

# 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: DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE PREVENCIÓN,  
ALERTA Y EMERGENCIA**

Juan Javier Carrillo Sosa\*\*

Gabriela Gutiérrez Aviña \*\*\*\*

Vitali Díaz Mercado \*\*\*\*

Deisy Alcántara Gómez \*\*\*

Wilfrido Martínez Alonso \*\*\*

**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

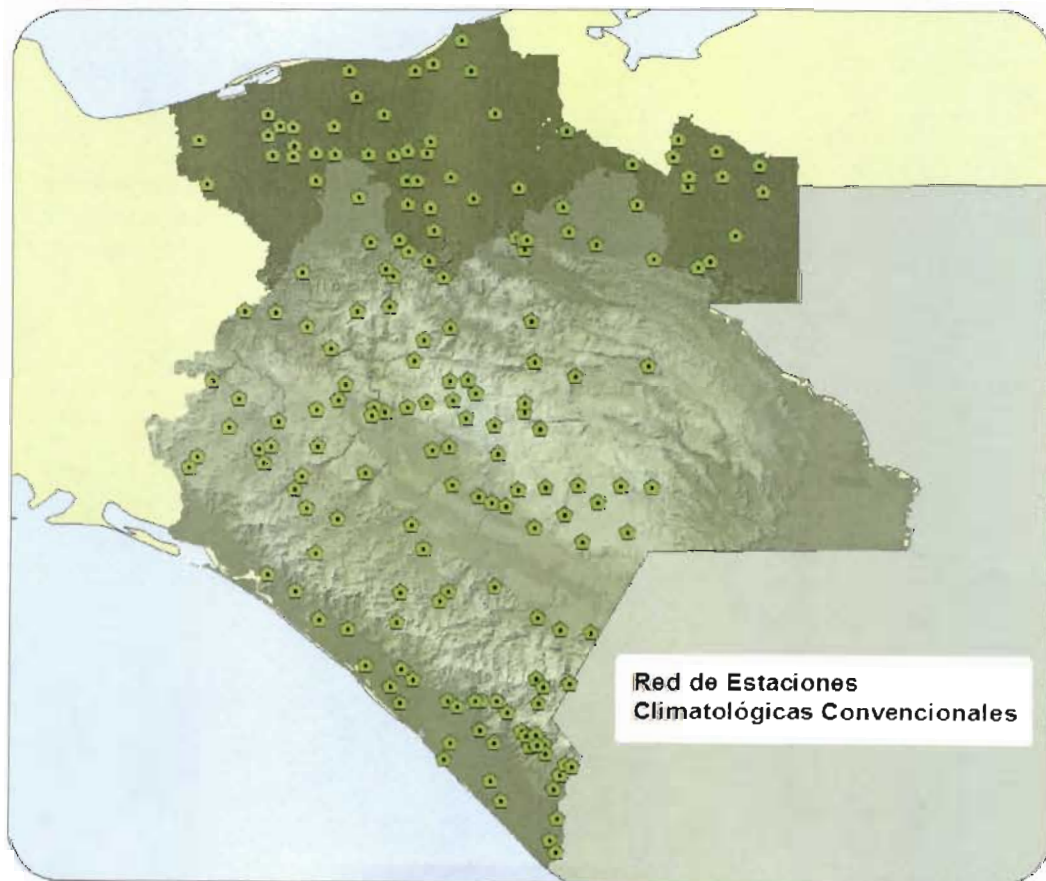
V F

VF

a) **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE EL SISTEMA DE MEDICIÓN**

a.1) **Estaciones de medición climatológica e hidrométrica**

Para la definición de los niveles operativos de los ríos tabasqueños, es de vital importancia contar con la información necesaria para el análisis y desarrollo de la metodología. La información climatológica resulta primordial en este estudio. El estado de Tabasco cuenta con 73 estaciones meteorológicas convencionales, con información de lluvia, temperatura y evaporación diaria. En el estado de Chiapas se localizan 126 estaciones, que hacen un total de 199 (figura 6.a.1), las cuales son administradas por el Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS).



Fuente: OCFS

**Figura 6.a.1 Estaciones climatológicas convencionales OCFS**

La información se almacena en una base de datos del clima con carácter oficial en el país operada por el SMN en el sistema CLIma COMputarizado (CLICOM). Esta base de datos contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas *convencionales*. La información de CLICOM presenta un retraso en lo que su actualización se refiere. El retraso

está relacionado básicamente con dificultades de acceso a los datos en papel y con retrasos en el proceso de digitalización de la información.

Las variables climatológicas que se registran en la base de datos Clicom son:

CLAVE	ELEMENTO
1	Temperatura ambiente (°C)
2	Temperatura máxima (°C)
3	Temperatura mínima (°C)
5	Precipitación en 24 hr (mm)
18	Evaporación en 24 hr (mm)
30	Días con tormenta (0 no hay, 1 si hay)
31	Días con granizo (0 no hay, 1 si hay)
32	Días con niebla (0 no hay, 1 si hay)
43	Cobertura nubosa (0 despejado, 1 medio nublado, 2 nublado)
91	Días con helada (0 no hay, 1 si hay)

Para el aforo de los ríos se cuenta con estaciones hidrométricas convencionales, los datos que se miden son niveles y gastos. En el estado de Tabasco se encuentran 17, y en Chiapas 15, que hacen un total de 32 estaciones hidrométricas operadas por el OCFS (figura 6.a.2).

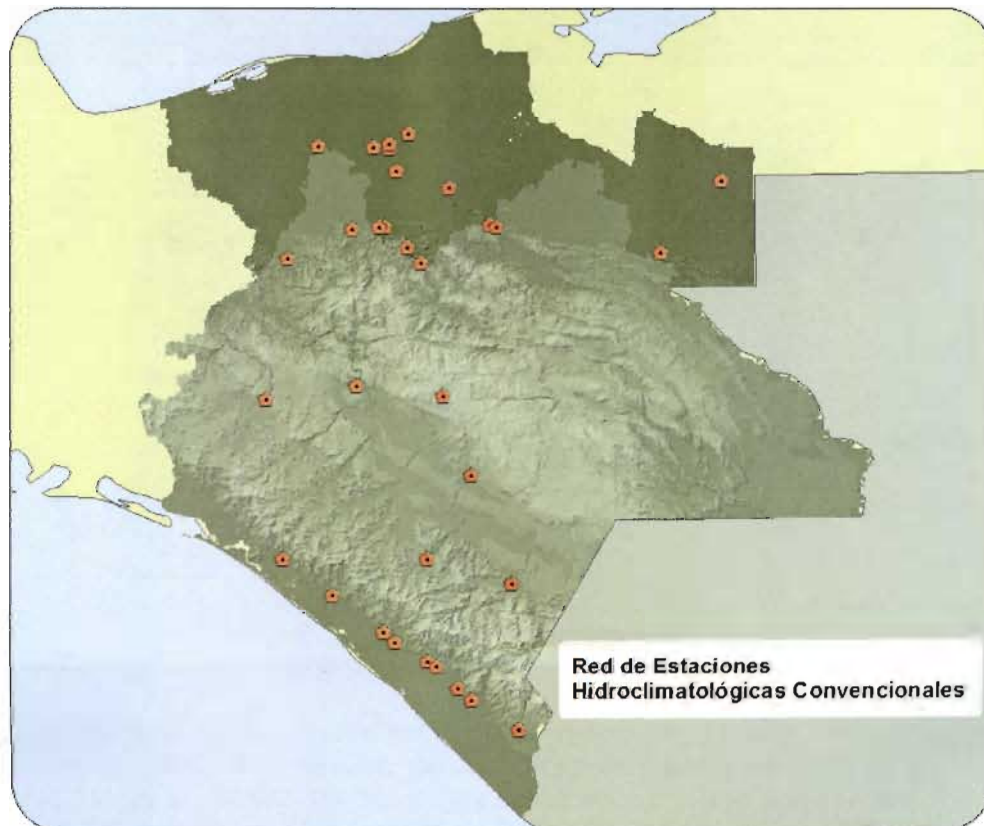


Figura 6.a.2 Estaciones hidrométricas convencionales OCFS

*JF*

El manejo digital de la información hidrométrica es de suma importancia para la gestión del recurso hídrico del país, por tal motivo, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) elaboró el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) que integra la red hidrométrica nacional. En esta red se registra el nivel de agua (escalas) y la cantidad de agua que pasa a una determinada hora (aforos) en los principales ríos de la República Mexicana.

Cuenta con los datos de 2,070 estaciones hidrométricas, las cuales son el resultado de una depuración al catálogo BANDAS hecho en 2008 por la Conagua y el IMTA.

Aproximadamente 480 estaciones fueron actualizadas hasta el año 2006 y tiene registradas aproximadamente 180 presas.

La información que se puede encontrar de cada estación hidrométrica es:

- Valores diarios: Gasto medio diario ( $m^3/s$ ) día 1 a día 29-31.
- Valores mensuales: Se incluyen la hora y el día del gasto máximo y el gasto mínimo ( $m^3/s$ ). Además de la lectura de volumen máximo y medio de escurrimientos (miles de  $m^3$ ), sedimentos (miles de  $m^3$ ) y la lectura del día y hora de las escalas para el gasto mínimo, medio y máximo.
- Valores anuales: Menciona el mes, día y hora en que ocurre el gasto máximo y gasto mínimo ( $m^3/s$ ). La lectura de escala para el gasto máximo y mínimo (m), además del volumen anual de escurrimientos (miles de  $m^3$ ), gasto medio anual ( $m^3/s$ ) y volumen anual de sedimentos (miles de  $m^3$ ).
- Hidrograma: Incluye la fecha en que ocurre el gasto, Hora en que ocurre el gasto y Gasto instantáneo ( $m^3/s$ ).
- Limnigrama: Muestra la fecha de lectura, hora de lectura y lectura de escala (m).
- Sedimentos: Se incluye la fecha de lectura, hora de lectura y porcentaje de sedimento.

De manera automática se cuenta con una red de estaciones que realizan mediciones a intervalos de diez minutos (figura 6.a.3 y tabla 6.a.1), el catálogo es de 54 estaciones. En la Tabla 6.a.2 se muestran las estaciones automáticas, se indica cuales de ellas cuentan con información de lluvia, gastos y niveles.

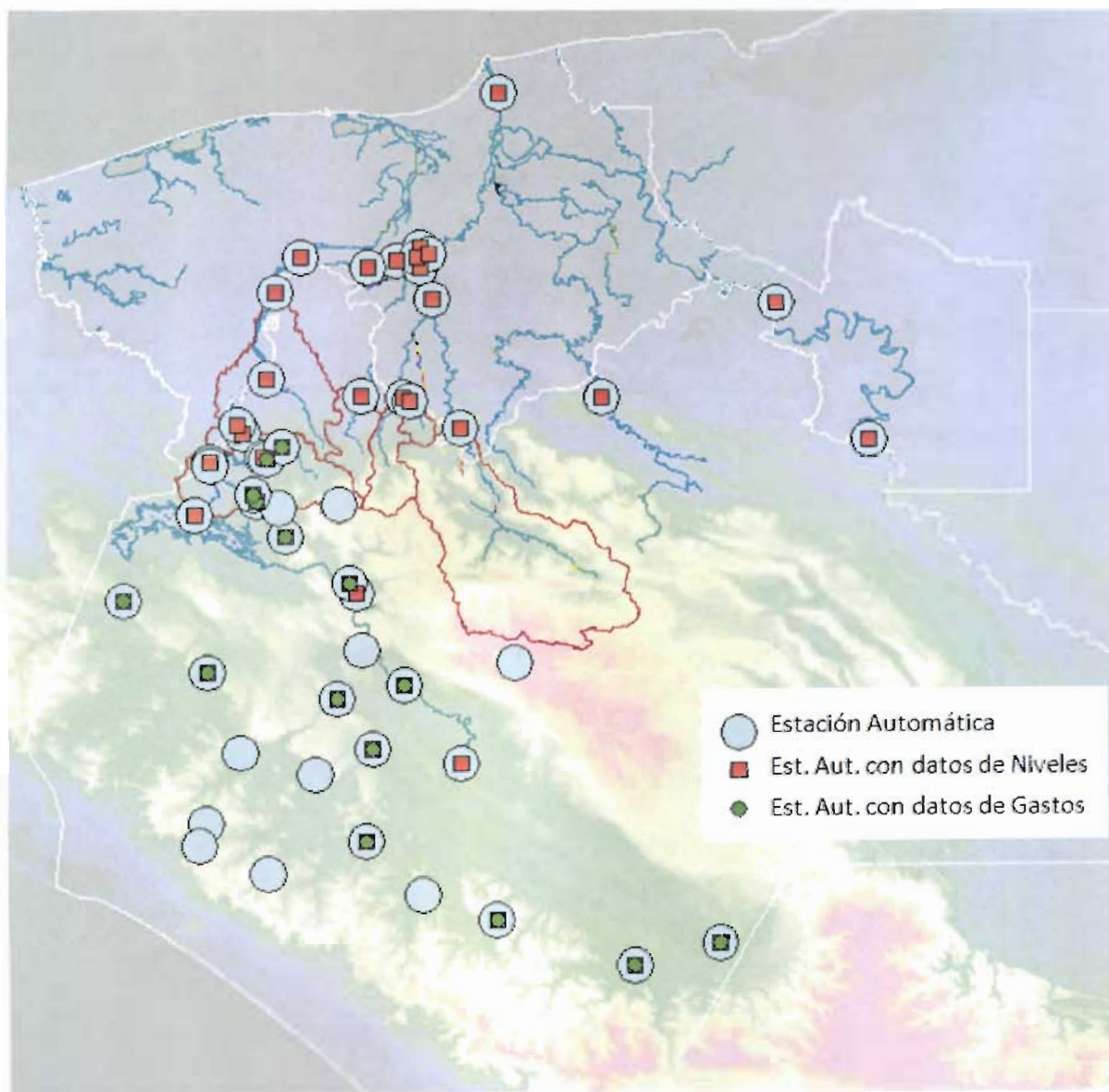


Figura 6.a.3 Estaciones automáticas

UF

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

**Tabla 6.a.1 Estaciones automáticas**

Identificador	No.	Nombre	Latitud	Longitud
TAB01	1	TAPIJULAPA	17.46	-92.77
TAB02	2	PUYACATENGO	17.54	-92.93
TAB03	3	TEAPA	17.55	-92.95
TAB04	4	SAN JOAQUIN	17.56	-93.08
TAB05	5	PORVENIR	18	-92.87
TAB06	6	SAMARIA	17.99	-93.27
TAB07	7	REFORMA (MACAYO)	17.88	-93.35
TAB08	8	PEÑITAS	17.47	-93.47
TAB09	9	SAYULA	17.4	-93.33
TAB10	10	MUELLE	17.99	-92.91
TAB11	11	GONZALEZ	17.96	-93.06
TAB12	12	OCOTEPEC	17.22	-93.15
TAB13	13	ROMULO CALZADA	17.34	-93.55
TAB14	14	ZAPATA (CHABLÉ)	17.85	-91.78
TAB15	15	EL PORTILLO	15.99	-92.89
TAB16	16	GAVIOTAS	17.96	-92.9
TAB17	17	PUEBLO NUEVO	17.86	-92.86
TAB18	18	PLATANAR	17.61	-93.38
TAB19	19	BOCA DEL CERRO	17.42	-91.49
TAB20	20	SALTO DE AGUA	17.55	-92.33
TAB21	21	POSTA	17.98	-92.97
TAB22	22	PIGUA	18.02	-92.9
TAB23	23	FRONTERA (TRES BRAZOS)	18.51	-92.65
TAB24	24	Acala cfe	16.65	-92.95
TAB25	25	Aza-Pac cfe	17.25	-93.42
TAB26	26	Boqueron cfe	16.61	-93.16
TAB27	27	Canal cfe	17.36	-93.38
TAB28	28	Cristobal Obregon cfe	16.44	-93.46
TAB29	29	El Grijalva cfe	16.97	-93.12
TAB30	30	Emiliano Zapata cfe	17.21	-93.34
TAB31	31	Juan Grijalva Vaso Inferior cfe	17.37	-93.39
TAB32	32	Juan Grijalva Vaso Superior cfe	17.36	-93.38
TAB33	33	Las Flores cfe	16.69	-93.56
TAB34	34	Monterrey cfe	16.06	-93.38
TAB35	35	Ocotepc cfe	17.22	-93.15
TAB36	36	Presa Angostura cfe	16.4	-92.77
TAB37	37	Presa Chicoasen cfe	16.94	-93.1
TAB38	38	Presa Malpaso cfe	17.19	-93.6
TAB39	39	Presa Penitas cfe	17.44	-93.45
TAB40	40	Puente Concordia cfe	15.84	-91.96
TAB41	41	Reforma cfe	15.91	-92.66
TAB42	42	Revolucion Mexicana cfe	16.16	-93.07
TAB43	43	Romulo Calzada cfe	17.35	-93.55
TAB44	44	San Cristobal de las Casas cfe	16.72	-92.6
TAB45	45	San Miguel cfe	15.77	-92.23
TAB46	46	Santa Maria cfe	16.92	-93.82
TAB47	47	Santo Domingo cfe	16.45	-93.05
TAB48	48	Santuario cfe	16.37	-93.23
TAB49	49	Sayula cfe	17.4	-93.33
TAB50	50	Sierra Morena cfe	16.15	-93.59
TAB51	51	Tres Picos cfe	16.22	-93.57
TAB52	52	Tuxtla cfe	16.76	-93.08
TAB53	53	Tzimbac cfe	17.23	-93.41
TAB54	54	Yamonho cfe	17.12	-93.32

Tabla 6.a.2 Información de las Estaciones automáticas dentro del sistema HE

Identificador	No.	Nombre	Latitud	Longitud	Lluvia	Gastos	Niveles
TAB01	1	TAPIJULAPA	17.46	-92.77	Sí	No	Sí
TAB02	2	PUYACATENGO	17.54	-92.93	Sí	No	Sí
TAB03	3	TEAPA	17.55	-92.95	Sí	No	Sí
TAB04	4	SAN JOAQUIN	17.56	-93.08	Sí	No	Sí
TAB05	5	PORVENIR	18	-92.87	Sí	No	Sí
TAB06	6	SAMARIA	17.99	-93.27	Sí	No	Sí
TAB07	7	REFORMA (MACAYO)	17.88	-93.35	Sí	No	Sí
TAB08	8	PEÑITAS	17.47	-93.47	Sí	No	Sí
TAB09	9	SAYULA	17.4	-93.33	No	No	No
TAB10	10	MUELLE	17.99	-92.91	No	No	No
TAB11	11	GONZALEZ	17.96	-93.06	Sí	No	Sí
TAB12	12	OCOTEPEC	17.22	-93.15	Sí	No	No
TAB13	13	ROMULO CALZADA	17.34	-93.55	No	No	No
TAB14	14	ZAPATA (CHABLÉ)	17.85	-91.78	Sí	No	Sí
TAB15	15	EL PORTILLO	15.99	-92.89	No	No	No
TAB16	16	GAVIOTAS	17.96	-92.9	Sí	No	Sí
TAB17	17	PUEBLO NUEVO	17.86	-92.86	Sí	No	Sí
TAB18	18	PLATANAR	17.61	-93.38	Sí	No	Sí
TAB19	19	BOCA DEL CERRO	17.42	-91.49	Sí	No	Sí
TAB20	20	SALTO DE AGUA	17.55	-92.33	Sí	No	Sí
TAB21	21	POSTA	17.98	-92.97	Sí	No	Sí
TAB22	22	PIGUA	18.02	-92.9	Sí	No	Sí
TAB23	23	FRONTERA (TRES BRAZOS)	18.51	-92.65	Sí	No	Sí
TAB24	24	Acala cfe	16.65	-92.95	Sí	Sí	Sí
TAB25	25	Aza-Pac cfe	17.25	-93.42	Sí	Sí	Sí
TAB26	26	Boqueron cfe	16.61	-93.16	Sí	Sí	Sí
TAB27	27	Canal cfe	17.36	-93.38	No	No	No
TAB28	28	Cristobal Obregon cfe	16.44	-93.46	Sí	No	No
TAB29	29	El Grijalva cfe	16.97	-93.12	Sí	Sí	Sí
TAB30	30	Emiliano Zapata cfe	17.21	-93.34	Sí	No	No
TAB31	31	Juan Grijalva Vaso Inferior cfe	17.37	-93.39	Sí	No	Sí
TAB32	32	Juan Grijalva Vaso Superior cfe	17.36	-93.38	Sí	Sí	Sí
TAB33	33	Las Flores cfe	16.69	-93.56	Sí	Sí	Sí
TAB34	34	Monterrey cfe	16.06	-93.38	Sí	No	No
TAB35	35	Ocotepc cfe	17.22	-93.15	Sí	No	No
TAB36	36	Presa Angostura cfe	16.4	-92.77	Sí	No	Sí
TAB37	37	Presa Chicoasen cfe	16.94	-93.1	Sí	No	Sí
TAB38	38	Presa Malpaso cfe	17.19	-93.6	Sí	No	Sí
TAB39	39	Presa Penitas cfe	17.44	-93.45	Sí	No	Sí
TAB40	40	Puente Concordia cfe	15.84	-91.96	Sí	Sí	Sí
TAB41	41	Reforma cfe	15.91	-92.66	Sí	Sí	Sí
TAB42	42	Revolucion Mexicana cfe	16.16	-93.07	Sí	Sí	Sí
TAB43	43	Romulo Calzada cfe	17.35	-93.55	Sí	No	Sí
TAB44	44	San Cristobal de las Casas cfe	16.72	-92.6	Sí	No	No
TAB45	45	San Miguel cfe	15.77	-92.23	Sí	Sí	Sí
TAB46	46	Santa Maria cfe	16.92	-93.82	Sí	Sí	Sí
TAB47	47	Santo Domingo cfe	16.45	-93.05	Sí	Sí	Sí
TAB48	48	Santuario cfe	16.37	-93.23	Sí	No	No
TAB49	49	Sayula cfe	17.4	-93.33	Sí	Sí	Sí
TAB50	50	Sierra Morena cfe	16.15	-93.59	Sí	No	No
TAB51	51	Tres Picos cfe	16.22	-93.57	Sí	No	No
TAB52	52	Tuxtla cfe	16.76	-93.08	Sí	No	No
TAB53	53	Tzimbac cfe	17.23	-93.41	Sí	Sí	Sí
TAB54	54	Yamonho cfe	17.12	-93.32	Sí	Sí	Sí

NF



### Estaciones climatológicas automáticas de Protección Civil Tabasco

Protección Civil del estado de Tabasco instaló 15 estaciones climatológicas automáticas (figura 6.a.4), las cuales miden lluvia, en la tabla 6.a.3 se muestran las principales características de ellas, así como su ubicación (anexo 6.a.1).

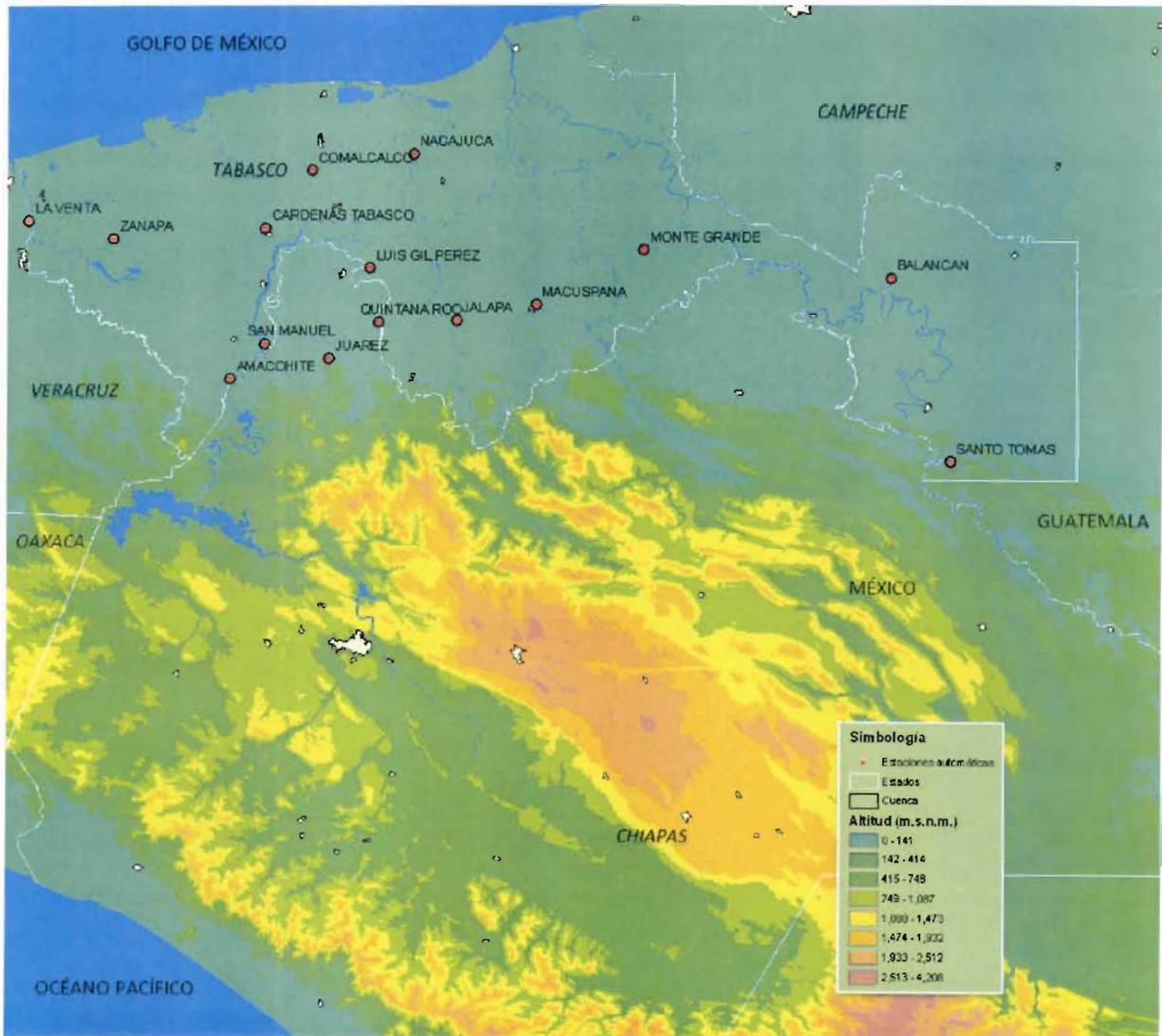


Figura 6.a.4 Estaciones automáticas

**Tabla 6.a.3 Estaciones automáticas de Protección Civil Tabasco**

No.	NOMBRE	UBICACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
1	LUIS GIL PÉREZ	VILLA LUIS GIL PÉREZ	93°04'23.1"	17°52'44.5"	17
2	COMALCALCO	CENTRO REGIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, RIA. ORIENTE 2ª. Secc.	93°14'33.0"	18°10'12.7"	9
3	CÁRDENAS TABASCO	AZOTEA DEL HOSPITAL DEL SEGURO SOCIAL DE LA CABECERA MUNICIPAL	93°22'58.5"	17°59'50.5"	16
4	ZANAPA	RIO ZANAPA 2ª SECC. HUIMANGUILLO	93°49'56.9"	17°57'56.5"	2
5	AMACOHITE	RIA. AMACOHITE 2ª SECC. HUIMANGUILLO	93°29'17.8"	17°32'48.2"	SD
6	SAN MANUEL	VILLA SAN MANUEL HUIMANGUILLO	93°23'04.9"	17°39'02.7"	33
7	JUÁREZ	PALACIO MUNICIPAL DE JUAREZ CHIAPAS	93°11'36.1"	17°36'29.9"	152
8	QUINTANA ROO	RIA. ANDRÉS QUINTANA ROO 1ª SECC. TEAPA TABASCO	93°02'48.5"	17°42'57.9"	6
9	LA VENTA	EJIDO LA CEIBA SECTOR RUIZ CORTINES, HUIMANGUILLO	94°04'46"	18°01'09"	SD
10	MACUSPANA	EDIFICIO DE PROTECCION CIVIL MACUSPANA	92°34'48.8"	17°46'10.6"	25
11	MONTE GRANDE	POBLADO MONTEGRANDE	92°15'49.7"	17°56'05.7"	11
12	NACAJUCA	RANCHERIA ISLA GUADALUPE, SECTOR EL SITIO, NACAJUCA	92°56'33.0"	18°13'05."	2
13	BALANCÁN	RECLUSORIO DE BALANCAN	91°31'52.0"	17°51'00.4"	35
14	JALAPA	INSTALACIONES DEL DIF, JALAPA	92°48'55"	17°43'20"	SD
15	SANTO TOMAS	EJIDO SANTO TOMAS TENOSIQUE	91°21'14.1"	17°18'15.3"	59

**a.2) Reporte de datos horarios de lluvia y nivel del agua en los ríos ó vasos de almacenamiento**

Con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de las 54 estaciones automáticas, se realizó un análisis minucioso de la información registrada, este consistió en identificar datos dudosos y en observar el comportamiento histórico de la información de lluvias, gastos y niveles.

