langley Research Center, pp. 83.
- Smagorinsky J. (1963). *General Circulation Experiment with the Primitive Equations*, Monthly Weather Review, 91, No. 3, pp 99-164.
- Sleigh, P.A., Gaskell, P.H., Bersins, M. and Wright, N.G. (1998). *An unstructured finite-volume algorithm for predicting flows in rivers and estuaries*, Computers & Fluids, Vol. 27, No. 4, 479-508.
- UNESCO (1981). *The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980*, UNESCO technical papers in marine science, 36, 1981.
- Wu, Jin (1994). *The sea surface is aerodynamically rough even under light winds*, Boundary layer Meteorology, 69, 149-158.
- Wu, Jin (1980). *Wind-stress Coefficients over sea surface and near neutral conditions – A revisit*, Journal of Physical Oceanography, 10, 727-740.
- Zhao, D.H., Shen, H. W., Tabios, G.Q., Tan, W.Y. and Lai, J.S. (1994). *Finite-volume two-dimensional unsteady-flow model for river basins*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1994, 120, No. 7, 833-863.