Los resultados del análisis de la información registrada en las estaciones automáticas se encuentran en el anexo 6.a.2. En esta sección se muestran algunos resultados como ejemplo. Los resultados están agrupados en: Grijalva-Usumacinta, Bajo Grijalva, Alto Grijalva y Usumacinta. En las figuras 6.a.5 a la 6.a.9 se muestra la ubicación de las estaciones agrupadas como se mencionó. Los datos que registran las estaciones automáticas son: lluvia, nivel, gasto, humedad, temperatura, dirección y velocidad del viento, radiación solar, presión.

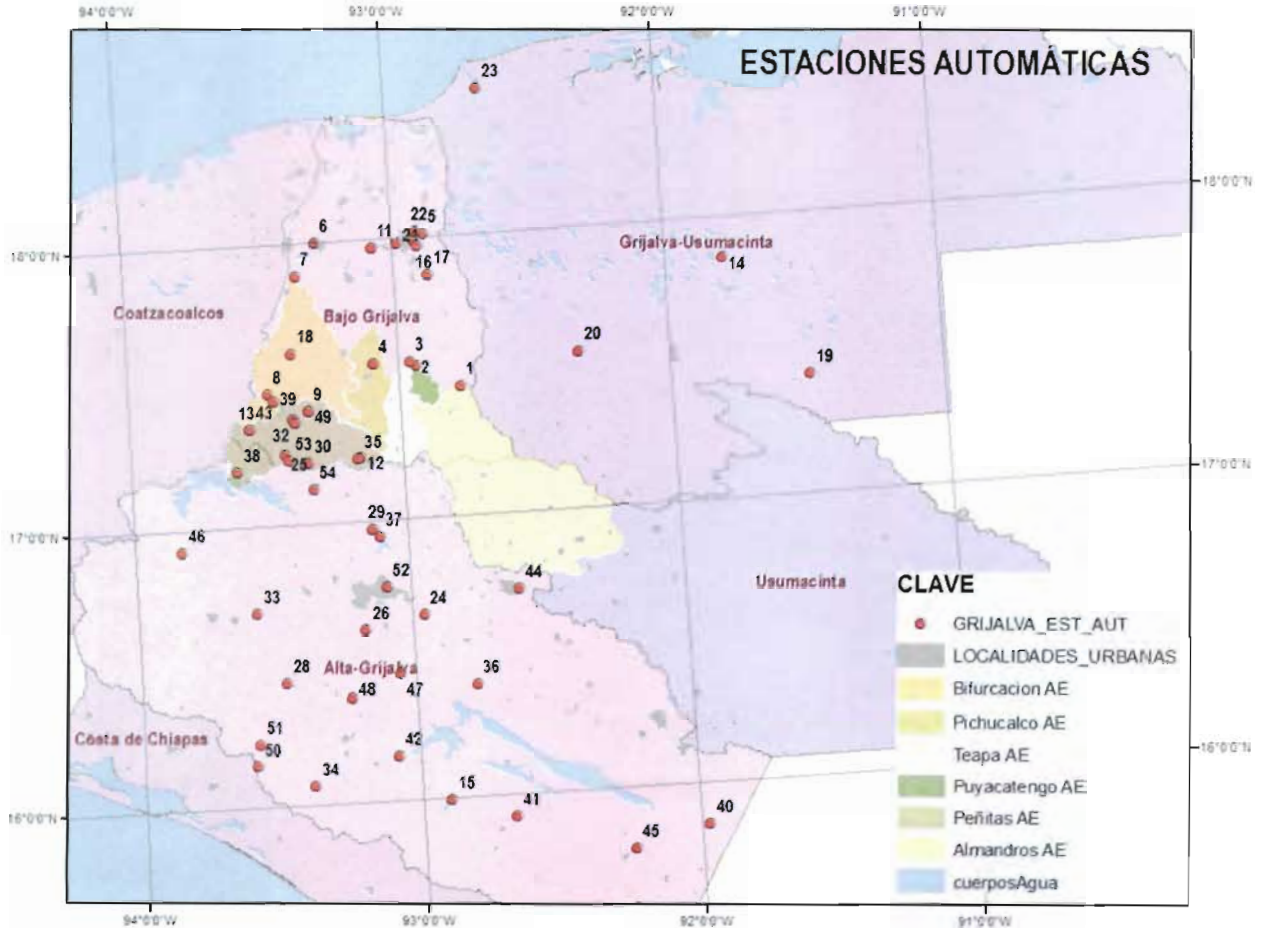


Figura 6.a.5 Estaciones automáticas analizadas

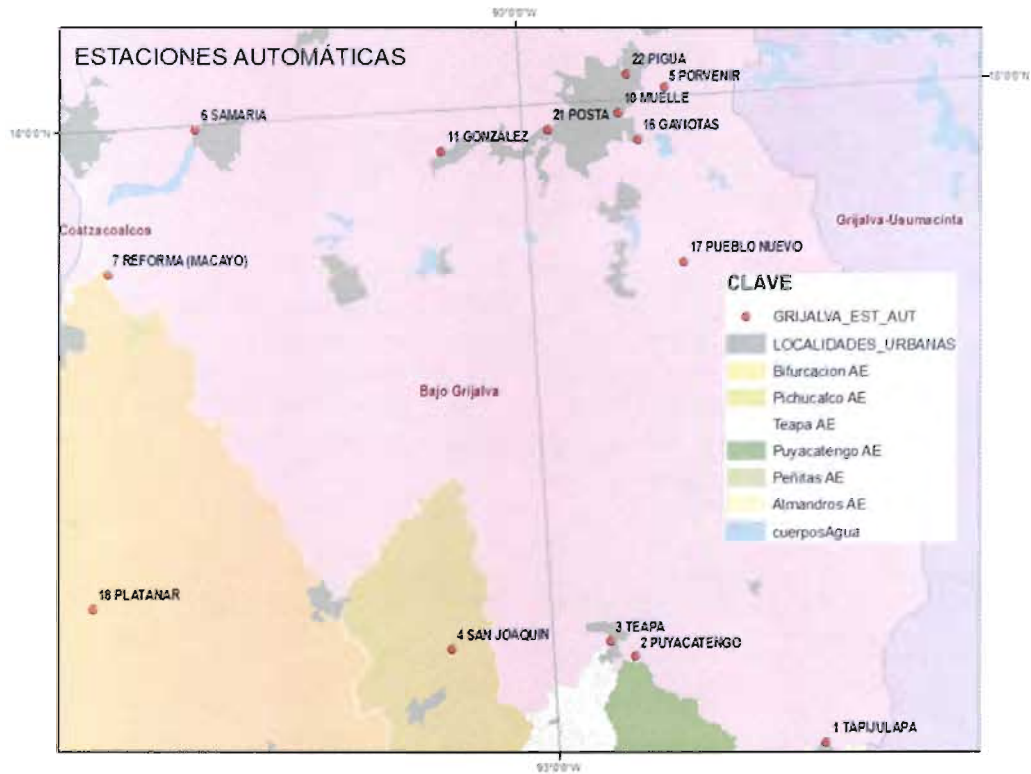


Figura 6.a.6 Estaciones automáticas Bajo Grijalva



Figura 6.a.7 Estaciones automáticas Alto Grijalva

JF

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

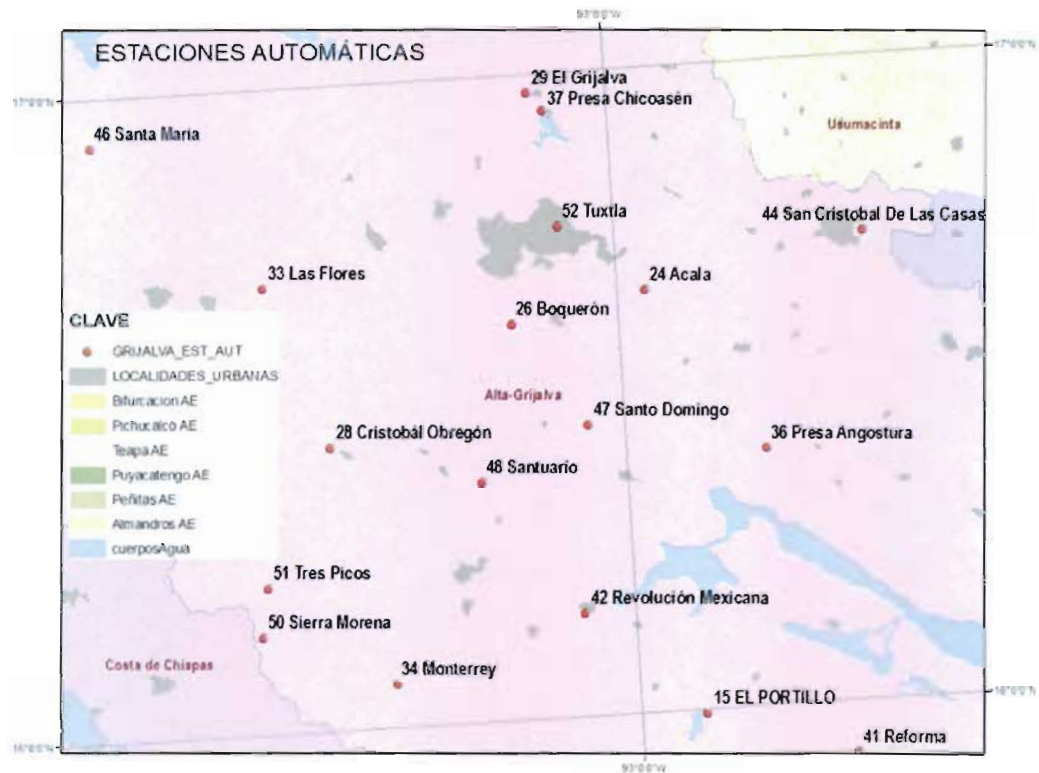


Figura 6.a.8 Estaciones automáticas Alto Grijalva 2



Figura 6.a.9 Estaciones automáticas Usumacinta

*V.F.*

En las gráficas de la figura 6.a.10 se observa la lluvia y el nivel para los años de 2011 (arriba) y 2012 (abajo). Respecto al año 2012 se presentaron niveles negativos, por lo que quizá este valor supuesto de niveles podría corresponder a otra de las variables que registra la estación automática.

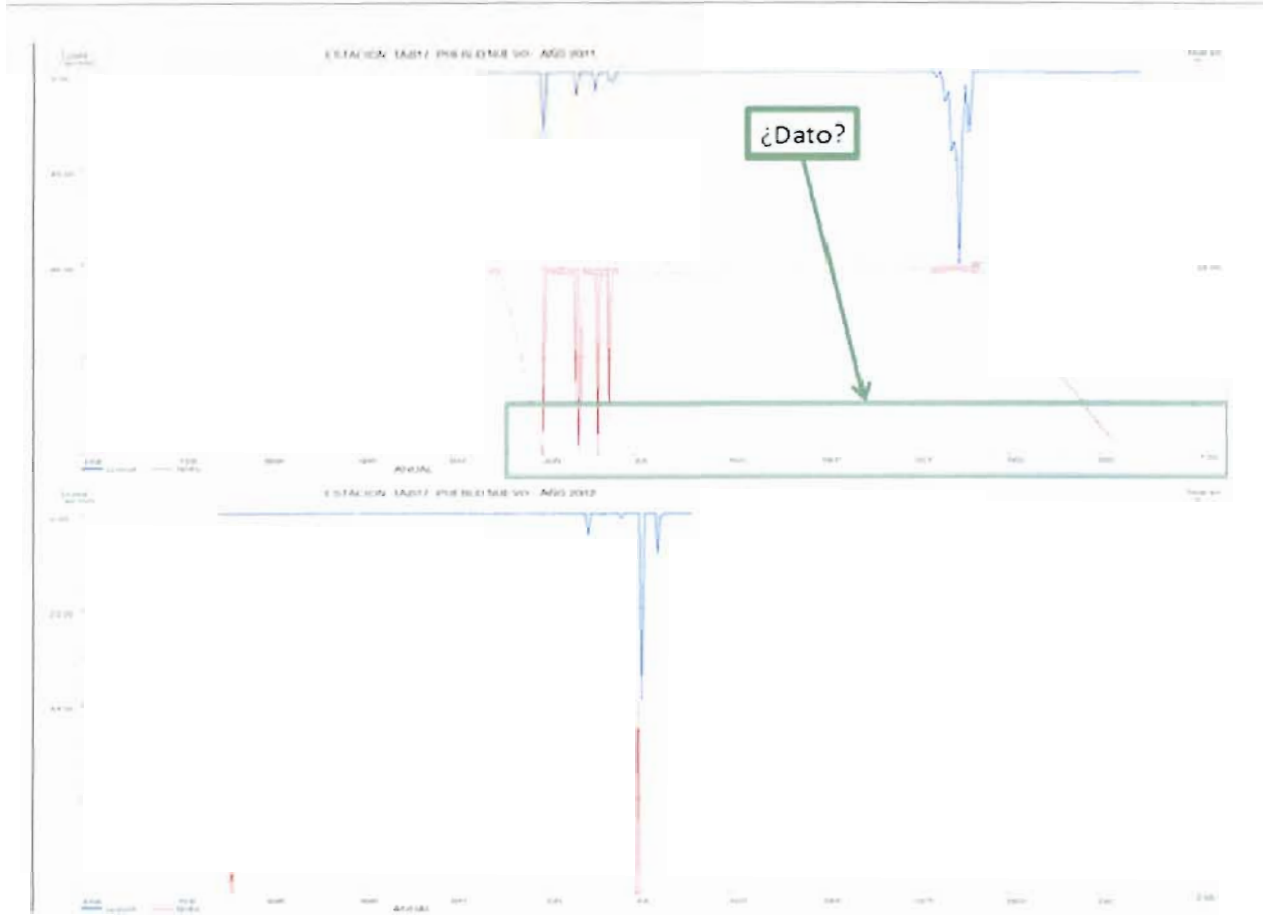


**Figura 6.a.10 Lluvia y niveles en la estación Frontera (TAB23)**

En las gráficas de la figura 6.a.11 se observa la lluvia y el nivel para los años de 2011 (arriba) y 2012 (abajo) de la estación Pueblo Nuevo. En el 2011 se un comportamiento de niveles anormal, por lo que quizá este valor se deba a cambios en la programación de la estación.

VJF

## DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA



**Figura 6.a.11 Lluvia y niveles en la estación Pueblo Nuevo (TAB17)**

En las tablas 6.a.4 y 6.a.5 se encuentra el resumen del análisis de la calidad de información efectuado a las 54 estaciones automáticas. En la primera tabla (6.a.4) se presentan las estaciones que se encuentran operando correctamente (en total 28) y en la segunda tabla (6.a.5), aquellas que presentan un funcionamiento incorrecto (26 en total). Se concluye que el 52 % de las estaciones se encuentran operando correctamente, pero la distribución espacial de estas estaciones, ocasiona que zonas del estado de Tabasco, no se encuentren bien instrumentadas, como lo es el caso del sur este.

**Tabla 6.a.4 Estaciones automáticas funcionado de manera correcta**

ID	Estación	Dependencia	Funcionamiento
1	TAPIJULAPA	CONAGUA	Correcto
4	SAN JOAQUIN	CONAGUA	Correcto
6	SAMARIA	CONAGUA	Correcto
11	GONZALEZ	CONAGUA	Correcto
14	ZAPATA (CHABLÉ)	CONAGUA	Correcto
18	PLATANAR	CONAGUA	Correcto
19	BOCA DEL CERRO	CONAGUA	Correcto
20	SALTO DE AGUA	CONAGUA	Correcto
21	POSTA	CONAGUA	Correcto
22	PIGUA	CONAGUA	Correcto
24	Acala	CFE	Correcto
26	Boquerón	CFE	Correcto
29	El Grijalva	CFE	Correcto
32	Juan Grijalva Vaso Superior	CFE	Correcto
33	Las Flores	CFE	Correcto
36	Presas Angostura	CFE	Correcto
37	Presas Chicoasén	CFE	Correcto
38	Presas Malpaso	CFE	Correcto
39	Presas Peñitas	CFE	Correcto
40	Puente Concordia	CFE	Correcto
41	Reforma	CFE	Correcto
43	Romulo Calzada	CFE	Correcto
45	San Miguel	CFE	Correcto
46	Santa María	CFE	Correcto
47	Santo Domingo	CFE	Correcto
49	Sayula (CFE)	CFE	Correcto
53	Tzimbac	CFE	Correcto
54	Yamonhó	CFE	Correcto



DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

**Tabla 6.a.5 Estaciones automáticas funcionado de manera incorrecta**

ID	Estación	Dependencia	VARIABLES	
			LLUVIA	NIVEL
3	TEAPA	CONAGUA	Configuración errónea	
5	PORVENIR	CONAGUA	Configuración errónea	
10	MUELLE	CONAGUA	Configuración errónea	
2	PUYACATENGO	CONAGUA	Configuración errónea	Valores negativos
16	GAVIOTAS	CONAGUA		Valores negativos
17	PUEBLO NUEVO	CONAGUA		Valores negativos
23	FRONTERA (TRES BRAZOS)	CONAGUA		Valores negativos
25	Aza-Pac	CFE		Valores negativos
42	Revolución Mexicana	CFE		Valores negativos
12	OCOTEPEC	CONAGUA		Sin datos en todo el registro
28	Cristobál Obregón	CFE		Sin datos en todo el registro
30	Emiliano Zapata	CFE		Sin datos en todo el registro
34	Monterrey	CFE		Sin datos en todo el registro
35	Ocoatepec CFE	CFE		Sin datos en todo el registro
44	San Cristobal De Las Casas	CFE		Sin datos en todo el registro
48	Santuario	CFE		Sin datos en todo el registro
50	Sierra Morena	CFE		Sin datos en todo el registro
51	Tres Picos	CFE		Sin datos en todo el registro
52	Tuxtla	CFE		Sin datos en todo el registro
7	REFORMA (MACAYO)	CONAGUA	Sin datos desde 08/2011	
8	PEÑITAS	CONAGUA	Sin datos desde 09/2011	
31	Juan Grijalva Vaso Inferior	CFE	Sin datos desde 09/2011	
27	Canal	CFE	Sin datos en todo el registro	
13	ROMULO CALZADA	CONAGUA	Sin datos en todo el registro	
15	EL PORTILLO	CONAGUA	Sin datos en todo el registro	
9	SAYULA	CONAGUA	Sin datos en todo el registro	

**b) INTEGRACIÓN DEL MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO DEL SISTEMA  
MEZCALAPA-CARRIZAL-SAMARIA**

El modelo lluvia escurrimiento del sistema Mezcalapa-Samaria, estará conformado por las subcuencas de los ríos:

- Mezcalapa
- Tzimbac
- Zayula
- Platanar
- Paredón
- Carrizal
- Samaria

Se empleo la Red Hidrográfica Escala 1:50 000 Edición 2.0 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, para identificar las corrientes principales y puntos de descarga entre cuencas para delimitar la zona Mezcalapa-Samaria.

SUBCUENCA RH30Dc - R. MEZCALAPA

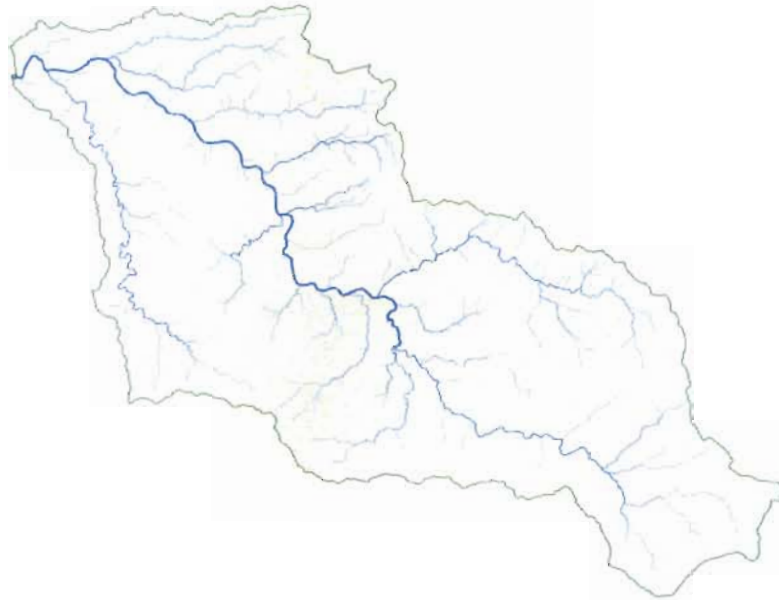


<b>CORRIENTE PRINCIPAL =</b>	rio Mezcalapa
<b>ÁREA DE LA SUBCUENCA =</b>	1 281.88 km <sup>2</sup>
<b>PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =</b>	352.88 km
<b>TIPO DE SUBCUENCA =</b>	abierta

VJF

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

SUBCUENCA RH30De - R. ZAYULA



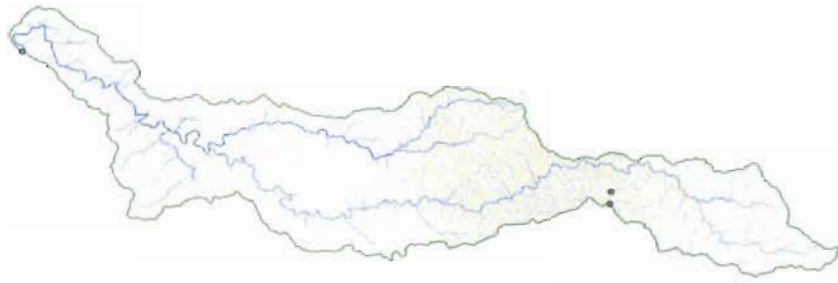
**CORRIENTE PRINCIPAL =** río Zayula  
**ÁREA DE LA SUBCUENCA =** 419.92 km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =** 119.45 km  
**TIPO DE SUBCUENCA =** abierta

SUBCUENCA RH30DI - R. PLATANAR



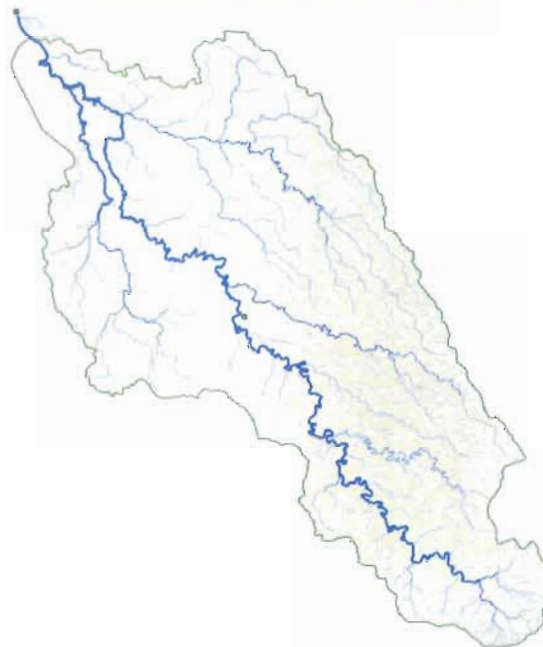
**CORRIENTE PRINCIPAL =** río Platanar  
**ÁREA DE LA SUBCUENCA =** 399.92 km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =** 129.98 km  
**TIPO DE SUBCUENCA =** abierta

SUBCUENCA RH30Dd - R. TZIMBAC



**CORRIENTE PRINCIPAL =** río Tzimbac  
**ÁREA DE LA SUBCUENCA =** 252.50 km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =** 127.76 km  
**TIPO DE SUBCUENCA =** abierta

SUBCUENCA RH30Dg - R. PAREDON



**CORRIENTE PRINCIPAL =** río Paredón  
**ÁREA DE LA SUBCUENCA =** 381.97 km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =** 118.00 km  
**TIPO DE SUBCUENCA =** abierta

UF

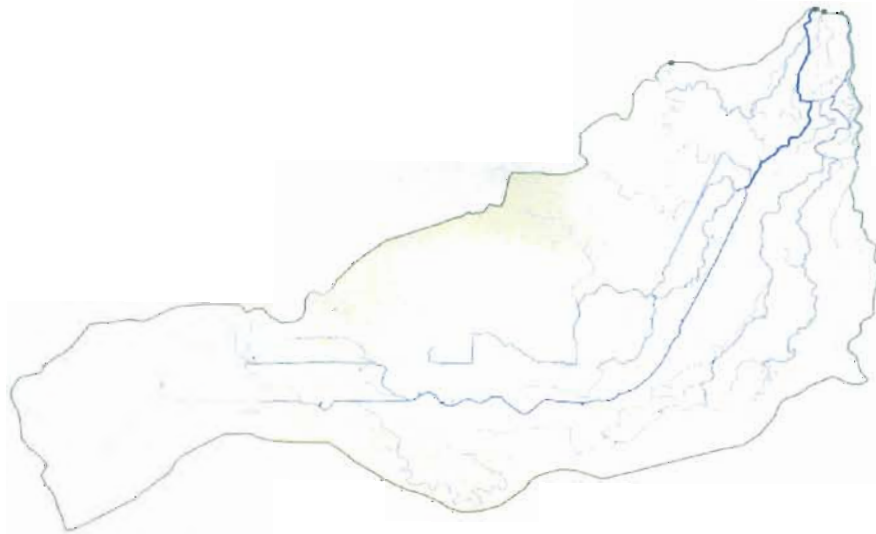
DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

SUBCUENCA RH30Dw - R. CARRIZAL



**CORRIENTE PRINCIPAL =** río Carrizal  
**ÁREA DE LA SUBCUENCA =** 1 165.69 km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =** 266.76 km  
**TIPO DE SUBCUENCA =** abierta

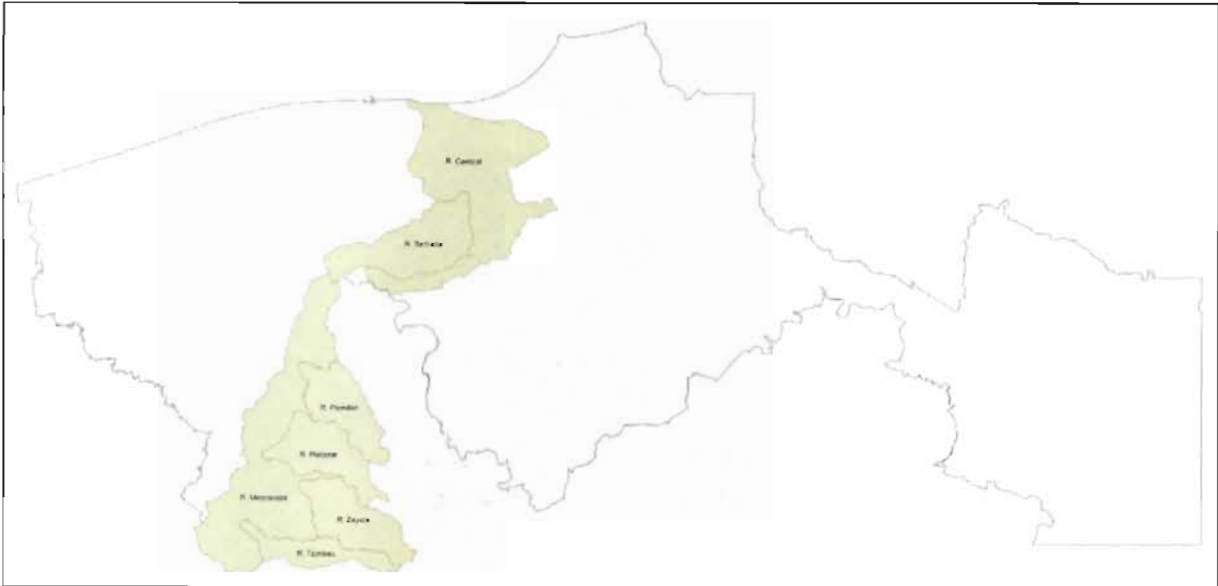
SUBCUENCA RH30Dx - R. SAMARIA



**CORRIENTE PRINCIPAL =** río Samaria  
**ÁREA DE LA SUBCUENCA =** 549.02 km<sup>2</sup>  
**PERÍMETRO DE LA SUBCUENCA =** 127.61 km  
**TIPO DE SUBCUENCA =** abierta

Los pasos a seguir para calibrar este modelo serán:

- 1) Caracterización de las subcuencas bifurcación y peñitas
- 2) Obtención de datos hidrométricos de boletines emitidos por la CONAGUA
- 3) Obtención de datos de lluvia en tiempo real con el hidroestimador
- 4) Calibración del modelo periodo de lluvia 2012

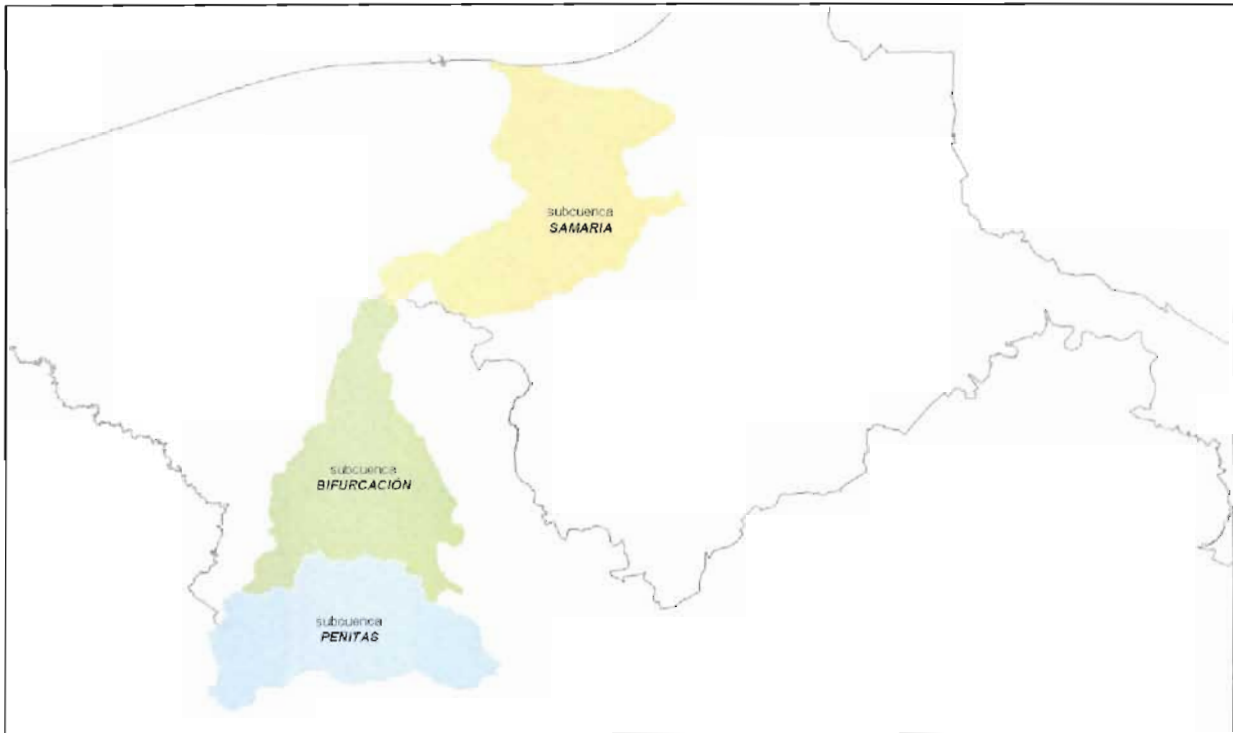


**Figura 6.b. 1 Ubicación de las subcuencas del sistema Mezcalapa-Samaria**

Para simplificar el sistema, y que este no fuera acrecentar el tiempo de cálculo dentro del software SWMM v.5.0 en el módulo de lluvia-escorrentía, el sistema se agrupó en tres regiones, como se muestra en la figura siguiente.

Estas zonas fueron definidas de la siguiente manera:

Zona Peñitas:	que incluye las subcuencas, Tzimbac, Zayula y Mezcalapa
Zona Bifurcación:	que incluye las subcuencas, Mezcalapa, Platanar y Paredón
Zona Samaria:	que incluye las subcuencas, Samaria y Carrizal



**Figura 6.b. 2 Zonificación de subcuencas**

Con base en este diagrama, se integró el esquema de las subcuencas dentro del SWMM v.5.0, y se caracterizaron cada una de las zonas.

Para la integración del modelo lluvia escurrimiento del sistema Peñitas-Bifurcación-Samaria fue necesario conjuntar la información topográfica e hidrométrica de la zona. Para ello, se utilizó el software SWMM v.5.0 donde se esquematizó la zona de interés.

Cabe mencionar que el módulo de lluvia escurrimiento del SWMM se puede aplicar en las tres zonas, sin embargo al combinarlo con el módulo de tránsito de avenidas solo se integrarían los escurrimientos calculados para la zona Bifurcación y Samaria, ya que la zona de Peñitas el gasto es controlado por la Presa Peñitas. Dicho lo anterior, la integración del sistema Mezcalapa-Carrizal-Samaria al modelo lluvia escurrimiento incluirá la zona de Bifurcación y Samaria, como se muestra en la figura 6.b.3.

Al integrar este sistema al modelo de la Sierra (capítulo 2), se debe considerar que en la bifurcación (río Samaria y río Carrizal) se encuentra la obra de control "Macayo" la cual regula los gastos provenientes del río Mezcalapa, por lo que, se aplicará la misma condición que de la subcuenca Peñitas.

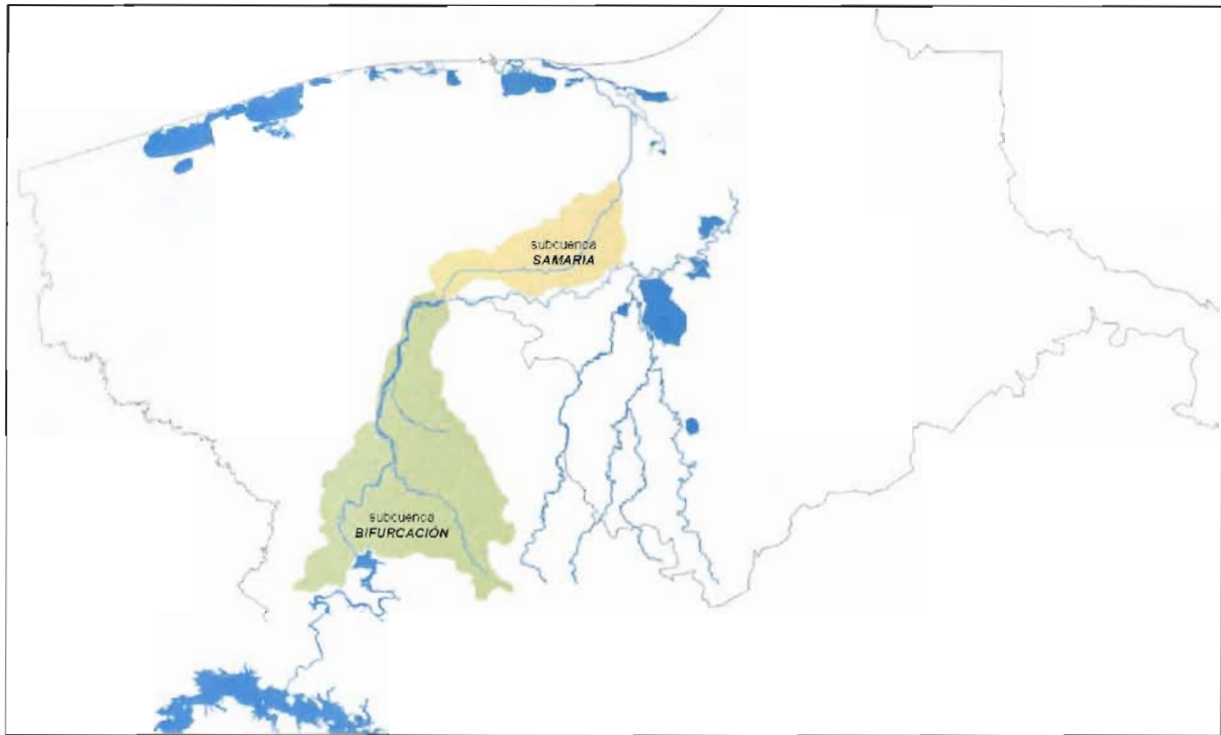


Figura 6.b. 3 Subcuencas Bifurcación y Samaria

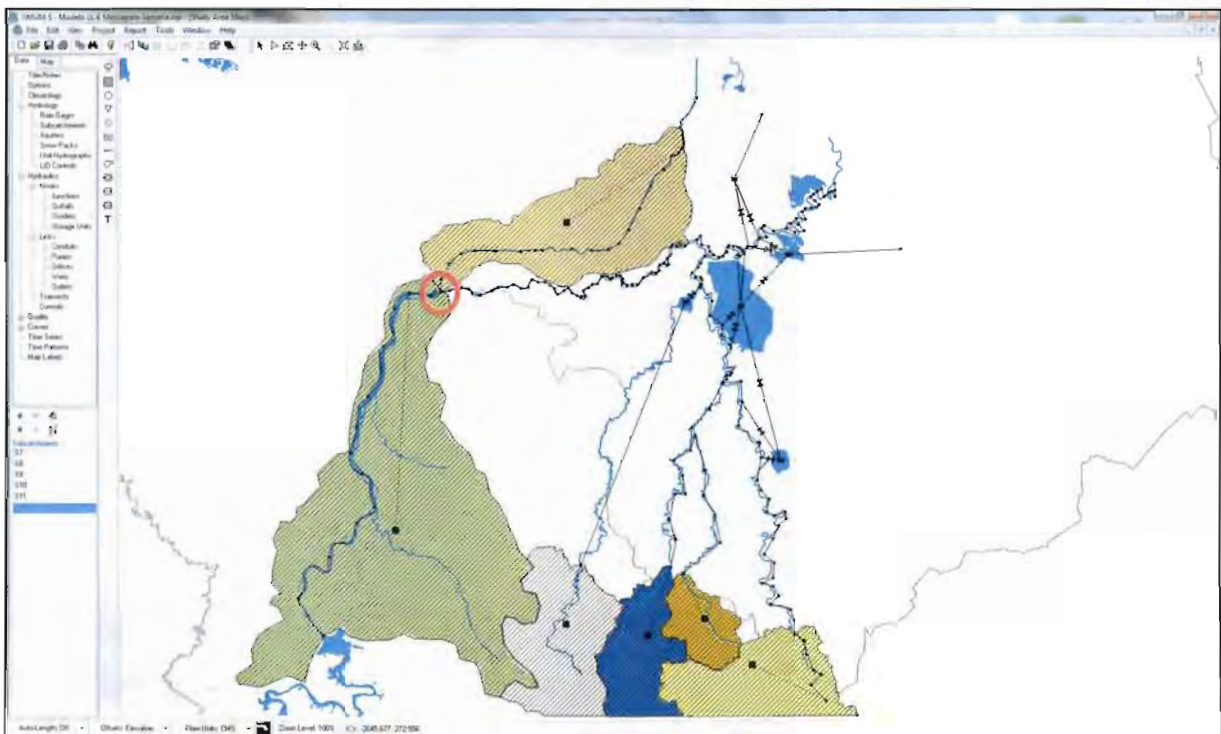


Figura 6.b. 4 Integración del sistema Mezcalapa-Samaria-La Sierra

VF



DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

En la figura anterior se puede observar la unión del sistema Mezcalapa-Samaria con el sistema de los ríos de la Sierra, estos dos sistemas se unen en la sección donde se ubica la estructura de control Macayo, la cual está indicada dentro de un círculo de color rojo.

El esquema unifilar mostrado en la figura 6.b.4 está compuesto por 22 secciones transversales y dos subcuencas (bifurcación y samaria) las cuales conforman el sistema Mezcalapa-Samaria, mientras que el sistema La Sierra consta de 121 secciones transversales, 4 lagunas, 7 estructuras derivadoras, 2 zonas de desbordamiento natural y cuatro subcuencas (Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Almandro) descritas en el capítulo 2.

**Tabla 6.b. 1 Principales características fisiográficas de las subcuencas del sistema Mezcalapa-Samaria**

<i>SUBCUENCA</i>	<i>ÁREA (km<sup>2</sup>)</i>	<i>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (km)</i>	<i>PENDIENTE MEDIA DE LA SUBCUENCA (%)</i>
Bifurcación	1,269.09	73,899.00	20.57
Samaria	549.02	51,260.45	0.8

**Lluvias con Tr = 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años**

<b>Tapijulapa</b>	
<b>Tr</b>	<b>Lluvia (mm)</b>
2	185
5	249
10	290
20	328
50	375
100	408
200	441
500	480
1000	507
2000	529
5000	551
10000	562

<b>Teapa</b>	
<b>Tr</b>	<b>Lluvia (mm)</b>
2	168
5	209
10	236
20	261
50	292
100	314
200	335
500	361
1000	377
2000	391
5000	403
10000	408

Puyacatengo	
Tr	Lluvia (mm)
2	167
5	233
10	291
20	333
50	383
100	419
200	454
500	500
1000	535
2000	569
5000	614
10000	651

San Joaquín	
Tr	Lluvia (mm)
2	170
5	218
10	248
20	276
50	311
100	336
200	360
500	390
1000	410
2000	428
5000	445
10000	454

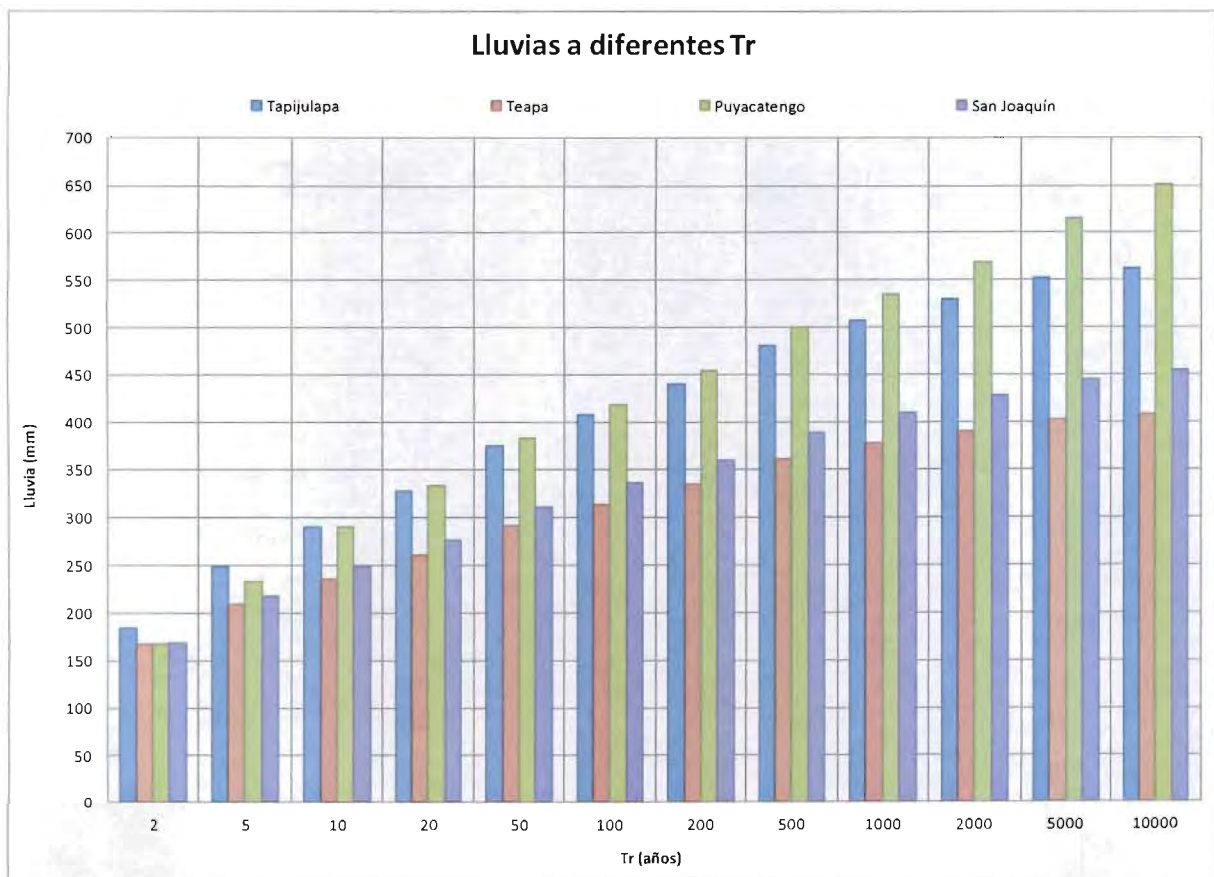


Figura 6.b. 5 Grafica de lluvia a diferentes Tr por subcuenca (sistema La Sierra)

JF

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

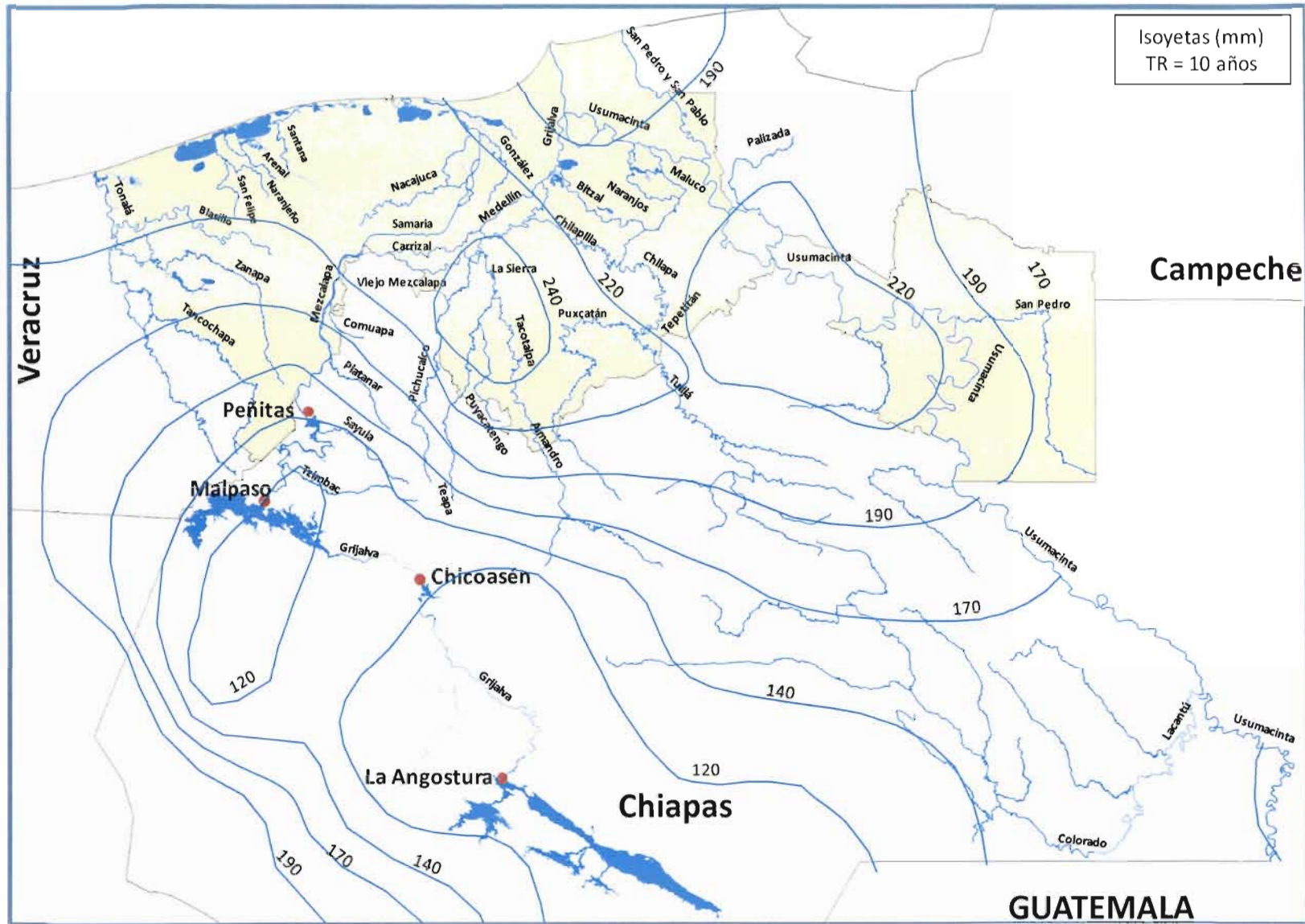


Figura 6.b. 6 Isoyetas a Tr = 10 años

Figura 6.b. 7 Isoetas a Tr = 20 años

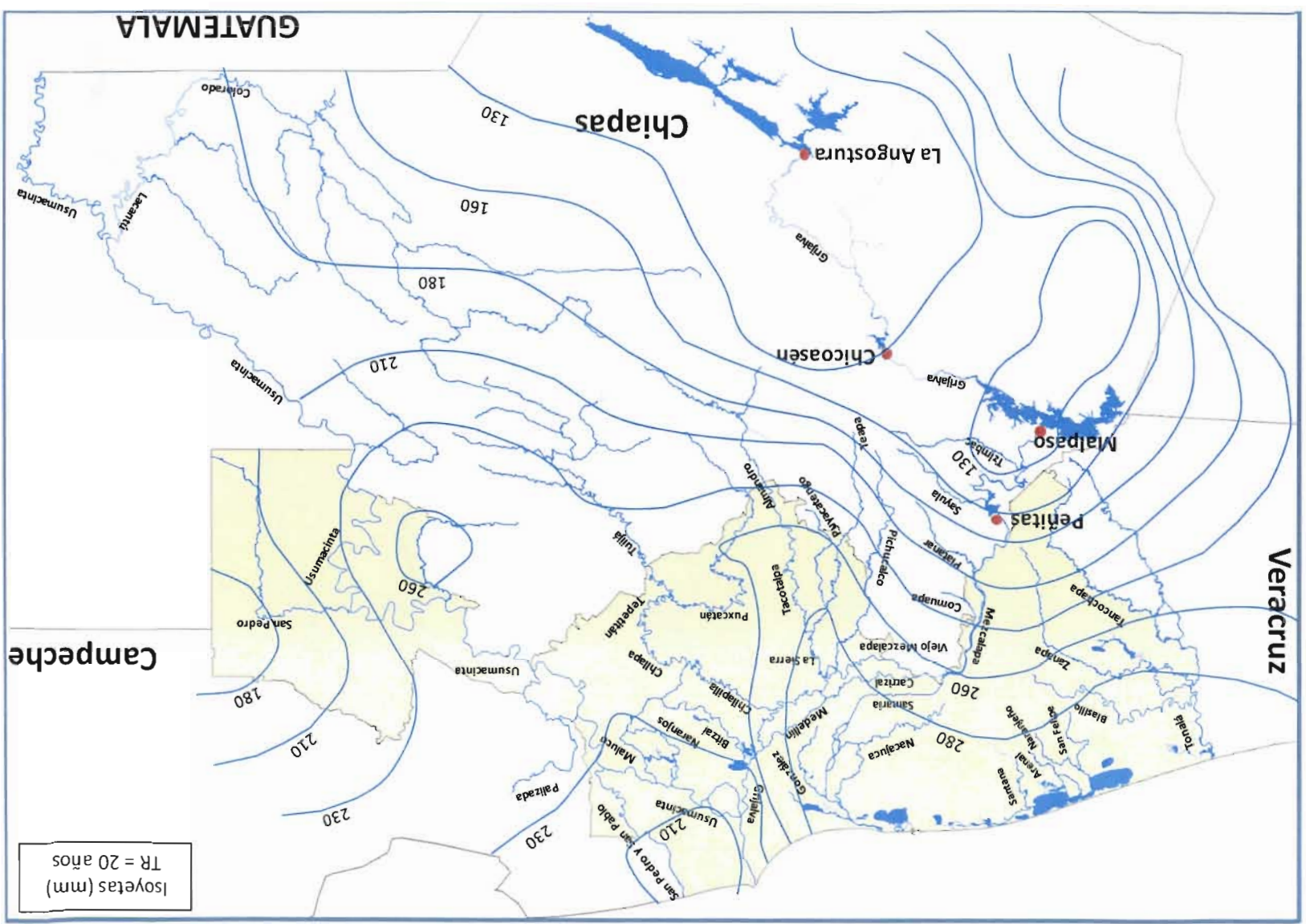




Figura 6.b. 9 Isoyetas a Tr = 100 años

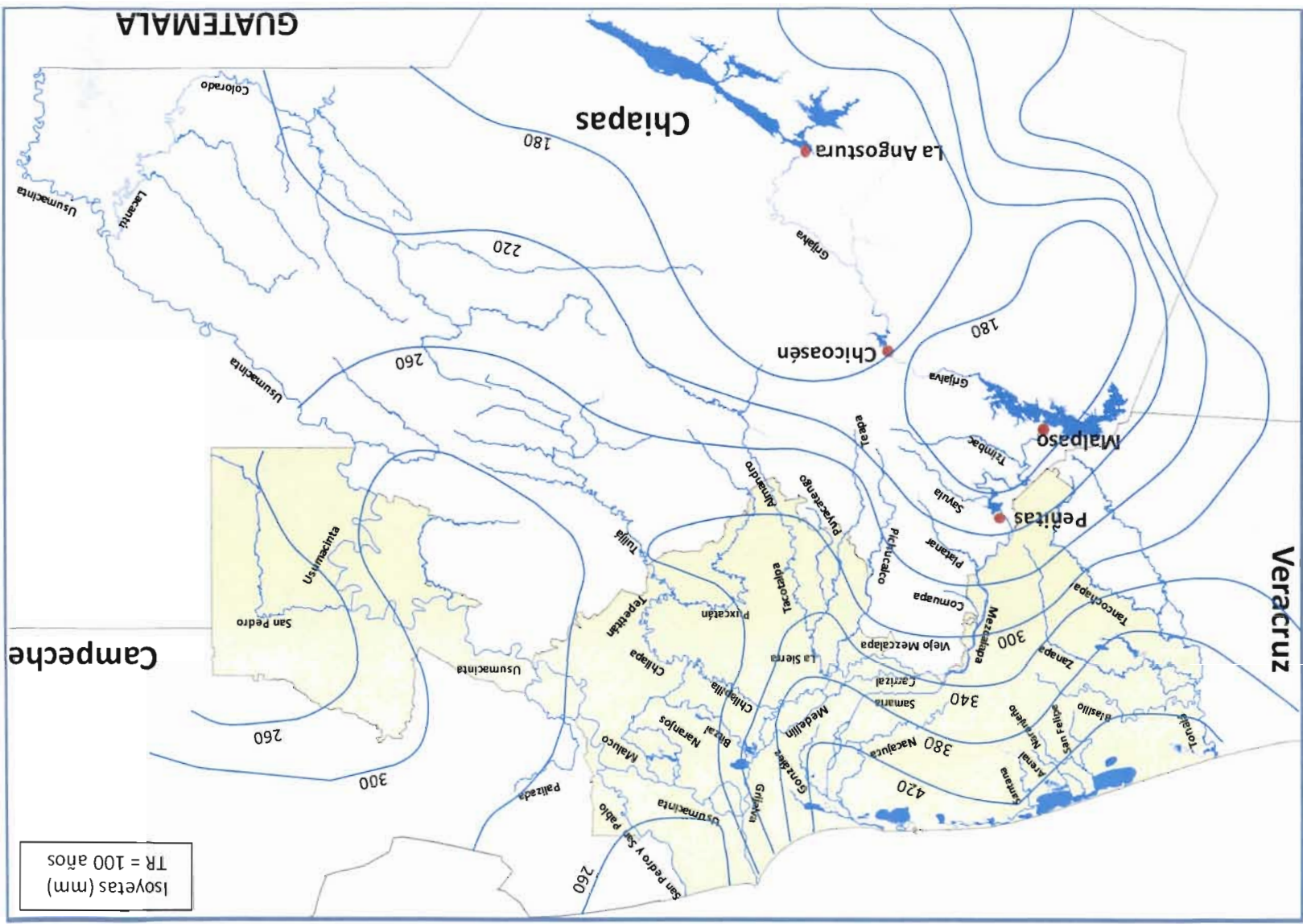
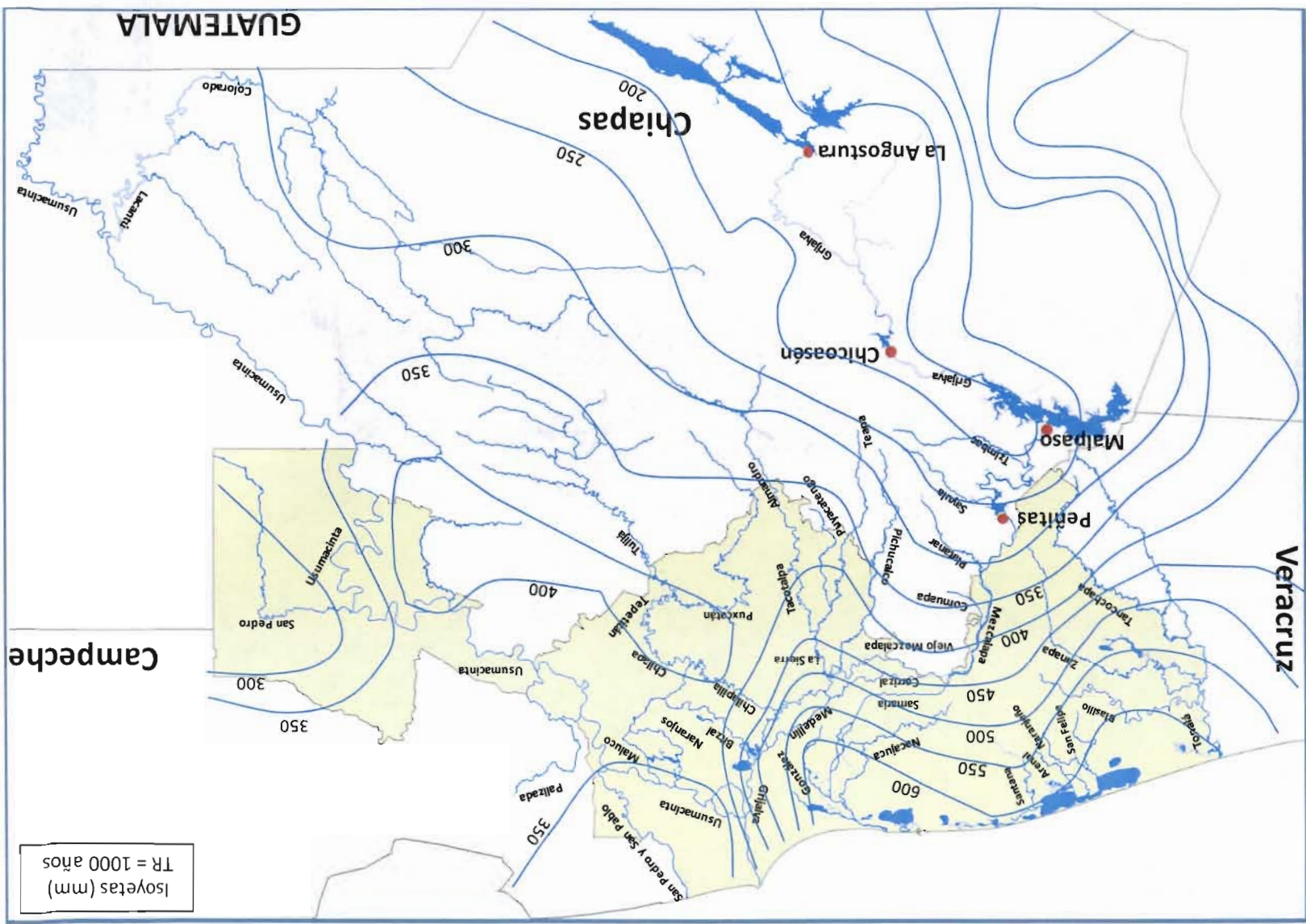




Figura 6.b. 11 Isoetas a Tr = 1000 años

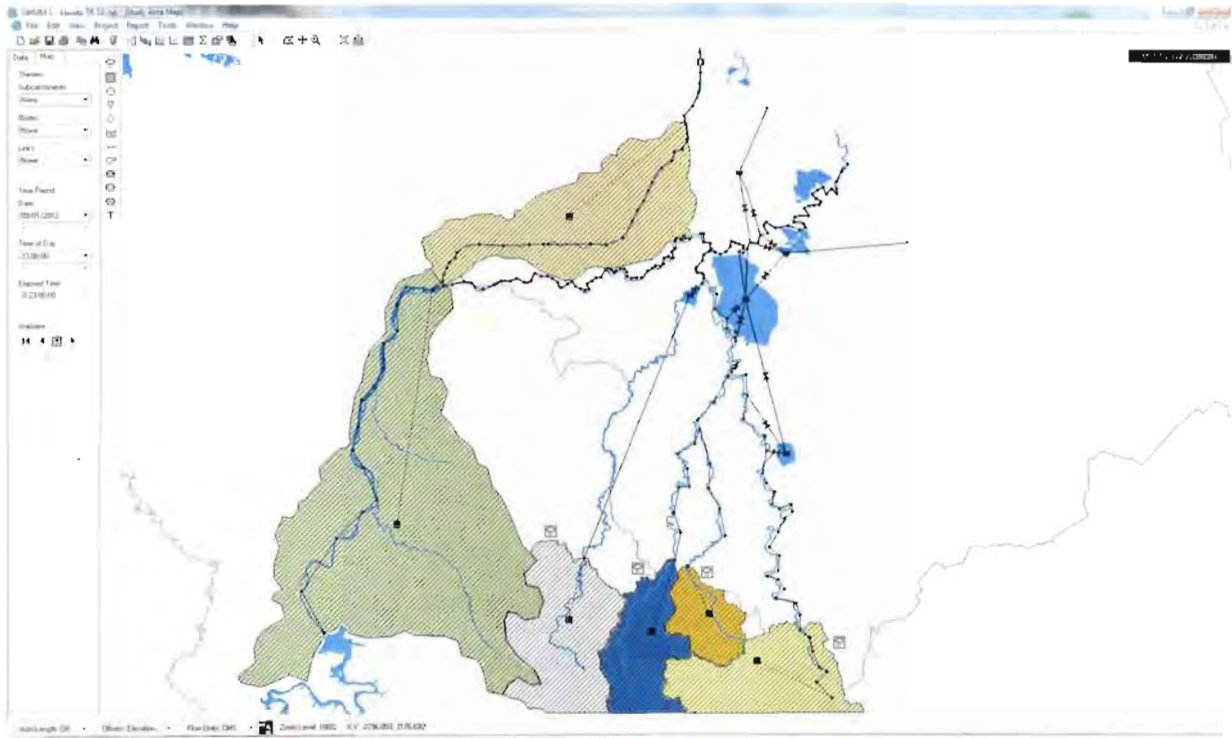


Handwritten signature or initials.



## DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

A partir de la información a diferentes  $Tr$ , si realizaron simulaciones para cada periodo y se obtuvieron los niveles en los siguientes puntos de control: Samaria, González, Porvenir y Pueblo Nuevo.



**Figura 6.b. 12 Esquema para simular diferentes  $Tr$  de lluvia.**

En la carpeta de anexos electrónico se encuentran los archivos de simulación para cada  $Tr$ .

**Tabla 6.b. 2 Niveles obtenidos en los puntos de control a partir de las lluvias para diferentes  $Tr= 10, 20, 50, 100, 500$  y  $1000$**

NIVEL MÁXIMO				
Tr	SAMARIA	GONZALEZ	PORVENIR	PUEBLO NUEVO
10	17.01	9.19	3.35	8.26
20	17.61	9.21	3.58	8.27
50	18.23	9.51	4.84	8.29
100	18.65	9.71	5.66	8.33
500	19.47	10.05	6.59	8.62
1000	19.61	10.09	6.63	8.73

c) **EXTRAPOLACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL HIDROESTIMADOR A OTRAS CUENCAS HIDROLÓGICAS DE TABASCO**

c.1) **Lluvia estimada**

Como se ha mencionado, el Sistema Hidroestimador calcula la lluvia con base en un algoritmo que procesa imágenes de satélite (concretamente Vapor de Agua y Temperatura al tope de la nube). En la figura 6.c.1, se muestra de manera esquemática el procesamiento de las imágenes, a partir de las cuales se calcula la lluvia precipitable.

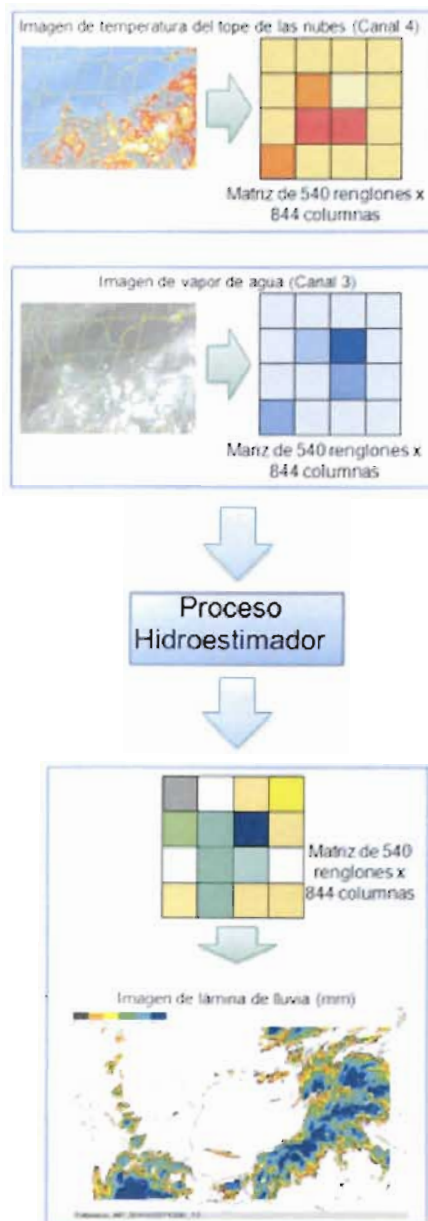
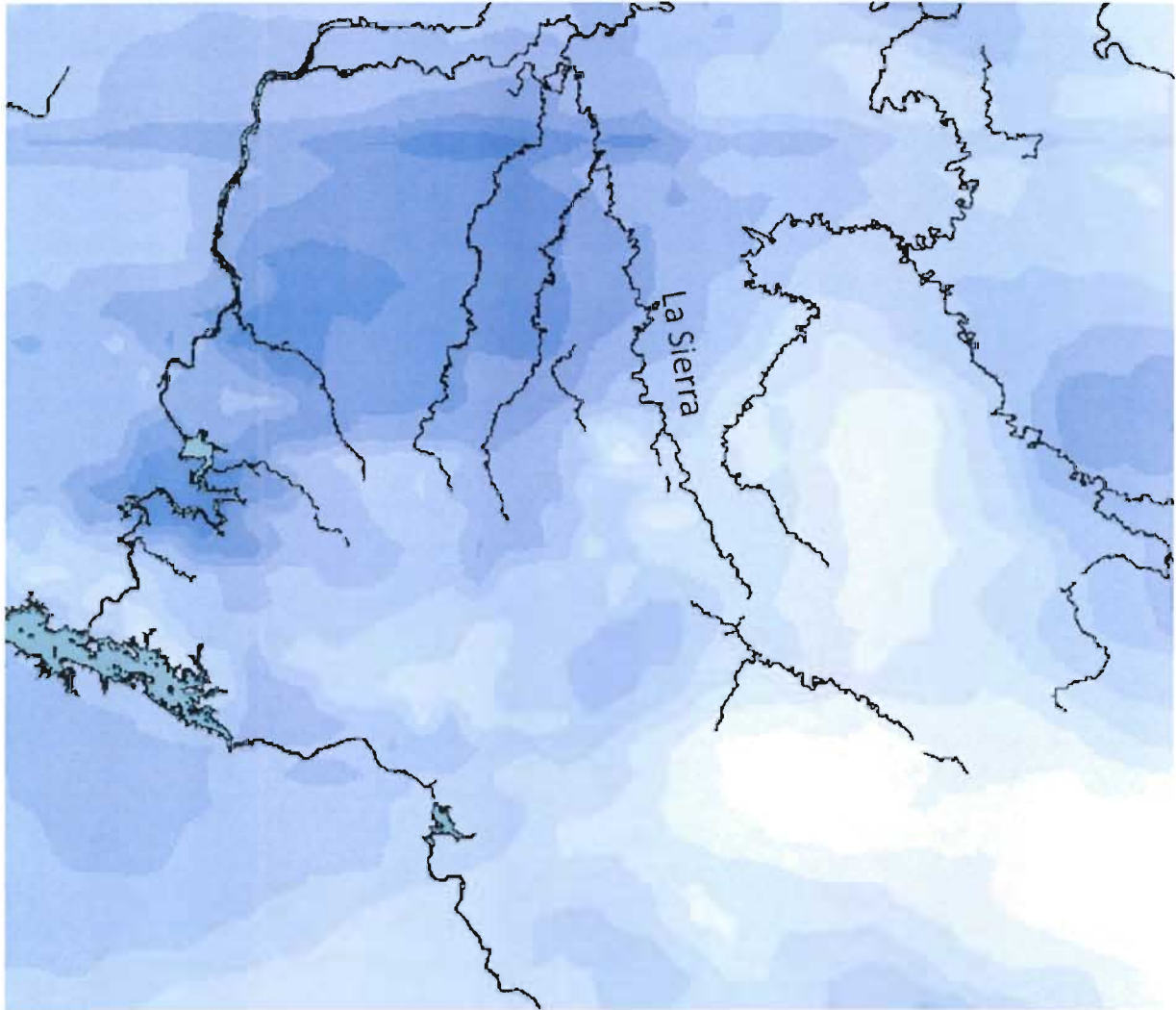


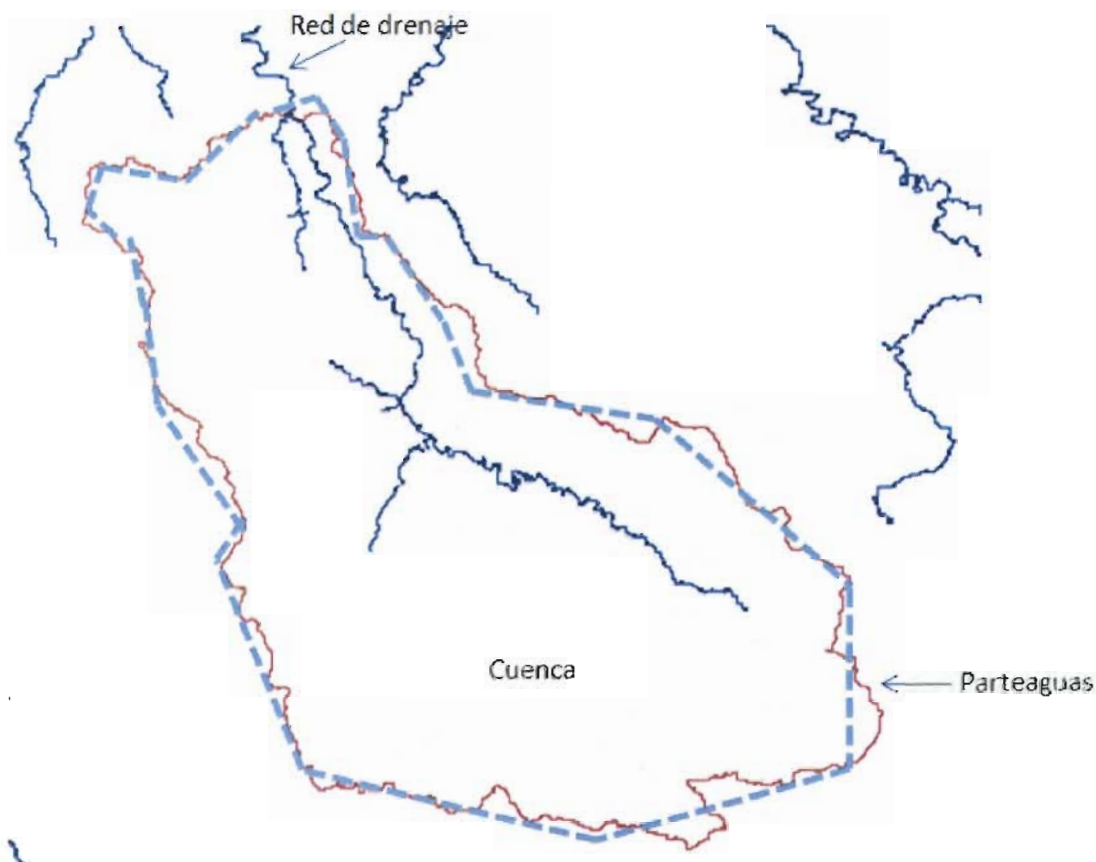
Figura 6.c.1 Esquema de estimación de lluvias

Las lluvias estimadas, son calculadas con datos de satélite, a este tipo de procesamiento se le conoce como Percepción Remota o Teledetección. Una de las ventajas que se tiene al utilizar las imágenes de satélite, es que se cubre, para el mismo intervalo de tiempo, una zona o región importante en términos de superficie, en la Figura 6.c.2 se muestra, de manera esquemática, por ejemplo la lluvia diaria acumulada el 7 de julio de 2012.



**Figura 6.c.2 Distribución de la lluvia estimada**

Se observa que se tiene la lluvia en toda una región, por lo que para el cálculo de la lámina de una cuenca, es necesario definir el polígono correspondiente al parteaguas, esto se refiere a la construcción de un archivo que tenga las coordenadas de los puntos ubicados en los límites de de la cuenca (figura 6.c.3), entre más puntos definan el polígono, mayor será la resolución de la cuenca, es decir, mejor será su representación espacial, y en consecuencia el área de la cuenca tenderá a ser más exacta.



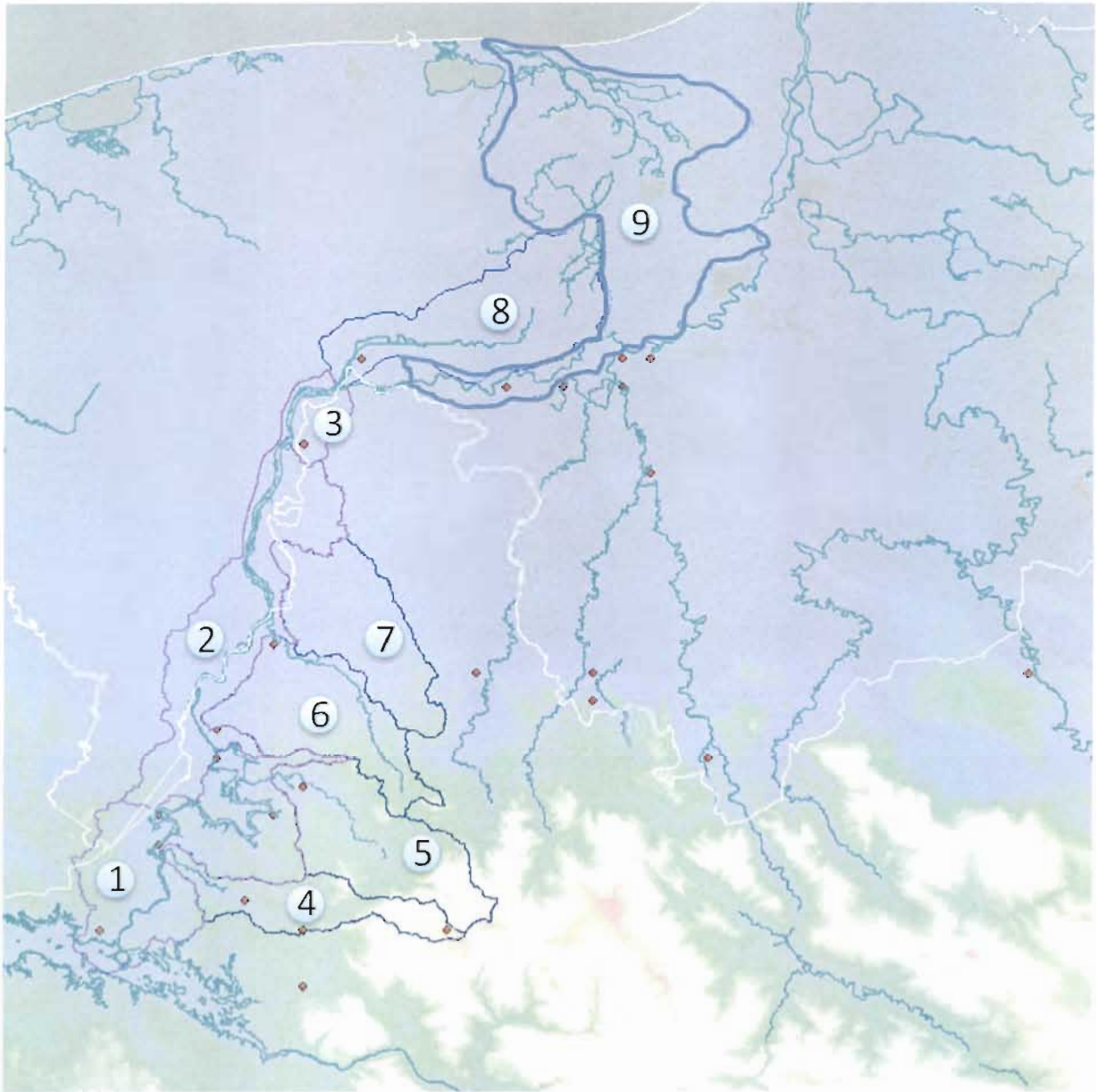
**Figura 6.c.3 Esquema de cuenca, se muestran dos casos, la línea continua corresponde a un polígono más fino (mayor número de puntos).**

Se definieron los polígonos correspondientes a los parteaguas de las cuencas extrapoladas, en la sección siguiente se precisa al respecto.

### **c.2) Extrapolación de cuencas**

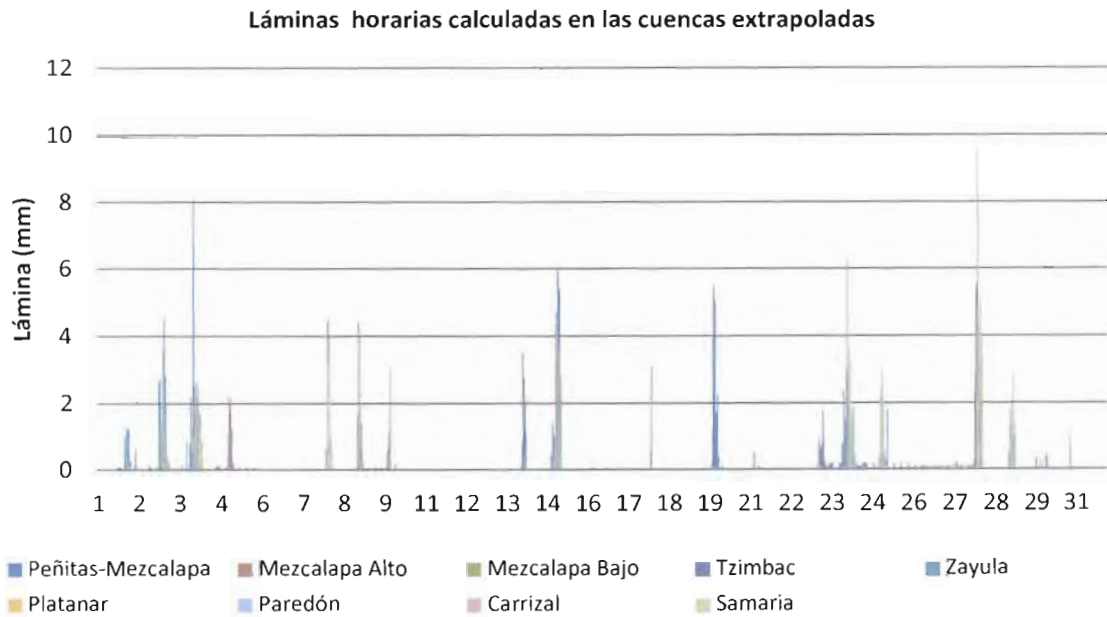
Se observó la conveniencia de dividir las cuencas Peñitas y Bifurcación, en subcuencas, puesto que en estas se localizan estaciones automáticas, además de considerar una subcuencas más para el caso de Bifurcación. Las cuencas que se consideraron finalmente, son las siguientes (figura 6.c.4):

1. Peñitas-Mezcalapa
2. Mezcalapa alto
3. Mezcalapa bajo
4. Tzimbac
5. Zayula
6. Platanar
7. Paredón
8. Carrizal
9. Samaria

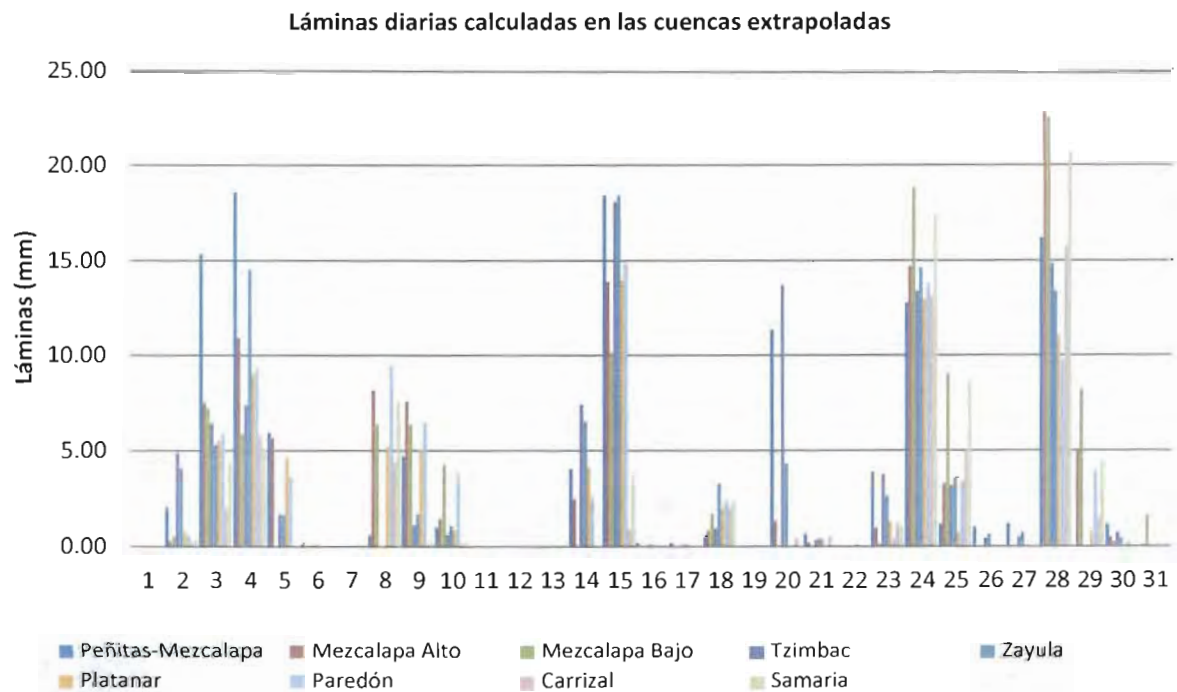


**Figura 6.c.4 Cuencas extrapoladas: 1) Peñitas-Mezcalapa, 2) Mezcalapa alto, 3) Mezcalapa bajo, 4) Tzimbac, 5) Zayula, 6) Platanar, 7) Paredón, 8) Carrizal y 9) Samaria**

Para cada una de las subcuencas, se calculó la lámina horaria (anexo 2.c.1), en la gráfica de la figura 6.c.5, se muestra como ejemplo el comportamiento de las láminas horarias en las 9 subcuencas del sistema, para el mes de julio, y en la figura 6.c.6, las láminas diarias, se observan importantes lluvias, los días 4 y 28.



**Figura 6.c.5 Láminas horarias en cuencas extrapoladas**



**Figura 6.c.6 Láminas diarias en cuencas extrapoladas**

*Handwritten signature*

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

En las tablas 6.c.1 a 6.c.5 se muestran las láminas diarias calculadas para las cuencas extrapoladas, para los meses de mayo a septiembre, de manera respectiva. En el anexo 2.c.2, se pueden consultar las láminas calculadas desde junio de 2011 a septiembre de 2012.

**Tabla 6.c.1 Láminas diarias (mm) en cuencas extrapoladas, mes de mayo**

Año	Mes	Día	Peñitas- Mezcalapa	Mezcalapa Alto	Mezcalapa Bajo	Tzimbac	Zayula	Platanar	Paredón	Carrizal	Samaria
2012	5	1	1	0	0	0.4	0.6	0	0	0	0
2012	5	2	0.4	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0
2012	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	4	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0
2012	5	5	0.9	0	0	0.8	0.1	0	0	0	0
2012	5	6	0.4	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0
2012	5	7	0.8	0	0	0.3	0.5	0	0	0	0
2012	5	8	0.8	0	0	0.3	0.5	0	0	0	0
2012	5	9	10.4	6.6	1	8.8	7.1	5.3	5.7	0	0
2012	5	10	1.9	0	0	1.4	0.4	0	0	0	0
2012	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	13	0.5	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0
2012	5	14	2.8	0.5	0	2	31.7	125.5	29.8	0	0
2012	5	15	4.9	8.4	11	2.6	1.4	1.9	3.9	32	35.8
2012	5	16	1.6	0.2	0.2	1.2	2.4	0.3	0.2	0	0.1
2012	5	17	3.9	0.6	0.6	1.2	4.2	0.3	0.5	0.1	0.4
2012	5	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	19	0.5	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0
2012	5	20	2.4	0.1	0.1	4.3	6.5	0.1	0.1	0	0.1
2012	5	21	3	0	0	0.5	1	9.8	6.6	0	0
2012	5	22	1.2	0	0	0.5	0.7	0	0	0	0
2012	5	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5	28	1.1	0.1	0	0.6	0.8	0	0	0	0
2012	5	29	2.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0
2012	5	30	1.7	0	0	3	1	0	0	0	0
2012	5	31	1	0	0	0.4	0.9	0.1	0	0	0

Tabla 6.c.2 Láminas diarias (mm) en cuencas extrapoladas, mes de junio

Año	Mes	Día	Peñitas-Mezcalapa	Mezcalapa Alto	Mezcalapa Bajo	Tzimbac	Zayula	Platanar	Paredón	Carrizal	Samaria
2012	6	1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0
2012	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	6	7	30.5	30.9	28.2	25.7	28.8	33.7	36	20.7	24.4
2012	6	8	2.9	0.1	0.6	3.5	4.8	1.5	0	4.3	0.8
2012	6	9	21.1	5.4	0.3	14.6	6.8	4.2	3.4	0	0
2012	6	10	35.4	10.5	0.5	27.3	25.1	15.7	11	0	0
2012	6	11	37	24.2	13.2	26.4	27.7	25.8	24.1	4.4	8.8
2012	6	12	0.8	0	0	0.4	0.7	0	0	0	0
2012	6	13	7.6	62.5	257.6	4.3	4.5	3.2	3.5	129.6	210.1
2012	6	14	13	18.2	70.3	4.9	5.7	4.8	5.4	44.9	65.7
2012	6	15	10.8	10.7	15.1	4.1	4	6.9	11.4	19.1	19.3
2012	6	16	2.7	1.1	1.3	0.5	0.9	0.3	0.7	1.9	1.2
2012	6	17	8.1	1	15.1	3.4	3.5	1.3	0.5	17.5	25.1
2012	6	18	1.4	2.4	13.3	0.5	0.4	3.1	3.3	4.2	15.4
2012	6	19	43.5	36.4	42.2	32.7	30.7	38.4	33.6	34.8	42.6
2012	6	20	0	1	8.2	0	0	0	0.2	3.1	4
2012	6	21	7	9.9	2.4	9.5	12.8	16.3	13.3	3.9	5.2
2012	6	22	0.8	3.3	3.1	0.6	0.7	2.2	3.9	3.5	9.6
2012	6	23	4.9	11.9	12.2	2.8	4.7	8.3	11.8	9.7	3.1
2012	6	24	1.1	2.5	33	0.4	0.8	0.5	2.6	2.3	8.2
2012	6	25	2.8	5.5	21.6	4.4	4	3.4	4.6	15.2	25.2
2012	6	26	4.9	14.1	31.4	4.3	3.7	7.4	13.7	22.3	26.2
2012	6	27	0.9	1.1	4.8	0.5	1.1	0.6	0.5	10.4	7.2
2012	6	28	19.1	5.1	0	12.6	13.2	10.2	4.5	0	0
2012	6	29	14.1	3.1	0	12.6	8.3	6.1	1	0	0
2012	6	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0



DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

**Tabla 6.c.3 Láminas diarias (mm) en cuencas extrapoladas, mes de julio**

Año	Mes	Día	Peñitas- Mezcalapa	Mezcalapa Alto	Mezcalapa Bajo	Tzimbac	Zayula	Platanar	Paredón	Carrizal	Samaria
2012	7	1	2.1	0.3	0.5	4.9	4.1	0.8	0.6	0.2	0.4
2012	7	2	15.4	7.6	7.3	6.5	5.3	5.6	5.9	2	4.4
2012	7	3	18.6	10.9	5.9	7.4	14.5	9.1	9.3	5.8	5.1
2012	7	4	6	5.7	0	1.7	1.7	4.7	3.7	0	0
2012	7	5	0.2	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0
2012	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	7	7	0.6	8.2	6.4	0	0	5.3	9.4	4.4	7.6
2012	7	8	4.7	7.6	6.4	1.2	1.7	5	6.5	0.1	0.2
2012	7	9	1	1.5	4.3	0.6	1.1	0.9	3.8	0.2	0.3
2012	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	7	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	7	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	7	13	4	2.5	0	7.4	6.5	4.2	2.6	0	0
2012	7	14	18.4	13.9	10.1	18.1	18.4	14	14.8	0.9	3.7
2012	7	15	0.2	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0
2012	7	16	0.2	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0
2012	7	17	0.5	0.9	1.7	0.9	3.3	2.1	2.4	2	2.3
2012	7	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	7	19	11.3	1.4	0	13.7	4.3	0	0.1	0.4	0
2012	7	20	0.6	0.2	0	0.3	0.4	0.4	0.1	0.6	0
2012	7	21	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0
2012	7	22	3.9	1	0.1	3.8	2.6	1.3	0.3	1.2	1
2012	7	23	12.7	14.7	18.8	13.4	14.6	13	13.8	13.2	17.4
2012	7	24	1.1	3.3	9	3.2	3.6	0.8	3.4	5	8.7
2012	7	25	1	0	0	0.4	0.6	0	0	0	0
2012	7	26	1.2	0	0	0.5	0.7	0	0	0	0
2012	7	27	16.2	22.9	22.6	14.8	13.3	11	9.7	15.8	20.8
2012	7	28	0	4.9	8.2	0	0	0.8	3.9	1.4	4.4
2012	7	29	1.1	0.5	0.2	0.7	0.4	0.1	0.1	0	0
2012	7	30	0	0.1	1.6	0	0	0	0	0	0.1
2012	7	31	8	2.9	0.3	8.7	5.8	4.6	0.6	0.3	0.7

ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO

Tabla 6.c.4 Láminas diarias (mm) en cuencas extrapoladas, mes de agosto

Año	Mes	Día	Peñitas-Mezcalapa	Mezcalapa Alto	Mezcalapa Bajo	Tzimbac	Zayula	Platanar	Paredón	Carrizal	Samaria
2012	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	8	3	0.1	0.5	0	0.1	0	0	0	0	0
2012	8	4	24.2	14.6	12.9	15.4	17	15.6	15.6	2	5.6
2012	8	5	0	6.1	3.9	0	0	0.4	3.8	0.5	0.5
2012	8	6	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0
2012	8	7	0.2	0.3	0.8	0	0.2	0.3	0.6	0.6	0.2
2012	8	8	35.3	31.6	9.7	32	28.6	35.5	23.4	13.3	12.7
2012	8	9	5.4	6.1	0.6	3.7	1.2	1.5	0.6	1.4	1
2012	8	10	19	11.7	3.6	20.1	15.4	13	7.8	9.1	7.2
2012	8	11	0.3	0.4	2.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	1
2012	8	12	19.2	20.5	23.3	18.4	20.1	17.4	17	18	20.4
2012	8	13	25.6	27.5	29.8	17.9	10.6	15.9	18.1	1.2	10
2012	8	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	8	15	1.3	9.9	15.2	0.2	0.2	4.3	7.9	12.8	10.3
2012	8	16	8	20.9	11	9.4	12.2	8.8	13.2	35.3	11.1
2012	8	17	23.6	18.7	14.7	6.9	5.6	11.7	11.4	10.2	8.5
2012	8	18	0.5	0.1	0	0.2	0.3	0	0	0	0
2012	8	19	11.5	4.8	0.1	14.1	14.9	10.1	5.3	0.3	0.7
2012	8	20	14.7	11	10.6	18.6	19.2	11.4	9	15.7	9.7
2012	8	21	19.8	17.2	10.8	14.2	16.9	19.9	19.7	14.3	10.4
2012	8	22	4	6.4	2.6	6.4	8.5	11.4	12.9	3.6	5.4
2012	8	23	4.2	0.6	0	7.7	7.6	4.6	0.7	0.1	0
2012	8	24	4.7	1.3	0	2.9	0.4	0.4	0	0	0
2012	8	25	20.3	5.9	0	13.8	13.6	12	1.7	0	0
2012	8	26	3.5	15.8	18.5	0.4	1.6	8.4	12.1	2	7.2
2012	8	27	0.4	0.2	0	1.3	0.1	0.6	0.1	0.1	0
2012	8	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	8	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	8	30	35.6	27.5	12.5	33.2	29.8	28.8	27.4	43	15.8
2012	8	31	20.9	17.8	9.7	15.7	12.1	15.7	11.9	1.7	4.1

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

**Tabla 6.c.5 Láminas diarias (mm) en cuencas extrapoladas, mes de septiembre**

Año	Mes	Día	Peñitas- Mezcalapa	Mezcalapa Alto	Mezcalapa Bajo	Tzimbac	Zayula	Platanar	Paredón	Carrizal	Samaria
2012	9	1	3.4	9.5	0	0.2	0.6	10.1	4.6	0	0
2012	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	3	18	10.3	2.6	5.5	7.3	11.7	10.7	3.8	2.1
2012	9	4	0	0.2	0	0	0	0	0.9	0	0
2012	9	5	6.3	2.4	0	2.6	3.6	6.4	0.7	0	0
2012	9	6	0.2	0	0	0.4	0.6	0.2	0.1	0	0
2012	9	7	0.3	0	0	0.6	2	1	0.1	0	0
2012	9	8	25.7	19.7	14.4	14.1	7.6	11.8	12.3	5.3	11.1
2012	9	9	18.2	19.5	13.4	8.5	9.4	16.3	16.6	5.4	1.7
2012	9	10	26.7	28.6	15	16.8	16.5	23.3	23	0.7	3.2
2012	9	11	0.7	0.2	0.6	0.5	0	0	0	0	0.1
2012	9	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	14	12.4	17.5	18.1	1.6	2.3	9.4	13.5	8	12.9
2012	9	15	1.1	6.1	1.4	0.1	0.9	4.4	6	0.5	0.6
2012	9	16	8.1	12.9	9	0.5	1.9	10.8	13.4	2.2	5.2
2012	9	17	40.3	49.7	42.8	31.9	37.3	53.7	50.4	33.6	38.8
2012	9	18	26.7	21.1	13.3	17.8	19	22.4	23.6	5.4	9.6
2012	9	19	3.9	17.8	12.5	2.1	2.1	6.9	11.4	3.9	7.3
2012	9	20	4.7	7.7	1.9	1.9	0.8	3	2.3	2	2.2
2012	9	21	9.7	6.3	0.2	9.9	10.4	13	6.6	0.8	1.5
2012	9	22	1.7	7.3	35.8	0.9	7.3	13.3	16.4	246.2	115.6
2012	9	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	9	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## d) CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE UMBRALES EN LOS RÍOS MEZCALAPA, CARRIZAL Y SAMARIA

### 6.d.1) Definición de umbrales de nivel de los ríos

Uno de los procedimientos más utilizados para definir los umbrales de niveles de río es consultar los registros de gastos aforados y niveles de los ríos, en las estaciones ubicadas en la cuenca de interés, para estudiar el comportamiento y ocurrencia de las inundaciones. Los datos climatológicos e hidrométricos suministran valiosa información con la que se puede establecer un nivel de referencia o umbral. La experiencia de los organismos operadores de cuenca cercanos a las inundaciones, ayuda a la identificación de los lugares más vulnerables a inundaciones y reconocer las características de los eventos de inundación que se repiten en la cuenca. El conocimiento de un nivel del río aguas arriba puede caracterizar un nivel del río sobre la cuenca.

La referencia histórica (analizada y verificada en el campo con marcas dejadas por las inundaciones) es en este caso la más valiosa información para obtener un umbral de referencia o mínimo para una probable inundación. Esto permitirá definir un umbral de crecida. Siguiendo las relaciones adecuadas se define una tabla de umbrales; estos valores deben ser validados con la revisión de futuros eventos de inundación.

Se describe a continuación la metodología empleada para definir los umbrales (niveles) de referencia, basada en la definición de 10 niveles, donde el nivel 1 al 5 corresponden a una situación de aviso; el nivel 5 al 7, a una situación de alerta y si se supera el nivel 7 se emite una alarma:

1. Se fija un umbral basado en la experiencia o en la medición (marcas de campo, o el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, NAME) y se relaciona con un nivel 8 (N8). Es decir, se considera que la situación de alarma comienza un instante antes en el nivel 7.
2. El umbral correspondiente a un nivel ordinario del perfil del río se fija con base en el conocimiento del comportamiento del río (Nivel de aguas máximas ordinarias, NAMO), se relaciona con un nivel 5 (N5).
3. El nivel N1 corresponde al nivel mínimo del perfil del río (Nivel de Aguas Mínimas, NAMIN).
4. Los niveles N2 a N4, N6, N7, N9 y N10, se determinan de acuerdo al tamaño de la cuenca, la longitud del cauce principal, la topografía. Una manera de establecer dichos niveles, es ponderando los valores respectivos, con los niveles ya definidos N1, N5 y N8, como se muestra en la figura 6.d.1.

La Tabla 6.d.1 muestra la interpretación de la información, expresada en una tabla de umbrales de nivel de río.

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

Tabla 6.d.1 Umbrales de aviso, alerta y alarma

Tipo de alerta	Condición de alerta	Acción
Aviso	nivel del río en N4 VERDE	Dar aviso a la comunidad para que le den seguimiento al comportamiento de los niveles.
Alerta	nivel del río en N5 AMARILLO	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación.
Alarma	nivel del río en N7 o más ROJO	Dar alarmas a las comunidades aguas abajo para activar planes de emergencia.

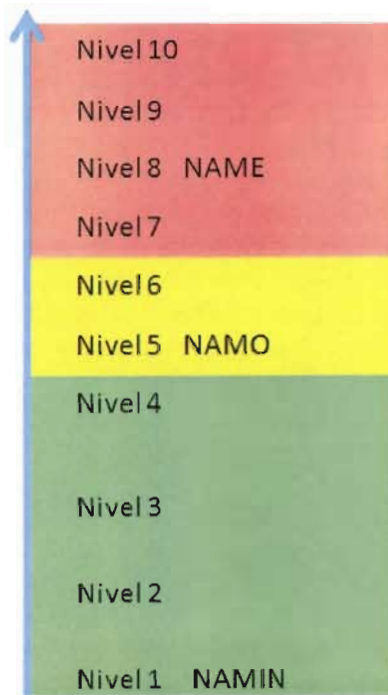


Figura 6.d.1. Niveles de Aviso, Alerta y Alarma en función de los Niveles

Las siguiente Tabla es tomada del boletín hidrométrico y de Presas del Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS), donde se muestran los niveles de operación de los ríos de Tabasco, monitoreados en las estaciones presentadas, esta información se utilizó para definir los umbrales con el procedimiento que se mostró anteriormente.

**Tabla 6.d.2 Niveles de operación de los ríos de Tabasco (OCFS)**

No.	Estación	NAMIN	NAMO	NAME
1	Platanar	29.07	32.28	34.65
2	Samaria	10.4	14.9	18.5
3	Gonzalez	2.87	8.77	10.2
4	Oxolotan	31.2	39.53	47.37
5	Tapijulapa	15.92	24.63	28.15
6	Puyacatengo	24.21	29.65	31.35
7	Teapa	33.8	37.71	39.56
8	Pueblo Nuevo	1.16	7.49	8.4
9	San Joaquin	17.75	23.12	26.66
10	Gaviotas	0.82	5.42	7.85
11	El Muelle	0.73	5.24	7.23
12	Porvenir	0.51	4.74	6.67
13	Salto de Agua	0.84	10.99	14.57
14	Macuspana	0.69	9.85	12.78
15	Boca del Cerro	10.63	19.21	21.57
16	San Pedro	7.58	9.01	9.77

En la tabla 6.d.3 a 6.d.5 se muestran los niveles para los ríos de presentados en la tabla 6.d.2. Los niveles N2 a N4, se determinaron interpolando de manera lineal, los valores de los respectivos NAMIN y NAMO de cada río. El nivel N6 y N7, se obtuvo interpolando los NAMO y NAME linealmente. Finalmente los valores de N9 y N10, calcularon suponiendo un incremento de la centésima parte inmediata inferior.

**Tabla 6.d.3 Umbrales (m) en las estaciones Platanar, Samaria y González**

Estación	Platanar	Samaria	Gonzalez
N1	29.07	10.40	2.87
N2	29.87	11.53	4.35
N3	30.68	12.65	5.82
N4	31.48	13.78	7.30
N5	32.28	14.90	8.77
N6	33.07	16.10	9.25
N7	33.86	17.30	9.72
N8	34.65	18.50	10.20
N9	35.00	18.69	10.30
N10	35.34	18.87	10.40

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

**Tabla 6.d.4 Umbrales (m) en las estaciones ubicadas en la cuenca del río de La Sierra y en la ciudad de Villahermosa**

UmbralEstación	Oxolotan	Tapijulapa	Puyacatengo	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín	Gaviotas	El Muelle	Porvenir
N1	31.20	15.92	24.21	33.80	1.16	17.75	0.82	0.73	0.51
N2	33.28	18.10	25.57	34.78	2.74	19.09	1.97	1.86	1.57
N3	35.37	20.28	26.93	35.76	4.33	20.44	3.12	2.99	2.63
N4	37.45	22.45	28.29	36.73	5.91	21.78	4.27	4.11	3.68
N5	39.53	24.63	29.65	37.71	7.49	23.12	5.42	5.24	4.74
N6	42.14	25.80	30.22	38.33	7.79	24.30	6.23	5.90	5.38
N7	44.76	26.98	30.78	38.94	8.10	25.48	7.04	6.57	6.03
N8	47.37	28.15	31.35	39.56	8.40	26.66	7.85	7.23	6.67
N9	47.84	28.43	31.66	39.96	8.48	26.93	7.93	7.30	6.74
N10	48.32	28.71	31.98	40.35	8.57	27.19	8.01	7.37	6.80

**Tabla 6.d.5 Umbrales (m) en las estaciones ubicadas en la zona de Los Ríos**

Estación	Salto de Agua	Macuspana	Boca del Cerro	San Pedro
N1	0.84	0.69	10.63	7.58
N2	3.38	2.98	12.78	7.94
N3	5.92	5.27	14.92	8.30
N4	8.45	7.56	17.07	8.65
N5	10.99	9.85	19.21	9.01
N6	12.18	10.83	20.00	9.26
N7	13.38	11.80	20.78	9.52
N8	14.57	12.78	21.57	9.77
N9	14.72	12.91	21.79	9.87
N10	14.86	13.04	22.00	9.97

6.d.2) Esquema de la ubicación de las hidrométricas y los umbrales

Se un archivo con extensión KMZ, el cuál puede abrirse en Google Earth. El archivo contiene la base de datos de los umbrales de protección referenciados a cada estación hidrométrica (Figura 6.d.2). Con un clic sobre cada estación, desplegará la información referente a los umbrales (niveles) y coordenadas del sitio (Figura 6.d.3).



Figura 6.d.2. Esquema de ubicación, archivo KMZ

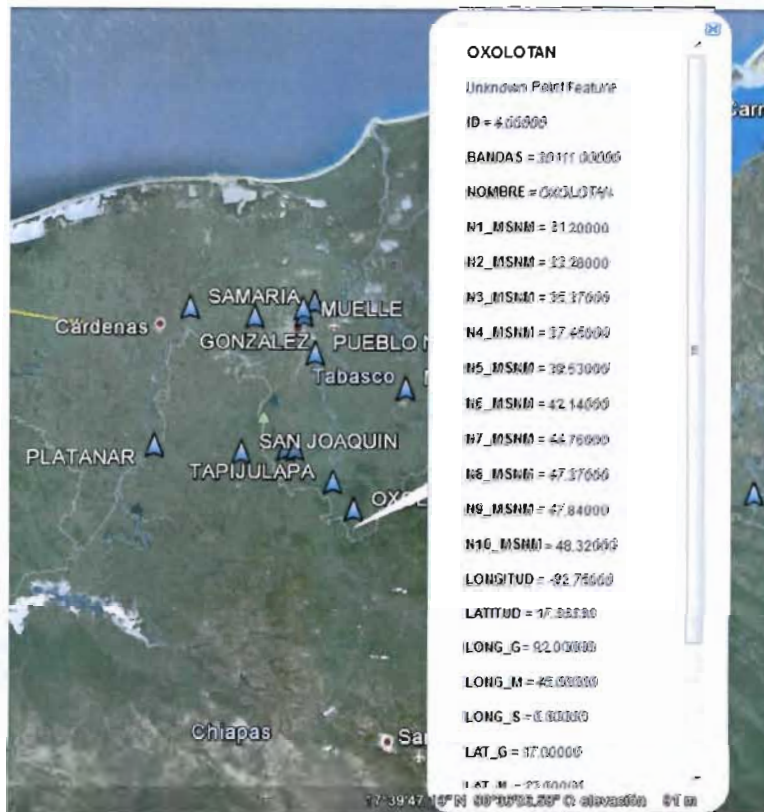
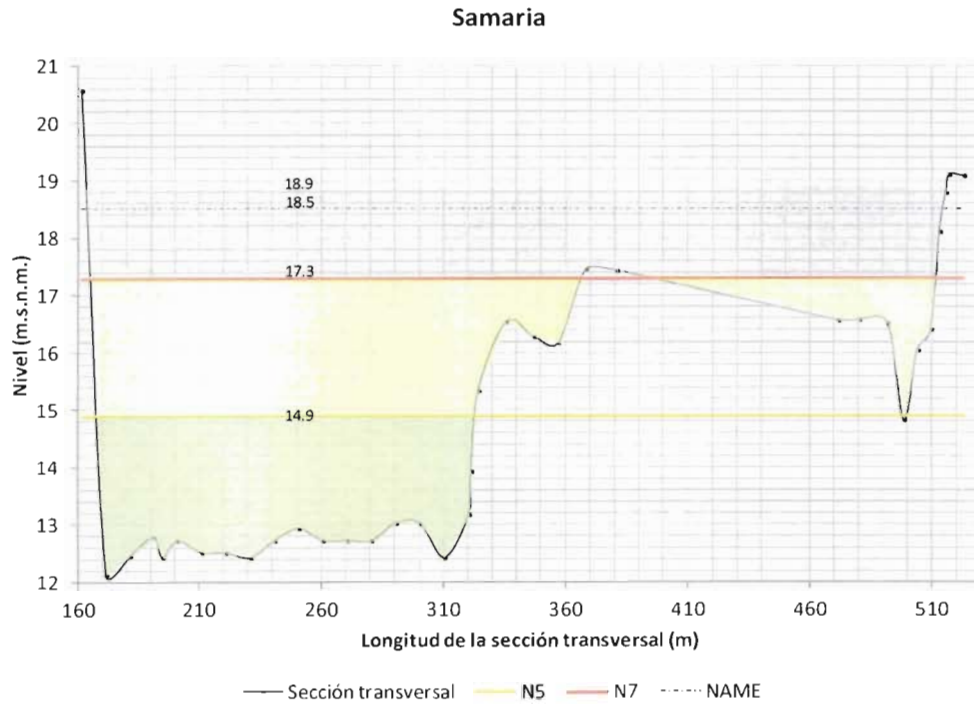


Figura 6.d.3. Esquema de despliegue de información referente a los umbrales

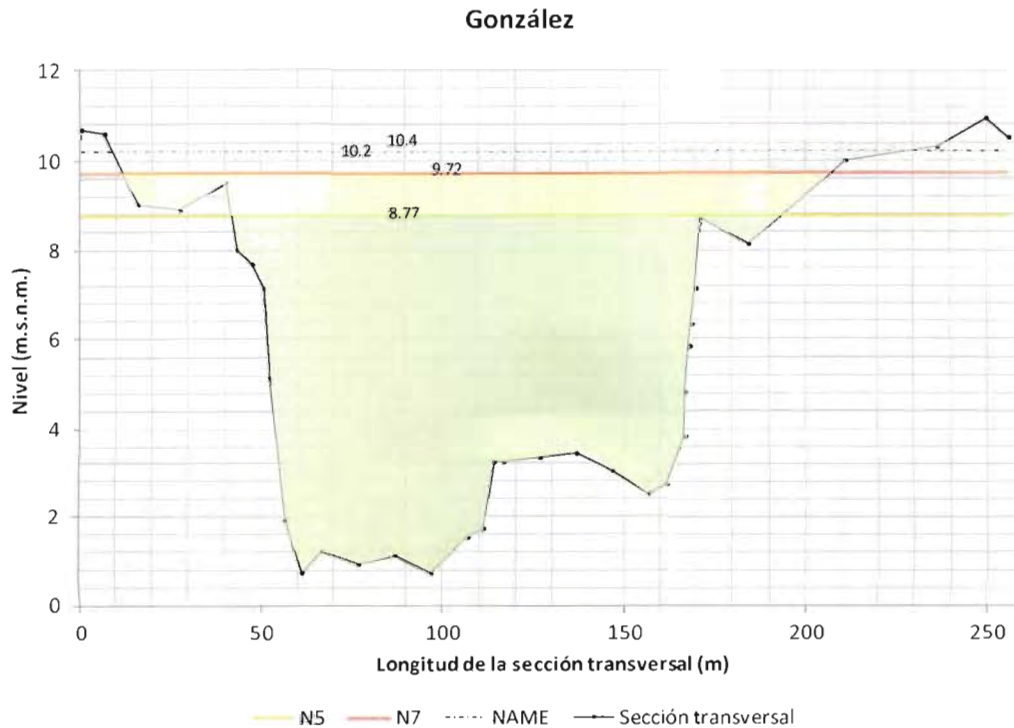
*Handwritten signature or initials.*



En las figuras 6.d.4 a 6.d.14 se presenta de manera esquemática, las secciones transversales de los ríos indicando los umbrales de aviso, alerta y alarma.



**Figura 6.d.4. Esquema de la sección transversal del la estación Samaria**



**Figura 6.d.5. Esquema de la sección transversal del la estación González**

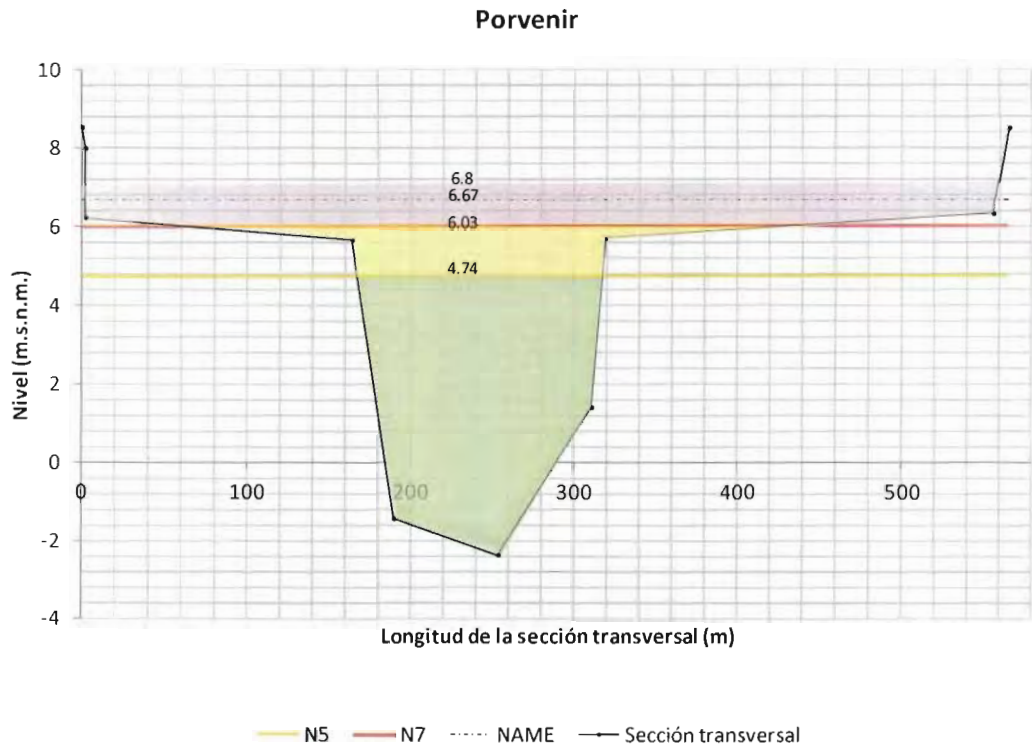


Figura 6.d.6. Esquema de la sección transversal del la estación Porvenir

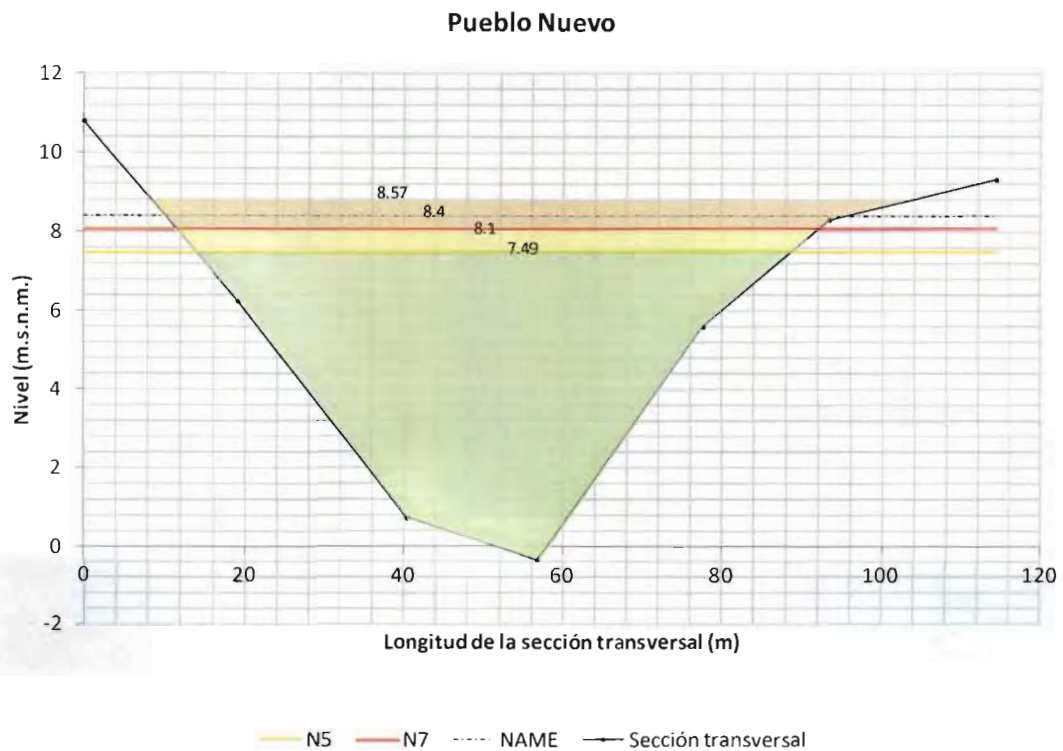


Figura 6.d.7. Esquema de la sección transversal del la estación Pueblo Nuevo

VF

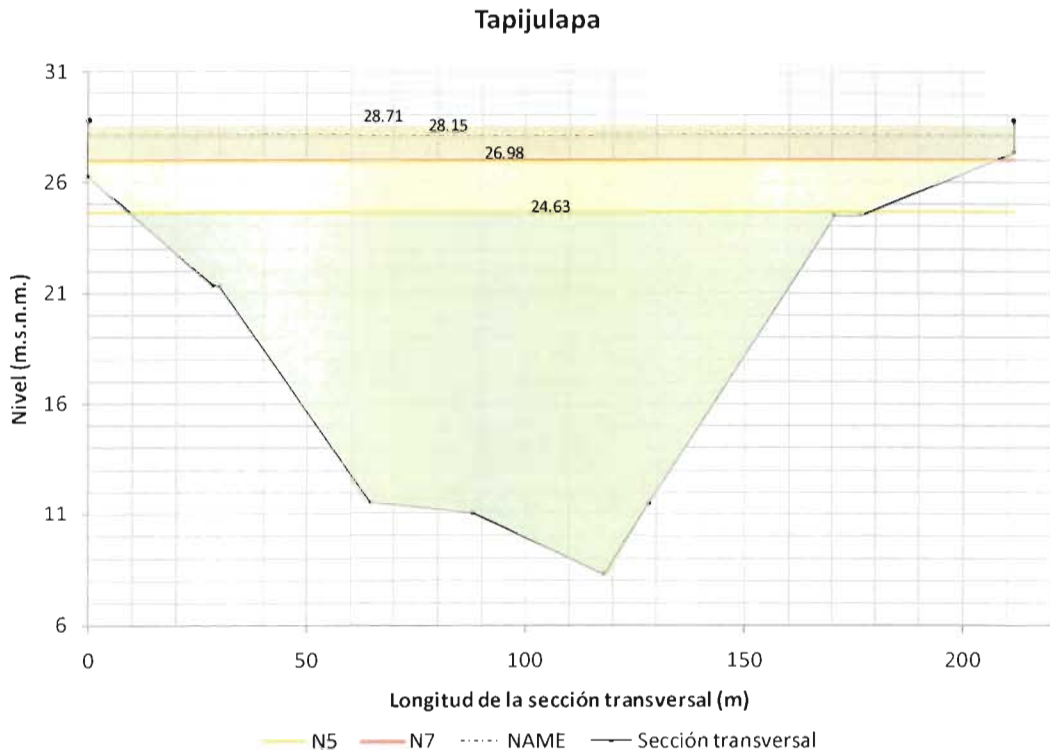


Figura 6.d.8. Esquema de la sección transversal del la estación Tapijulapa

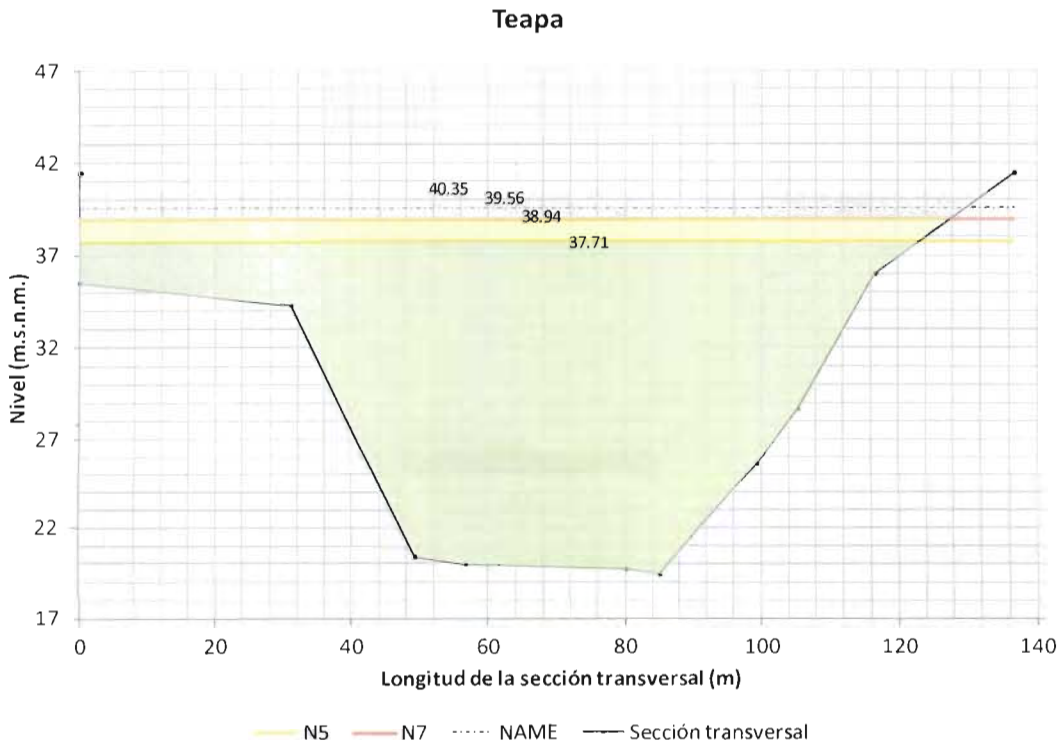


Figura 6.d.9. Esquema de la sección transversal del la estación Teapa

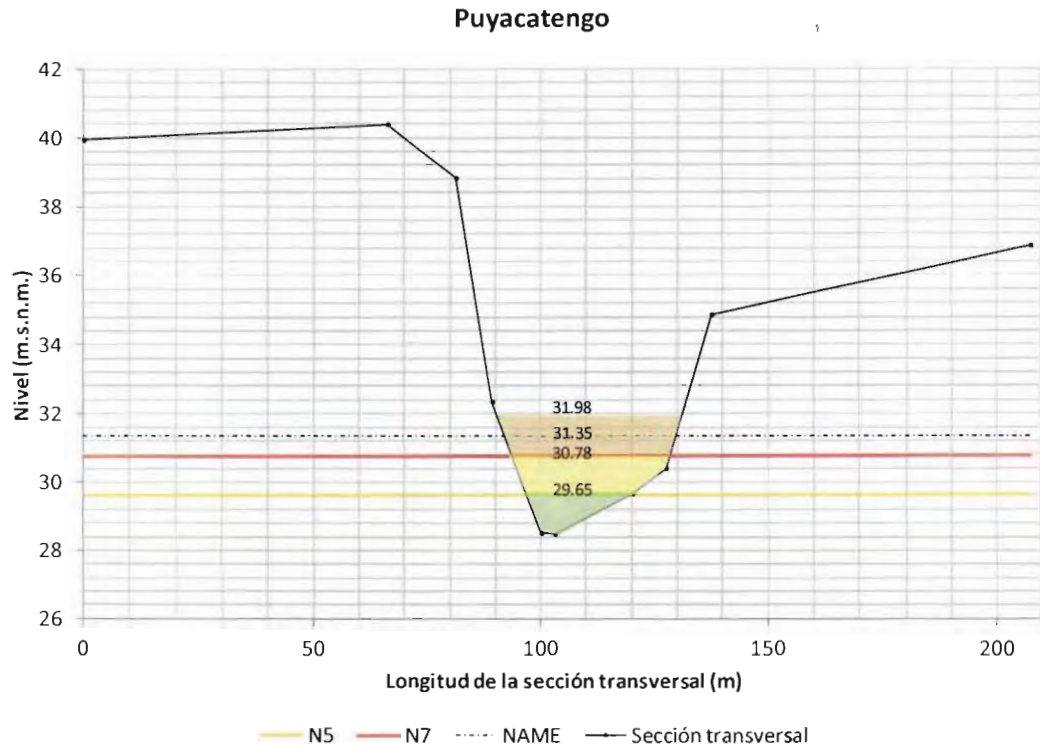


Figura 6.d.10. Esquema de la sección transversal del la estación Puyacatengo

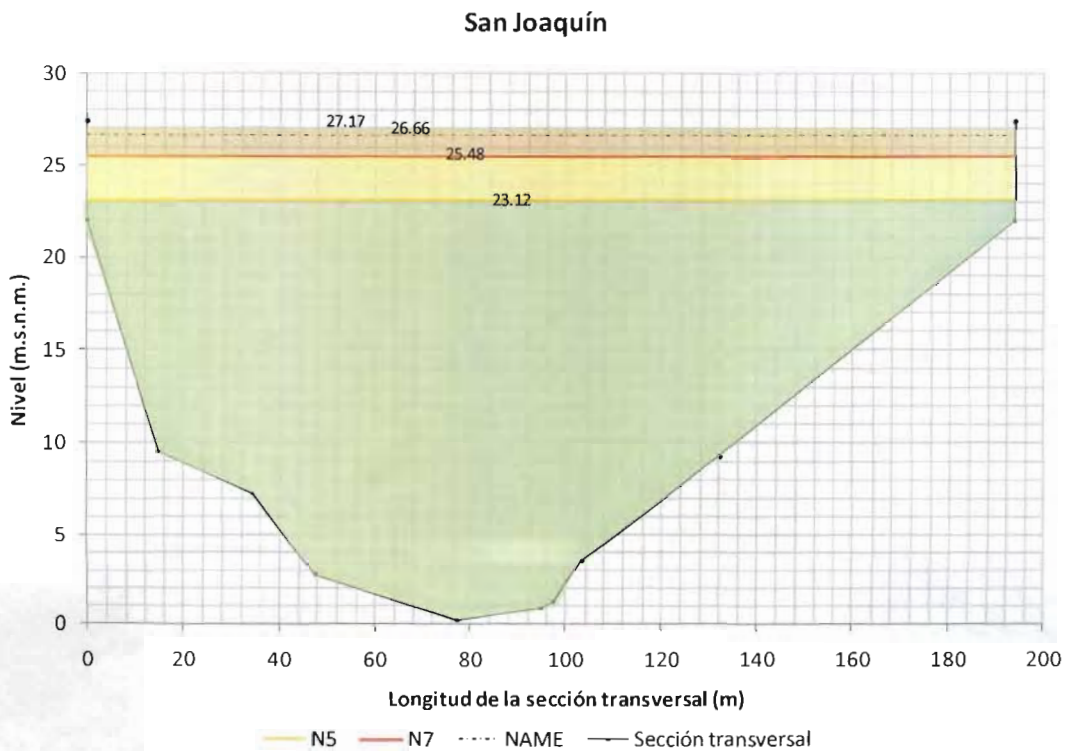


Figura 6.d.11. Esquema de la sección transversal del la estación San Joaquín

*JF*

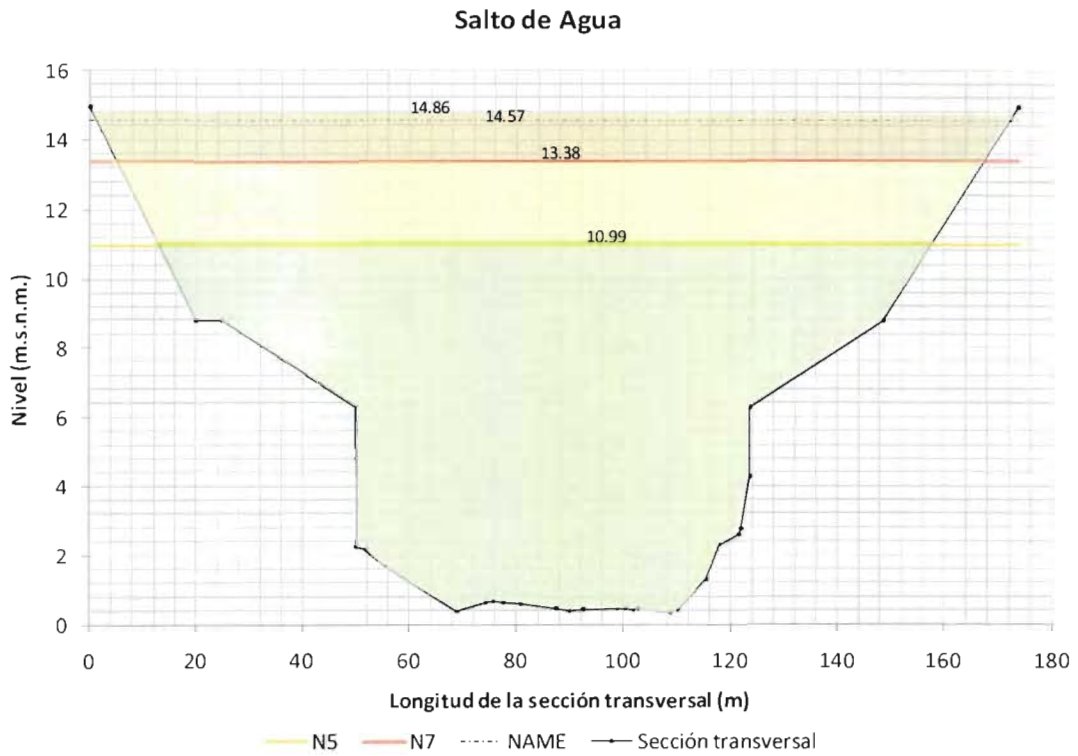


Figura 6.d.12. Esquema de la sección transversal del la estación Salto de Agua

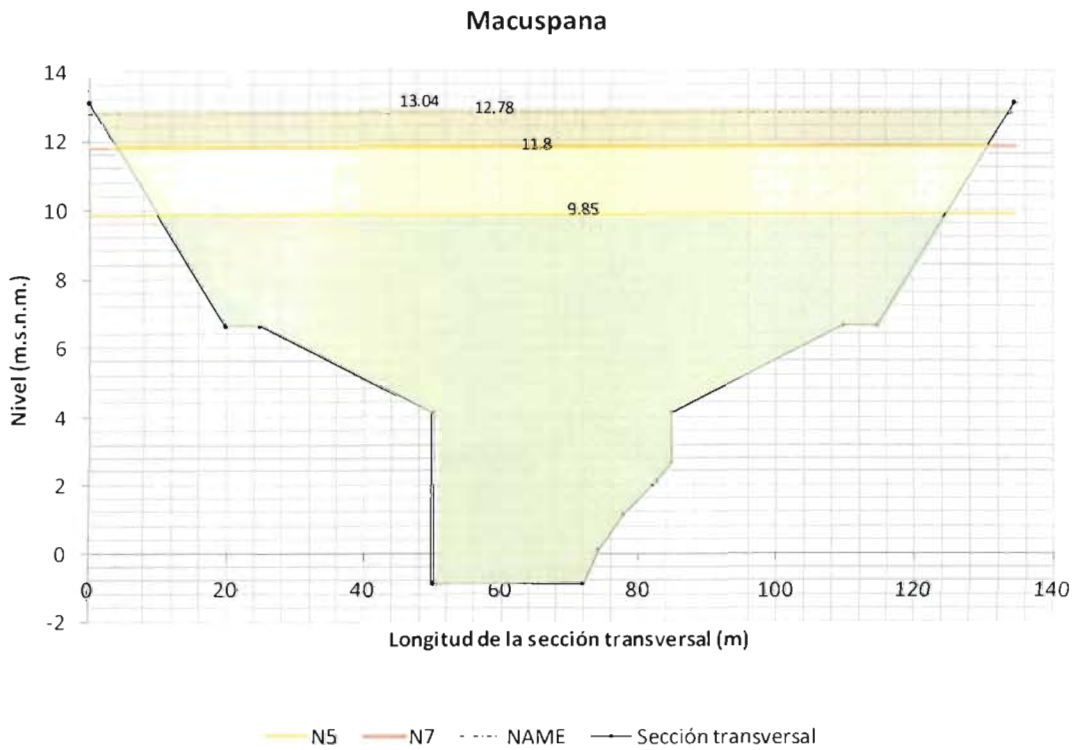


Figura 6.d.13. Esquema de la sección transversal del la estación Macuspana

Boca del Cerro

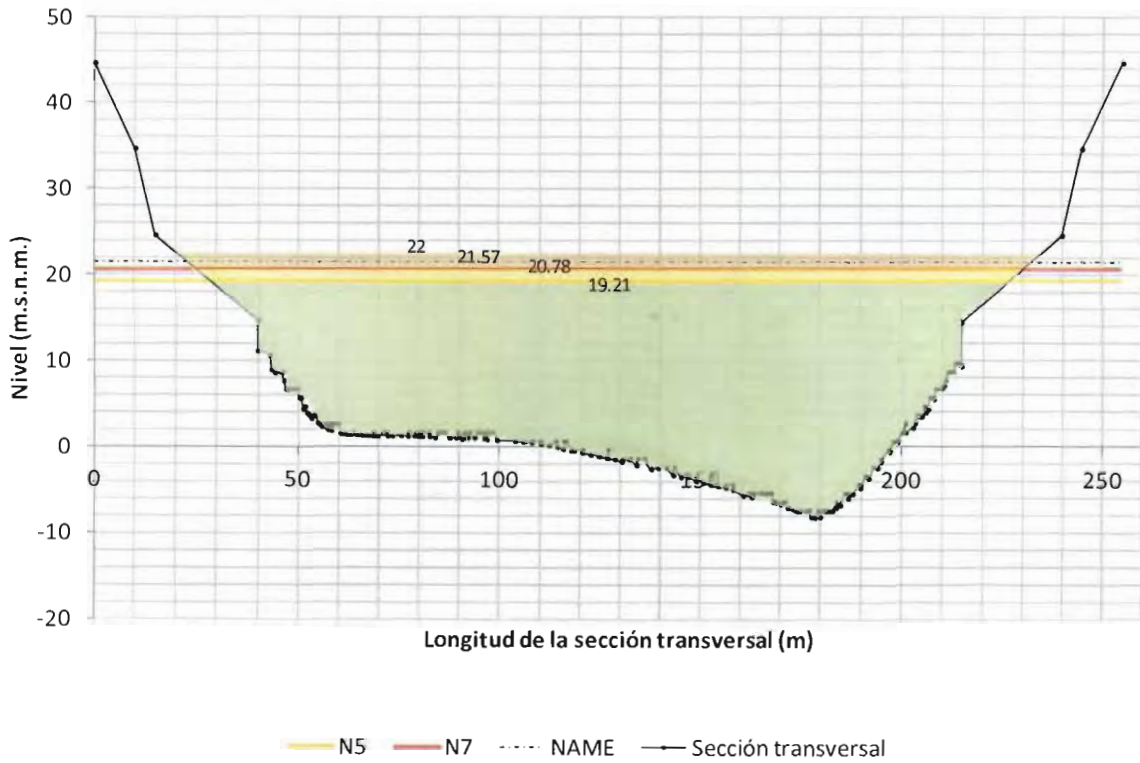


Figura 6.d.14. Esquema de la sección transversal del la estación Boca del Cerro

### 6.d.2) Gastos asociados a los umbrales

Para las estaciones hidrométricas presentadas en la sección anterior, se puede determinar su correspondiente curva Gasto-Elevación. Esta curva es propia de cada sección de río, y puede determinarse ajustando una función entre los gastos y los niveles de los ríos:

$$\text{Nivel} = f(\text{Gasto})$$

Para el ajuste de las curvas, se utilizó la información histórica de niveles y caudales aforados en las estaciones. A continuación se muestran las funciones ajustadas, así como los valores correspondientes a NAMIN, NAMO y NAME para cada estación. Cuando la curva arrojó valores negativos o demasiado grandes (para el caso de NAMIN y NAME), se utilizó el gasto mínimo y el gasto máximo aforados. Cabe señalar que los gastos se dividieron entre 1000 para que los coeficientes correspondientes de cada ecuación, no fueran muy pequeños (menores que una milésima).

#### Estación Samaria

La figura 6.d.15 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación Samaria, ubicada en el río del mismo nombre, la función que mejor se ajustó fue una polinómica de orden cuatro. En la Tabla 6.d.6 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

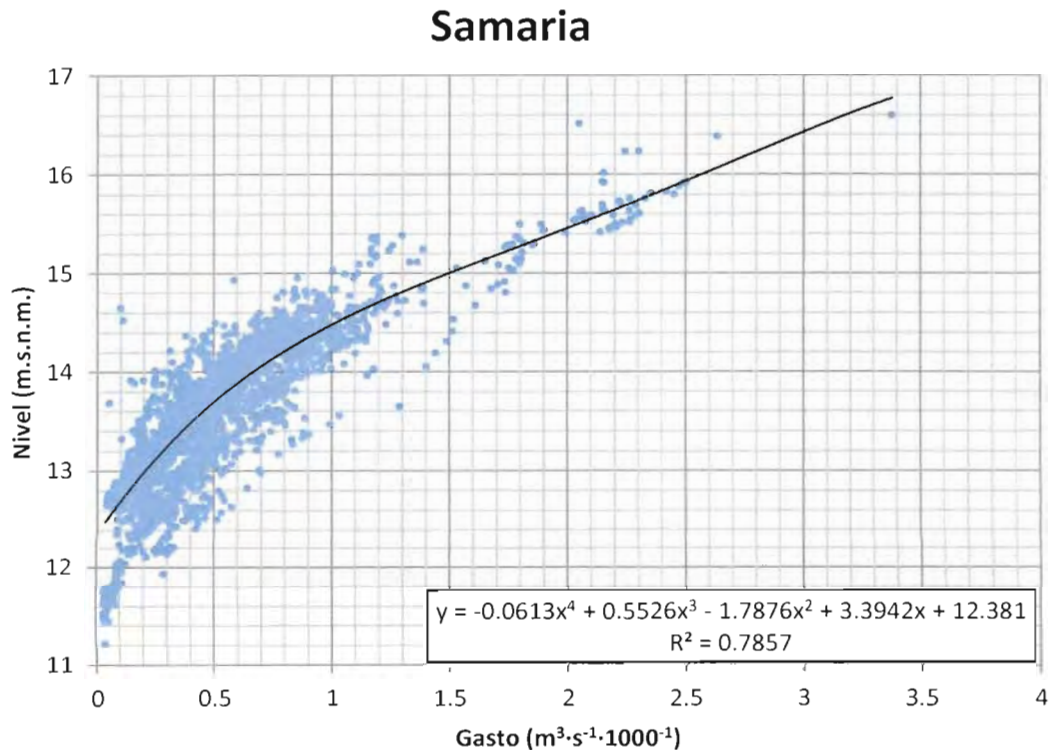


Figura 6.d.15 Curva Gasto-Elevación para la estación Samaria

Tabla 6.d.6 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación Samaria

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	14.9	1400
<b>NAME</b>	18.5	3400
<b>NAMIN</b>	10.4	30

**Estación González**

La figura 6.d.16 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación González, ubicada en el río Carrizal, la función que mejor ajuste presentó fue una polinómica de orden tres. En la Tabla 6.d.7 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

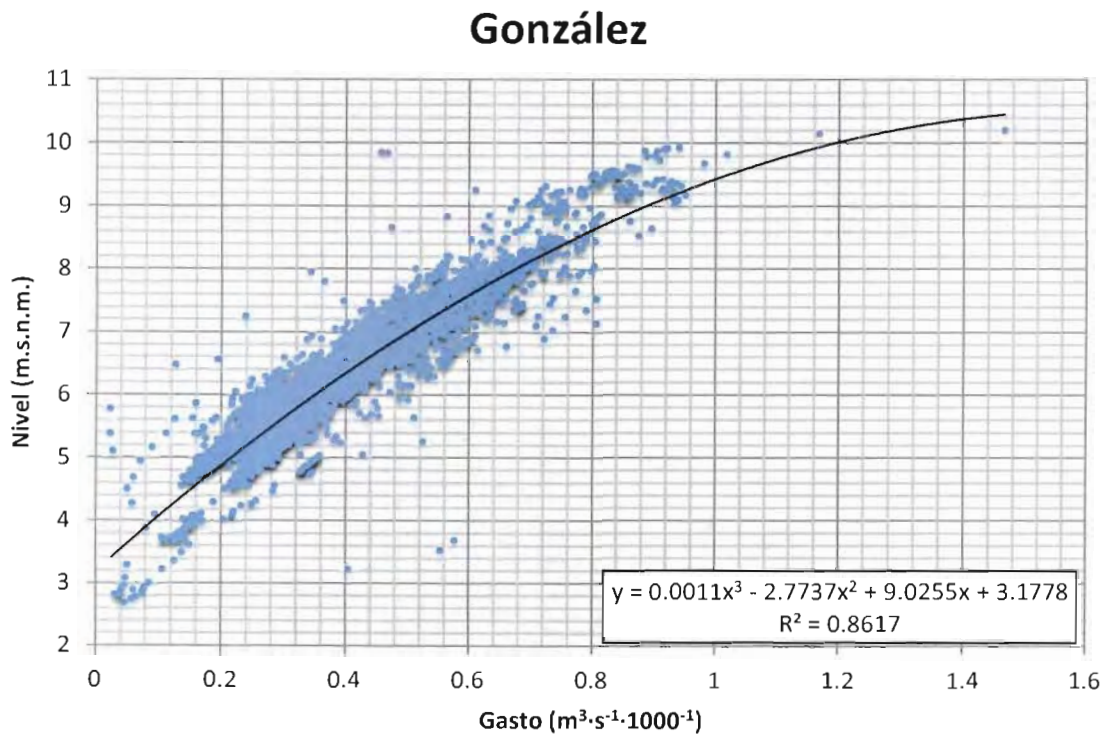


Figura 6.d.16 Curva Gasto-Elevación para la estación González



Tabla 6.d.7 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación González

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	8.77	834
<b>NAME</b>	10.2	1290
<b>NAMIN</b>	2.87	22

### Estación Oxolotán

La figura 6.d.17 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación Oxolotán, ubicada en el río Tacotalpa, la función que mejor se ajustó es una polinómica de orden dos. En la Tabla 6.d.8 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

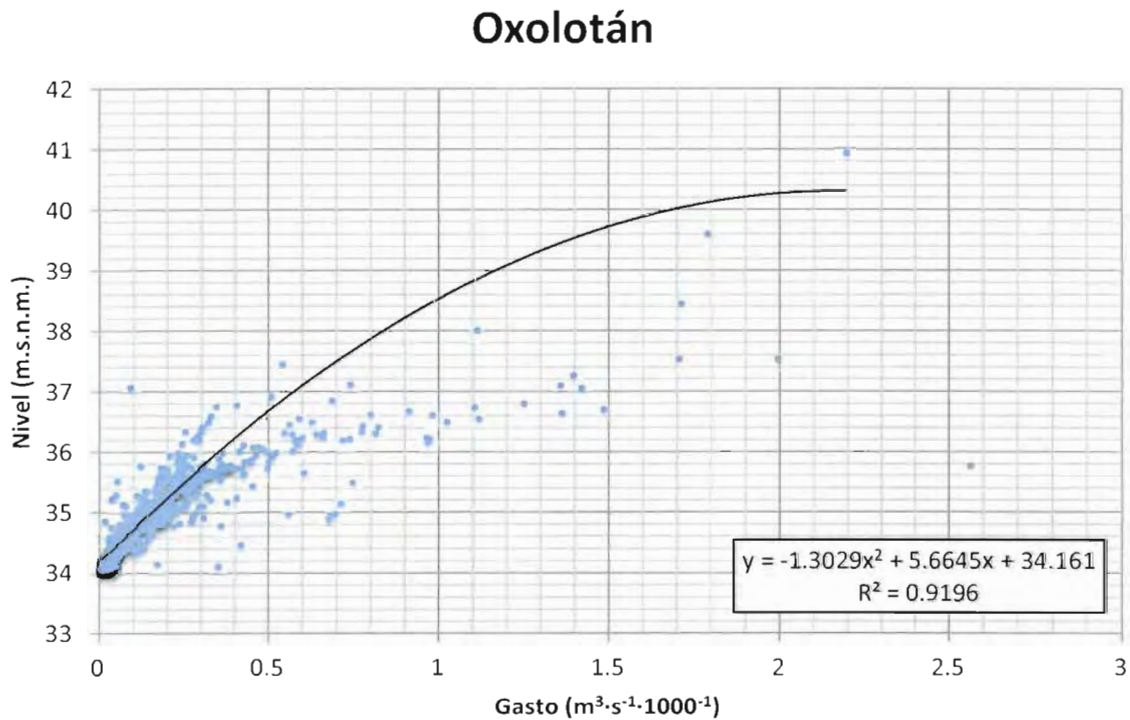


Figura 6.d.17 Curva Gasto-Elevación para la estación Oxolotán

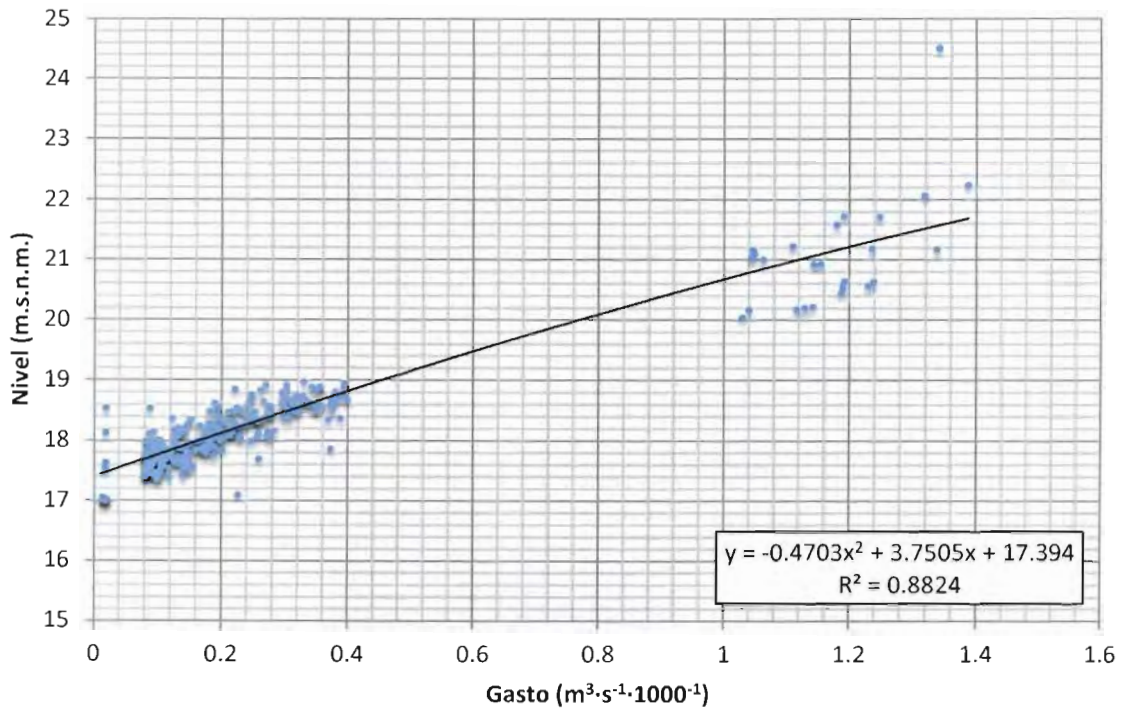
**Tabla 6.d.8 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación Oxolotán**

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	39.53	1400
<b>NAME</b>	47.37	2560
<b>NAMIN</b>	31.2	5

**Estación Tapijulapa**

La figura 6.d.18 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación Tapijulapa, ubicada en el río Tacotalpa, la función que mejor ajuste presentó es una polinómica de orden tres. En la Tabla 6.d.9 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

**Tapijulapa**



**Figura 6.d.18 Curva Gasto-Elevación para la estación Tapijulapa**

*UF*

Tabla 6.d.9 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación Tapijulapa

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	24.63	1500
<b>NAME</b>	28.15	2700
<b>NAMIN</b>	15.92	3

### Estación Teapa

La figura 6.d.19 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación Teapa, ubicada en el río de nombre homólogo, la función que mejor se ajustó a los datos es una polinómica de orden tres. En la Tabla 6.d.10 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

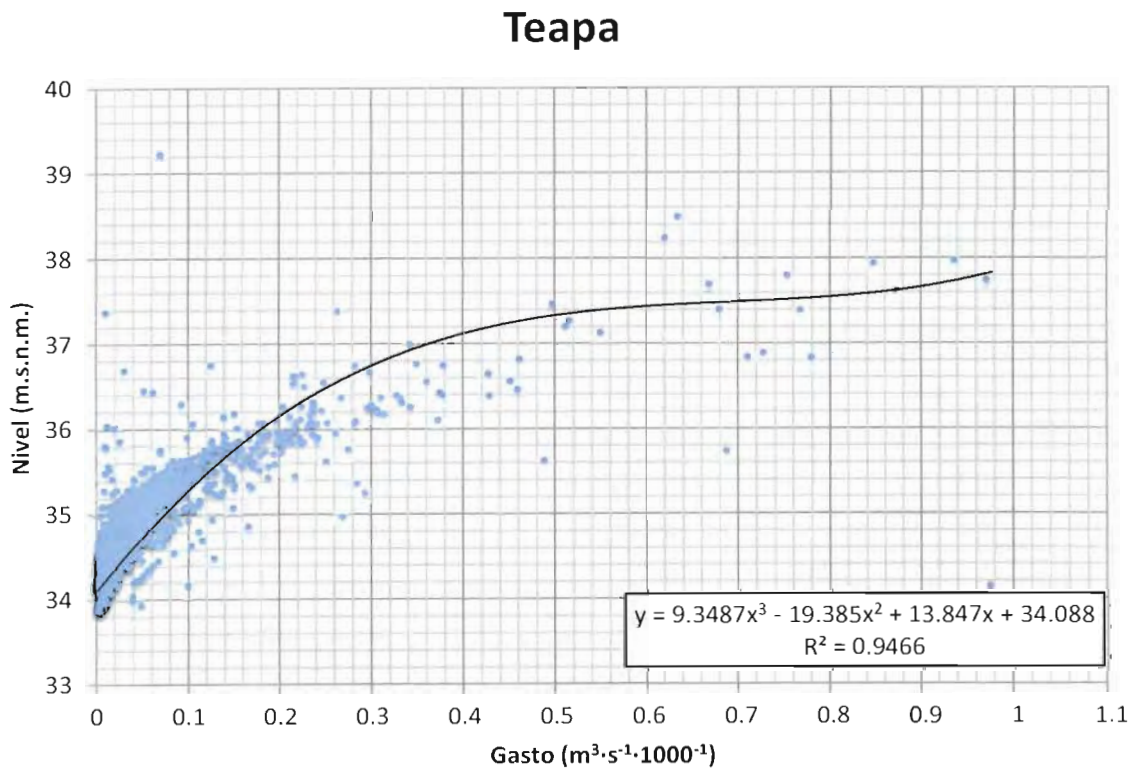


Figura 6.d.19 Curva Gasto-Elevación para la estación Teapa

Tabla 6.d.10 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación Teapa

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	37.71	920
<b>NAME</b>	39.56	975
<b>NAMIN</b>	33.8	1

### Estación San Joaquín, Pichucalco

La figura 6.d.20 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación San Joaquín, ubicada en el río Pichucalco, la función que mejor se ajustó a la información es una polinómica de orden tres. En la Tabla 6.d.11 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

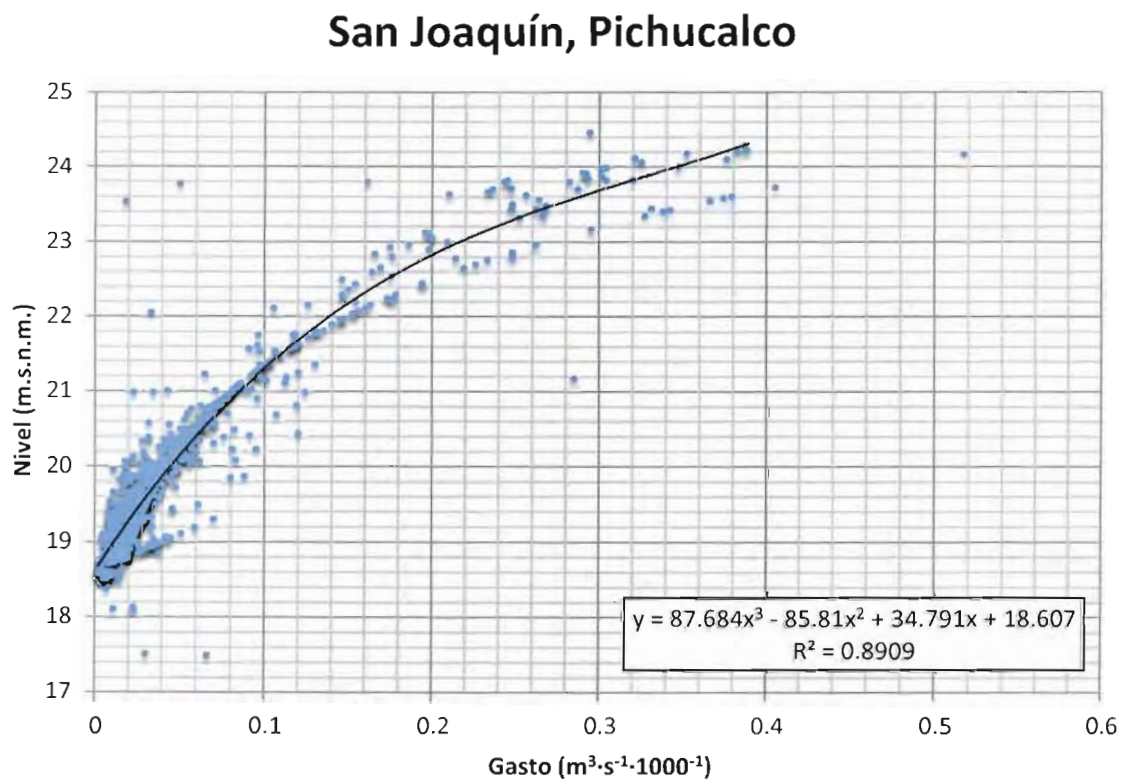


Figura 6.d.20 Curva Gasto-Elevación para la estación Pichucalco

Tabla 6.d.11 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación Pichucalco

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	23.12	225
<b>NAME</b>	26.66	640
<b>NAMIN</b>	17.75	2

### Estación Pueblo Nuevo

La figura 6.d.21 corresponde a la curva gastos-niveles para la estación Pueblo Nuevo, ubicada en el río La Sierra, la función que mejor ajuste presentó es una logarítmica. En la Tabla 6.d.12 se muestran los gastos correspondientes a los niveles de operación.

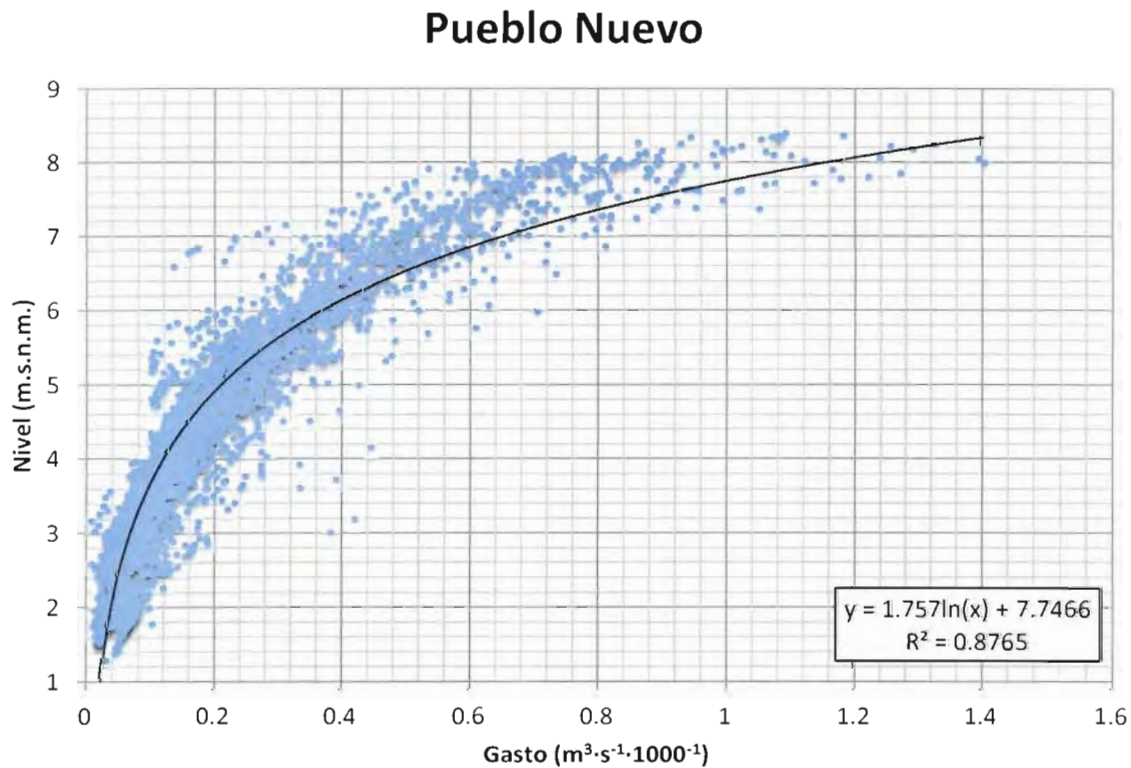


Figura 6.d.21 Curva Gasto-Elevación para la estación Pueblo Nuevo

**Tabla 6.d.12 Gastos correspondientes a los respectivos niveles de operación para la estación Pueblo Nuevo**

	Nivel (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
<b>NAMO</b>	7.49	865
<b>NAME</b>	8.4	2190
<b>NAMIN</b>	1.16	30

Considerando el análisis en función de los niveles de los ríos (N1 a N10) determinados con anterioridad, y los caudales correspondientes a los niveles de operación NAMIN, NAMO y NAME, se identificaron los gastos para los diferentes umbrales.

**Tabla 6.d.13 Gastos (m<sup>3</sup>/s) asociados a los umbrales de aviso, alerta y alarma**

Umbral\Estación	Samaria	González	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	San Joaquín	Pueblo Nuevo
<b>N1</b>	30	22	5	3	1	2	30
<b>N2</b>	373	225	354	377	231	58	239
<b>N3</b>	715	428	703	752	461	114	448
<b>N4</b>	1058	631	1051	1126	690	169	656
<b>N5</b>	1400	834	1400	1500	920	225	865
<b>N6</b>	2067	986	1787	1900	938	363	1307
<b>N7</b>	2733	1138	2173	2300	957	502	1748
<b>N8</b>	3400	1290	2560	2700	975	640	2190
<b>N9</b>	3434	1303	2586	2727	985	646	2212
<b>N10</b>	3468	1316	2611	2754	995	653	2234

### 6.d.3) Lluvia media en la cuenca asociada a los umbrales

Para determinar la magnitud del volumen medio en la cuenca conociendo el gasto aforado a la salida de dicha cuenca, se puede considerar la siguiente relación.

$$Vol = Q \cdot t$$

donde Vol es el volumen para el intervalo de tiempo t y Q es el gasto.

En la tabla 6.d.14 se muestran los volúmenes medios correspondientes a los gastos asociados a los diferentes umbrales determinados en la sección previa. Los volúmenes son diarios ( $t = 86,400$  seg), se muestran para cada estación.

**Tabla 6.d.14 Volúmenes (Mm<sup>3</sup>) asociados a los umbrales de aviso, alerta y alarma**

Umbral\Estación	Samaria	González	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
N1	2.6	1.9	0.4	0.3	0.1	2.6	0.2
N2	32.2	19.4	30.6	32.6	19.9	20.6	5.0
N3	61.8	37.0	60.7	64.9	39.8	38.7	9.8
N4	91.4	54.5	90.8	97.3	59.6	56.7	14.6
N5	121.0	72.1	121.0	129.6	79.5	74.7	19.4
N6	178.6	85.2	154.4	164.2	81.1	112.9	31.4
N7	236.2	98.3	187.8	198.7	82.7	151.1	43.3
N8	293.8	111.5	221.2	233.3	84.2	189.2	55.3
N9	296.7	112.6	223.4	235.6	85.1	191.1	55.8
N10	299.6	113.7	225.6	237.9	85.9	193.0	56.4

Lo anterior tiene poca utilidad práctica, sin embargo, es importante dicho cálculo para definir la magnitud de las láminas medias. Una metodología para estimar la lámina media diaria de la cuenca es considerar que está genera un escurrimiento que depende del uso de suelo de la cuenca y del tiempo de concentración de la misma.

El Fórmula Racional es uno de los más utilizados para la estimación del caudal asociado a determinada lluvia, la ecuación es la siguiente

$$Q = C \cdot I \cdot A \cdot 360^{-1}$$

donde Q es el caudal (m<sup>3</sup>/s); C el coeficiente de escurrimiento; I la intensidad de la lluvia en la cuenca (mm/h) y A el área de la cuenca (ha).

La intensidad de la lluvia se calcula:

$$I = Lm / t$$

donde  $I$  es la intensidad de la lluvia (mm/h),  $Lm$  la lámina media (mm) de la cuenca para el intervalo de tiempo  $t$  (h).

Sustituyendo la intensidad de la lluvia en la fórmula racional y despejando a la lámina media, se tiene:

$$Lm = (Q \cdot t) \cdot C^{-1} \cdot A^{-1} \cdot 360$$

Sustituyendo a  $Q \cdot t$  por  $Vol$  se tiene:

$$Lm = 1000 \cdot Vol \cdot C^{-1} \cdot A^{-1}$$

donde la lámina media está en mm, el volumen en  $Mm^3$  y el área de la cuenca en  $km^2$ .

A continuación se presenta el cálculo de las láminas medias, para el caso de la cuenca del río de La Sierra.

La cuenca del río de La Sierra se consideró hasta la estación hidrométrica Pueblo Nuevo, se calcularon las áreas de de la subcuencas, la longitud del cauce principal, la pendiente y el tiempo de concentración ( $Tc$ ) con la fórmula de Kirpich, donde  $L$  es la longitud del cauce principal (m) y  $S$  es la pendiente en (m/m):

$$Tc = 0.000323 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$$

En la tabla 6.d.15 se muestran los resultados. Las cuencas están definidas por la estación hidrométrica ubicada en la salida de la misma.

**Tabla 6.d.15 Características fisiográficas de las subcuencas del río de La Sierra**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce (m/m)	Tiempo de concentración (h)
Tapijulapa	3149	149	0.014	16
Oxolotán	2866	137	0.016	14.5
Teapa	443	55	0.038	5.1
San Joaquín, Pichucalco	402	53	0.012	7.9
Pueblo Nuevo	4627	223	0.0095	25.5

Utilizando la fórmula que relaciona las láminas con los volúmenes y las áreas de las cuencas, se calculó para cada cuenca, la lámina correspondiente sólo al escurrimiento (Vol/A), estos resultados se muestran en la tabla 6.d.16.



**Tabla 6.d.16 Láminas (mm) correspondientes sólo al escurrimiento, asociadas a los umbrales de aviso, alerta y alarma**

Umbral\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
N1	0.15 C <sup>-1</sup>	0.08 C <sup>-1</sup>	0.20 C <sup>-1</sup>	0.56 C <sup>-1</sup>	0.43 C <sup>-1</sup>
N2	10.66 C <sup>-1</sup>	10.35 C <sup>-1</sup>	45.00 C <sup>-1</sup>	4.46 C <sup>-1</sup>	12.41 C <sup>-1</sup>
N3	21.18 C <sup>-1</sup>	20.62 C <sup>-1</sup>	89.81 C <sup>-1</sup>	8.36 C <sup>-1</sup>	24.39 C <sup>-1</sup>
N4	31.69 C <sup>-1</sup>	30.89 C <sup>-1</sup>	134.62 C <sup>-1</sup>	12.25 C <sup>-1</sup>	36.38 C <sup>-1</sup>
N5	42.21 C <sup>-1</sup>	41.16 C <sup>-1</sup>	179.43 C <sup>-1</sup>	16.15 C <sup>-1</sup>	48.36 C <sup>-1</sup>
N6	53.86 C <sup>-1</sup>	52.13 C <sup>-1</sup>	183.01 C <sup>-1</sup>	24.40 C <sup>-1</sup>	78.09 C <sup>-1</sup>
N7	65.52 C <sup>-1</sup>	63.11 C <sup>-1</sup>	186.58 C <sup>-1</sup>	32.65 C <sup>-1</sup>	107.82 C <sup>-1</sup>
N8	77.18 C <sup>-1</sup>	74.08 C <sup>-1</sup>	190.16 C <sup>-1</sup>	40.89 C <sup>-1</sup>	137.55 C <sup>-1</sup>
N9	77.95 C <sup>-1</sup>	74.82 C <sup>-1</sup>	192.06 C <sup>-1</sup>	41.30 C <sup>-1</sup>	138.93 C <sup>-1</sup>
N10	78.72 C <sup>-1</sup>	75.56 C <sup>-1</sup>	193.96 C <sup>-1</sup>	41.71 C <sup>-1</sup>	140.30 C <sup>-1</sup>

Para considerar toda la lluvia es necesario definir el coeficiente de escurrimiento (C). Existen diferentes metodologías para definir el coeficiente de escurrimiento, el cual toma en cuenta las pérdidas por evapotranspiración, infiltración, entre otros factores, en la cuenca.

Una de ellas indica que el escurrimiento medio en la cuenca puede calcularse como

$$C = Vol_P / Vol_Q$$

donde P es volumen precipitable de lluvia y Q el volumen de lluvia que escurre.

Considerando esta metodología se procedió a calcular el coeficiente de escurrimiento para las cuencas mostradas en la tabla 6.d.15. Primero se estimó la lluvia promedio en la cuenca, para ello se consideró el registro histórico de lluvias de cada estación ubicada en la zona de estudio. En la Figura 6.d.22 se muestra la localización de las 5 estaciones consideradas. El método para la interpolación de las lluvias fue polígonos de Thiessen (figura 6.d.23), en la tabla 6.d.17 se señalan con una equis (X) las estaciones que influyen sobre cada cuenca, recordando que las cuencas se han nombrado por la estación hidrométrica ubicada en la salida de cada una.

**Tabla 6.d.17 Estaciones que influyen para el cálculo de lluvia media**

Estación\Cuenca	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Oxolotán	X	X	X	X	
Tapijulapa		X		X	
Teapa		X	X	X	
Pueblo Nuevo				X	
San Joaquín			X	X	X

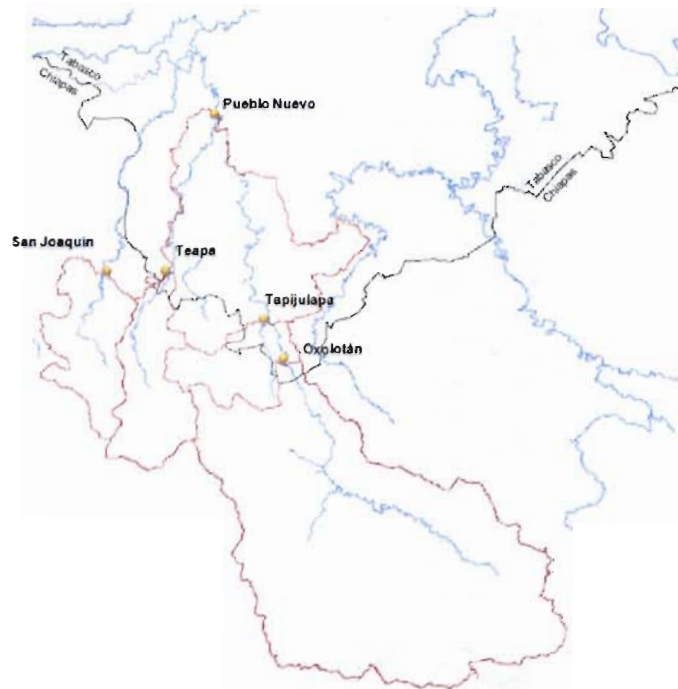


Figura 6.d.22 Ubicación de las estaciones consideradas para el cálculo de la lluvia media en las cuencas del río de La Sierra

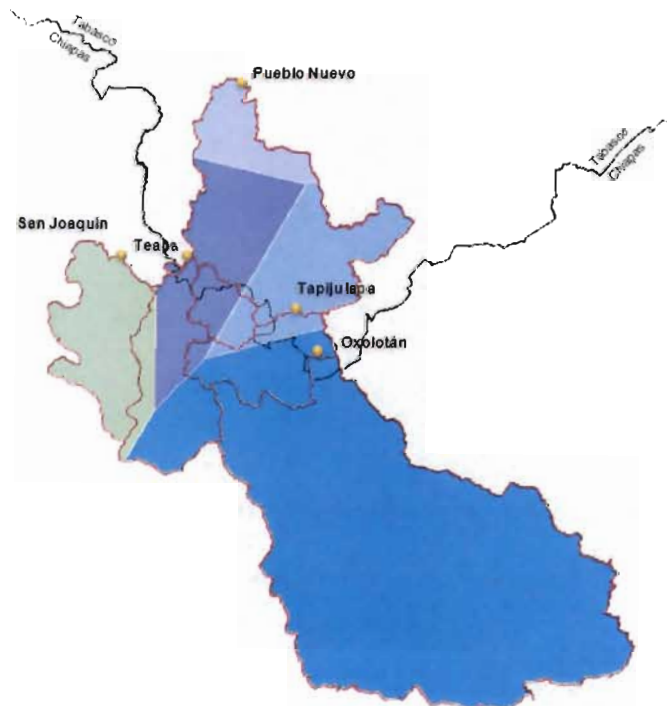


Figura 6.d.23 Polígonos de Thiessen para el cálculo de la lluvia media en las cuencas del río de La Sierra

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

En la tabla 6.d.18 se muestran las áreas correspondientes a las porciones de los polígonos que se encuentran dentro de cada cuenca y en la tabla 6.d.19 se presentan los porcentajes respectivos a cada porción de polígono de Thiessen, estos valores se utilizaron para ponderar las lluvias de cada estación para calcular las lluvias medias en cada cuenca.

**Tabla 6.d.18 Áreas de las porciones de cada polígono de Thiessen dentro de las subcuencas del río de La Sierra**

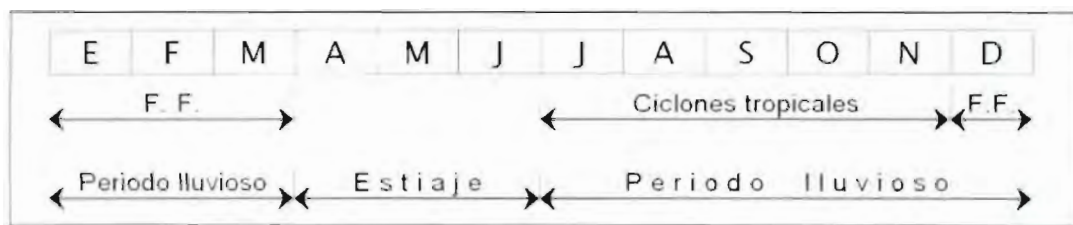
Estación\Cuenca	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Oxolotán	2866	3073	183	3255	
Tapijulapa		67		507	
Teapa		9	175	572	
Pueblo Nuevo				208	
San Joaquín			85	85	402
<b>Suma</b>	<b>2866</b>	<b>3149</b>	<b>443</b>	<b>4627</b>	<b>402</b>

**Tabla 6.d.19 Porcentajes de las porciones de cada polígono de Thiessen dentro de las subcuencas del río de La Sierra**

Estación\Cuenca	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Oxolotán	100%	97.6%	41%	70%	
Tapijulapa		2.1%		11%	
Teapa		0.3%	40%	12%	
Pueblo Nuevo				5%	
San Joaquín			19%	2%	100%
<b>Suma</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

La temporada de lluvias en el estado de Tabasco abarca ocho meses que van de julio a marzo aproximadamente (Figura 6.d.24). Por su localización geográfica, de julio a noviembre la zona es afectada por ciclones tropicales y, de diciembre a marzo, por frentes fríos (F. F.) que producen lluvias anuales del orden de 2,750 mm en la zona costera y hasta 4,000 mm en las estribaciones de las sierras, de las mayores a nivel mundial, y más de cuatro veces lo que llueve en el valle de México (CENAPRED 2007).

El periodo con mayor precipitación comprende los meses de julio a noviembre, lapso en el cual se concentra cerca del 72% de la lluvia total anual.



**Figura 6.d.24 Periodos lluviosos y secos a lo largo del año**

En la tabla 6.d.20 se presentan las lluvias medias mensuales para las estaciones empleadas. Con los porcentajes de área de cada polígono de Thiessen se calculó la lluvia media mensual para cada cuenca, en la Tabla 6.d.21 se muestran los resultados. En la Tabla 6.d.22 se muestran los gastos medios mensuales calculados para cada estación estudiada. En las figuras 6.d.25 a 6.d.29, se muestran los hietogramas medios mensuales calculados y el hidrograma medio mensual de cada estación.

**Tabla 6.d.20 Lluvias medias mensuales (mm) en las estaciones**

Mes\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Enero	235.8	259.4	299.6	134.5	280.6
Febrero	200.7	206.4	250.6	82.1	214.9
Marzo	139	142.9	157	59.7	117.6
Abril	139.3	149.2	128.9	47.3	119
Mayo	201.3	197.5	173.7	97.6	165.3
Junio	393.8	355.4	367.9	238.9	371
Julio	252.4	276.8	337.8	192.1	346.4
Agosto	303	359.7	448.1	240	425.4
Septiembre	482.3	526.9	599.9	348.5	590.9
Octubre	463.7	503.7	480	303.4	475.8
Noviembre	314.1	321.3	339.9	182.3	324.4
Diciembre	278.8	258.9	322.3	134	299
<b>Anual</b>	<b>3404.1</b>	<b>3558.2</b>	<b>3905.7</b>	<b>2060.3</b>	<b>3730.3</b>

Fuente: OCFS

UF

Tabla 6.d.21 Lluvias medias mensuales (mm) en las cuencas

Mes\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Enero	235.8	236.5	269.8	241.9	280.6
Febrero	200.7	201.0	223.4	201.7	214.9
Marzo	139	139.1	142.1	137.2	117.6
Abril	139.3	139.5	131.3	134.1	119
Mayo	201.3	201.1	183.4	191.7	165.3
Junio	393.8	392.9	379.1	378.3	371
Julio	252.4	253.2	304.4	264.2	346.4
Agosto	303	304.6	384.3	325.9	425.4
Septiembre	482.3	483.6	550.0	496.8	590.9
Octubre	463.7	464.6	472.5	462.3	475.8
Noviembre	314.1	314.3	326.4	311.6	324.4
Diciembre	278.8	278.5	300.0	275.0	299
<b>Anual</b>	<b>3404.2</b>	<b>3408.9</b>	<b>3666.8</b>	<b>3420.6</b>	<b>3730.3</b>

Tabla 6.d.22 Gastos medios mensuales (m<sup>3</sup>/s)

Mes\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Enero	60.3	63.5	32.5	198.8	27.4
Febrero	47.7	61.5	42.1	187.9	42.5
Marzo	30.8	41.4	16.2	95.1	12.2
Abril	37.9	22.7	13.4	73.4	11.9
Mayo	39.6	25.4	13.9	89.3	10.9
Junio	138.4	93.0	27.6	179.9	31.1
Julio	111.2	123.7	22.3	215.9	19.1
Agosto	102.1	74.8	25.5	249.5	14.1
Septiembre	200.7	186.7	48.3	408.8	58.2
Octubre	188.3	178.3	65.3	426.2	91.8
Noviembre	155.6	139.6	42.7	299.5	31.8
Diciembre	79.0	65.7	39.6	198.6	40.5
<b>Anual</b>	<b>99.3</b>	<b>89.7</b>	<b>32.4</b>	<b>218.6</b>	<b>32.6</b>

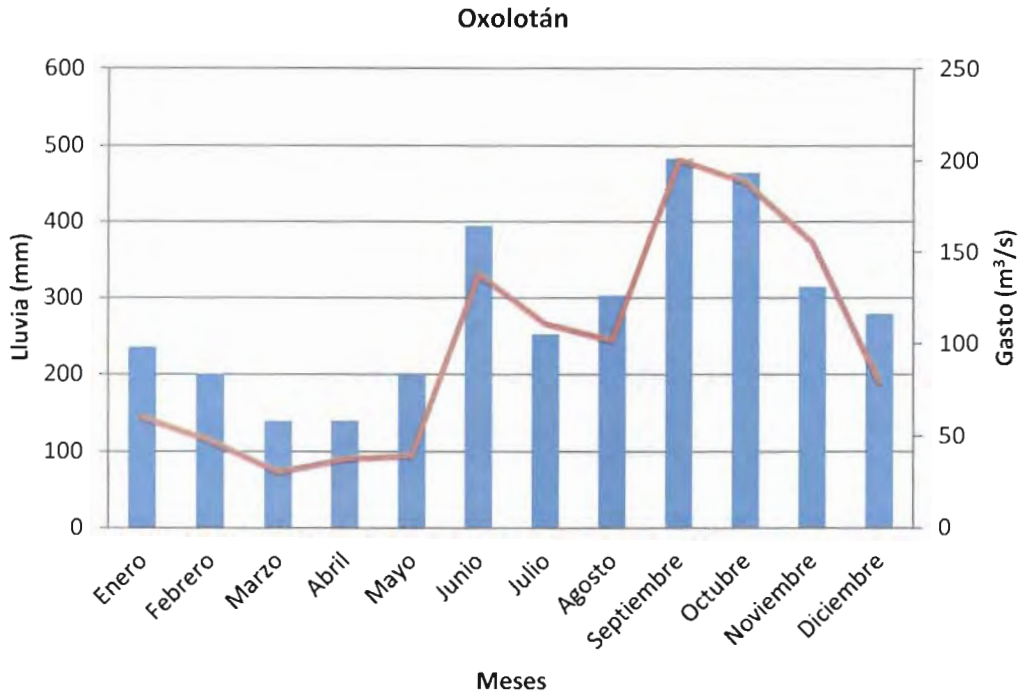


Figura 6.d.25 Hietograma e hidrograma medio mensual de la cuenca Oxolotán

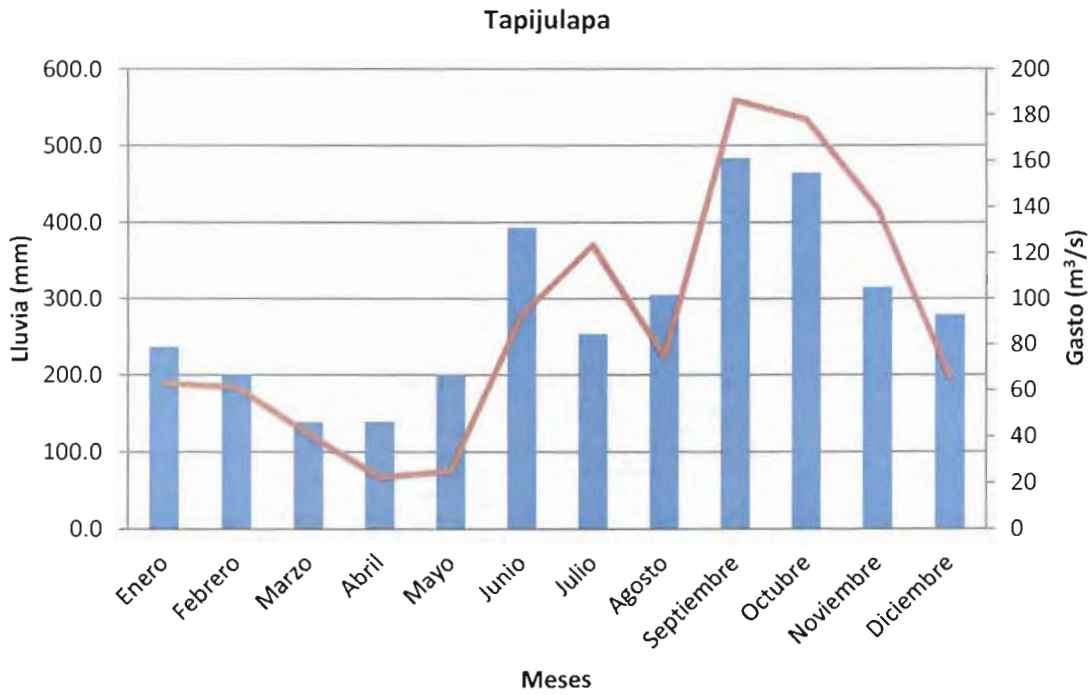


Figura 6.d.26 Hietograma e hidrograma medio mensual de la cuenca Tapijulapa

*VJF*

DEFINICIÓN DE NIVELES OPERATIVOS EN LOS RÍOS  
TABASQUEÑOS PARA ESTABLECER UMBRALES DE  
PREVENCIÓN, ALERTA Y EMERGENCIA

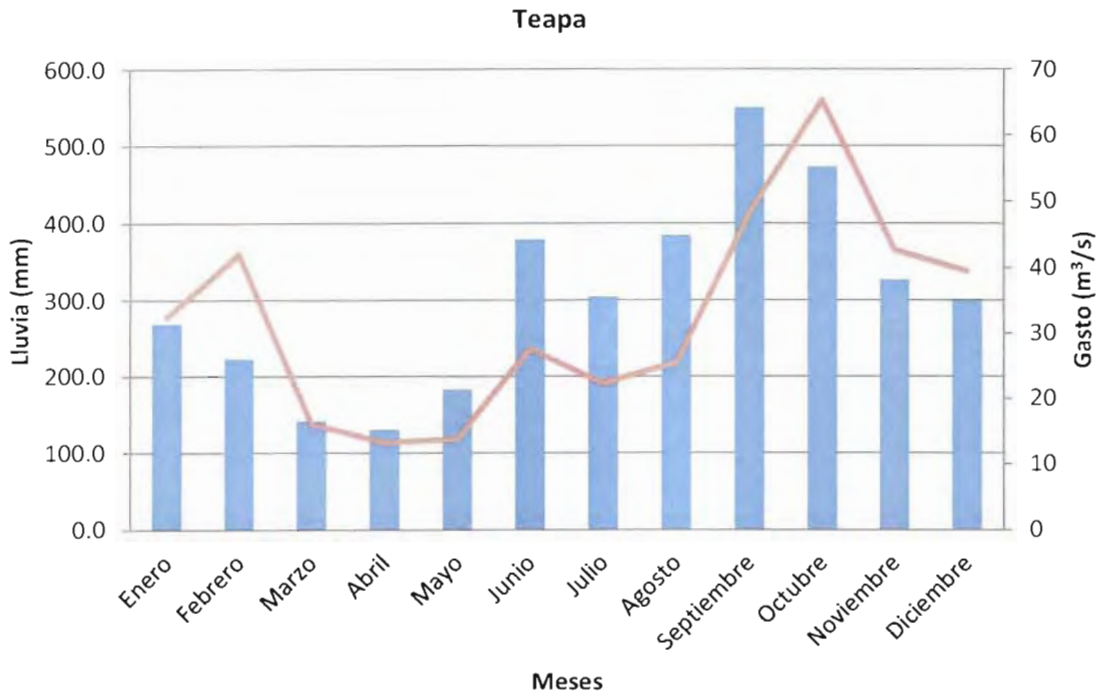


Figura 6.d.27 Hietograma e hidrograma medio mensual de la cuenca Teapa

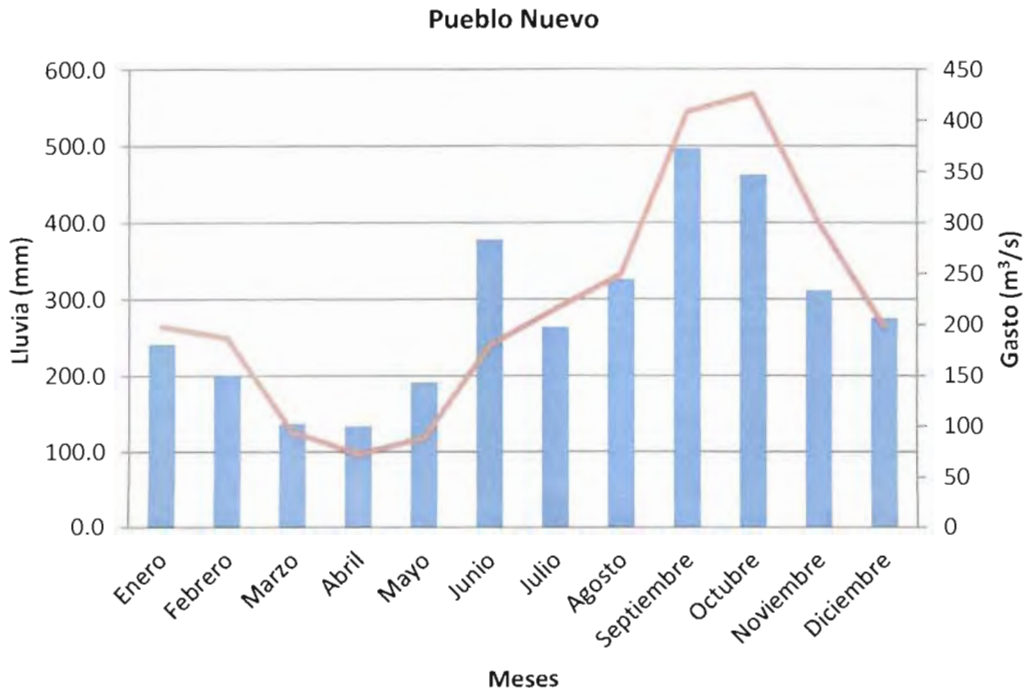
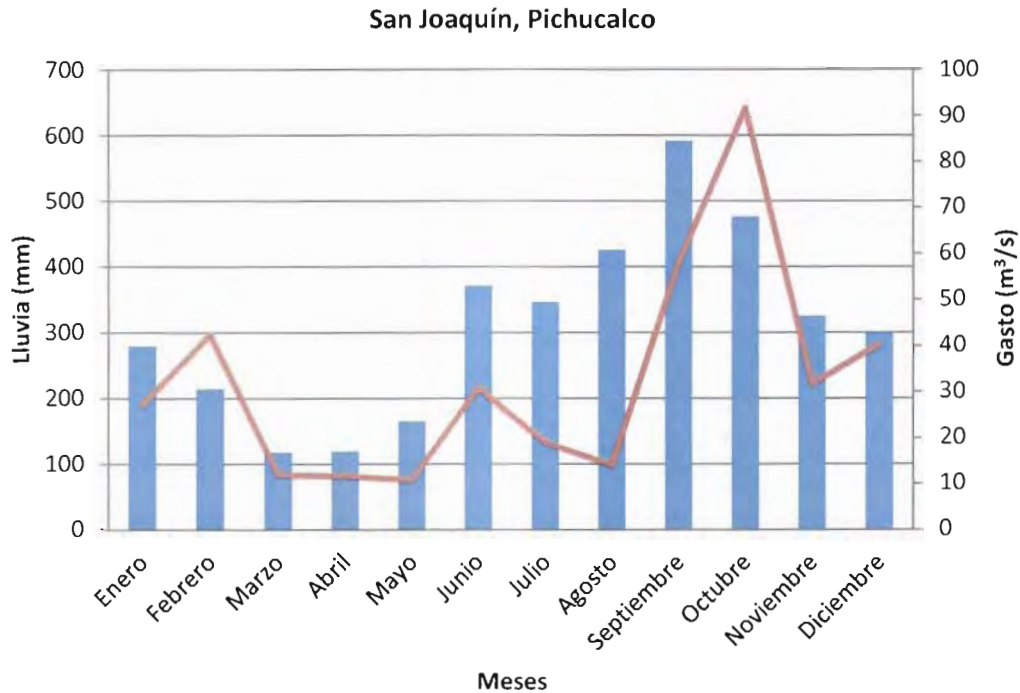


Figura 6.d.28 Hietograma e hidrograma medio mensual de la cuenca Pueblo Nuevo



**Figura 6.d.29 Hietograma e hidrograma medio mensual de la cuenca Pichucalco**

Se calcularon los volúmenes medios mensuales de lluvia ( $Vol_P$ ) y de escurrimiento ( $Vol_Q$ ), los primeros con la fórmula:

$$Vol_P = L_{mensual} \cdot A$$

Donde  $L_{mensual}$  es la lámina media mensual y  $A$  es el área de la cuenca.

El volumen escurrido medio mensual se cálculo de la siguiente manera:

$$Vol_Q = Q \cdot \Delta t$$

Donde  $Q$  es el gasto medio mensual y  $\Delta t$  el número de días de cada mes.

Posteriormente se calculó el coeficiente de escurrimiento consideraron cuatro condiciones: Lluvias debidas a frentes fríos, lluvias por ciclones tropicales y periodo de estiaje, así como la condición media.

$$C_{Frente\ frío} = Vol_{P,\text{Frente frío}} / Vol_{Q,\text{Frente frío}}$$

$$C_{Ciclones\ tropicales} = Vol_{P,\text{Ciclones tropicales}} / Vol_{Q,\text{Ciclones tropicales}}$$

$$C_{Estiaje} = Vol_{P,\text{Estiaje}} / Vol_{Q,\text{Estiaje}}$$

$$C_{medio} = Vol_{P,\text{anual}} / Vol_{Q,\text{anual}}$$

En la tabla 6.d.23 se presentan los resultados para cada cuenca y para cada mes.



**Tabla 6.d.23 Coeficientes medios mensuales**

Periodo	Mes\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
Frente frío	Enero	0.23	0.22	0.82	0.45	0.87
Frente frío	Febrero	0.23	0.22	0.82	0.45	0.87
Frente frío	Marzo	0.23	0.22	0.82	0.45	0.87
Estiaje	Abril	0.18	0.16	0.47	0.27	0.53
Estiaje	Mayo	0.18	0.16	0.47	0.27	0.53
Estiaje	Junio	0.18	0.16	0.47	0.27	0.53
Ciclones tropicales	Julio	0.38	0.32	0.60	0.49	0.65
Ciclones tropicales	Agosto	0.38	0.32	0.60	0.49	0.65
Ciclones tropicales	Septiembre	0.38	0.32	0.60	0.49	0.65
Ciclones tropicales	Octubre	0.38	0.32	0.60	0.49	0.65
Ciclones tropicales	Noviembre	0.38	0.32	0.60	0.49	0.65
Frente frío	Diciembre	0.23	0.22	0.82	0.45	0.87
	<b>Medio</b>	<b>0.28</b>	<b>0.25</b>	<b>0.64</b>	<b>0.42</b>	<b>0.69</b>

Una vez calculados los coeficientes escurrimiento medios mensuales se determinaron los umbrales de lámina media con los resultados mostrados en la tabla 6.d.16. Se calcularon los umbrales para las tres condiciones: Lluvias debidas a frentes fríos, lluvias por ciclones tropicales y periodo de estiaje. En las tablas 6.d.24 a 6.d.27, se presentan los resultados, de manea respectiva, así como la condición media.

**Tabla 6.d.24 Láminas (mm) asociadas a los umbrales de aviso, alerta y alarma. Periodo de Frentes fríos.**

Umbral\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
N1	0.6	0.4	0.2	1.3	0.5
N2	45.7	46.0	55.1	10.0	14.3
N3	90.8	91.6	110.0	18.7	28.2
N4	135.9	137.3	164.9	27.4	42.0
N5	181.0	182.9	219.8	36.1	55.9
N6	231.0	231.7	224.2	54.5	90.2
N7	280.9	280.5	228.6	72.9	124.6
N8	330.9	329.3	232.9	91.3	159.0
N9	334.2	332.6	235.3	92.2	160.5
N10	337.5	335.9	237.6	93.1	162.1

**Tabla 6.d.25 Láminas (mm) asociadas a los umbrales de aviso, alerta y alarma. Periodo de Ciclones tropicales.**

Umbral\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
N1	0.4	0.3	0.3	1.1	0.7
N2	27.8	32.0	75.4	9.1	19.0
N3	55.1	63.7	150.4	17.0	37.3
N4	82.5	95.4	225.5	25.0	55.7
N5	109.9	127.2	300.5	32.9	74.0
N6	140.2	161.1	306.5	49.7	119.5
N7	170.5	195.0	312.5	66.5	165.0
N8	200.9	228.9	318.5	83.4	210.5
N9	202.9	231.2	321.7	84.2	212.6
N10	204.9	233.5	324.9	85.0	214.7

**Tabla 6.d.26 Láminas (mm) asociadas a los umbrales de aviso, alerta y alarma. Periodo de estiaje.**

Umbral\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
N1	0.8	0.5	0.4	2.0	0.8
N2	58.0	65.0	96.5	16.2	23.3
N3	115.2	129.5	192.5	30.4	45.7
N4	172.3	193.9	288.5	44.6	68.2
N5	229.5	258.4	384.6	58.7	90.7
N6	292.9	327.3	392.2	88.7	146.4
N7	356.3	396.2	399.9	118.7	202.2
N8	419.7	465.1	407.6	148.7	257.9
N9	423.9	469.8	411.6	150.2	260.5
N10	428.1	474.4	415.7	151.7	263.1

**Tabla 6.d.27 Láminas (mm) asociadas a los umbrales de aviso, alerta y alarma. Condición media.**

Umbral\Estación	Oxolotán	Tapijulapa	Teapa	Pueblo Nuevo	San Joaquín
N1	0.5	0.3	0.3	1.3	0.6
N2	37.6	41.5	70.6	10.6	17.9
N3	74.6	82.6	140.9	19.8	35.1
N4	111.7	123.7	211.2	29.0	52.4
N5	148.7	164.8	281.5	38.2	69.7
N6	189.8	208.8	287.1	57.8	112.5
N7	230.9	252.8	292.7	77.3	155.3
N8	272.0	296.7	298.3	96.8	198.2
N9	274.7	299.7	301.3	97.8	200.2
N10	277.4	302.7	304.2	98.7	202.1

#### 6.d.4) Resumen

En los párrafos precedentes se describió la metodología llevada a cabo para determinar los umbrales asociados a los niveles de los ríos de Tabasco. Para el caso de las estaciones hidrométricas Samaria, González, Oxolotán, Tapijulapa, Teapa, Pueblo Nuevo y Pichucalco, se calcularon los gastos asociados a los umbrales de niveles. Para las cuencas del río de La Sierra se calcularon los umbrales de láminas medias para las condiciones de lluvias generadas por frentes fríos (diciembre, enero, febrero, marzo), lluvias por ciclones tropicales (julio a noviembre) y periodo de estiaje (abril a junio).

Para la emisión del aviso, alerta o alarma, entendido como el acto para la ejecución de las acciones pertinentes a cada caso, se puede considerar la siguiente metodología basada en la asignación de factores, los cuales toman en cuenta la condición de "certeza" de la magnitud medible de cada variable de nivel, gasto y lluvia media. Por ejemplo para el caso del río La Sierra, las magnitudes de los niveles y gastos aforados en las estaciones aguas arriba de Pueblo Nuevo, se conocen con una mejor precisión que la lámina media de la cuenca, puesto que está última se calcula y no se mide, el resultado depende del método empleado, de la cantidad de información disponible, para conocer la lluvia genera el gasto que ocasiona que el nivel de agua aumente en la sección de cada río, no es una tarea trivial, se requiere de un modelo lluvia-escurrimiento calibrado para la zona y que continuamente se esté monitoreando, esto es motivo de otro capítulo donde se muestra dicho modelo. Lo que al principio aparentemente es una desventaja, se convierte en una gran fortaleza: el conocimiento de la relación lluvia-escurrimiento, puesto que la lámina puede ser continuamente monitoreada por medio de imágenes de satélite, con la mínima intervención humana. Es entonces así que la emisión del aviso, alerta o alarma, puede quedar sujeto a la siguiente condición:

$$\text{Emisión} = (\text{Rebaso umbral de nivel} \times F1) + (\text{Rebaso umbral de gasto} \times F2) + (\text{Rebaso umbral de lámina} \times F3)$$

Donde F1, F2 y F3 son los factores asociados a la certidumbre de la medición o cálculo del nivel, gasto y lluvia, respectivamente. Rebaso umbral de nivel, gasto y lámina, toman el valor de 1 si la condición se cumple para cada respectivo umbral o cero en caso de que no.

$$F1 = f1 / 3$$

$$F2 = f2 / 3$$

$$F3 = f3 / 3$$

f1, f2 y f3 toman valores de 0 a 1, donde 1 es la condición de total certeza al parámetro medido.

Por ejemplo, suponiendo que todos los umbrales rebasaron el nivel 5 (aviso) y se considera una certeza del 95 % en la medición del nivel del río, 90 % en la medición del gasto y 70 % en el cálculo de la lámina de lluvia, los factores asociados a la certidumbre y la emisión serían:

$$F1 = 0.95/3 = 0.32$$

$$F2 = 0.9/3 = 0.3$$

$$F3 = 0.7/3 = 0.23$$

$$\text{Emisión} = 1 \times 0.32 + 1 \times 0.3 + 1 \times 0.23 = 0.85 \Rightarrow \text{Se emite aviso}$$

Ahora, suponiendo que los umbrales de lluvia y gasto rebasaron el nivel 5 (aviso), excepto el umbral de nivel y se considera una certeza del 95 % en la medición del nivel del río, 90 % en la medición del gasto y 70 % en el cálculo de la lámina de lluvia, los factores asociados a la certidumbre y la emisión serían:

Emisión =  $0 \times 0.32 + 1 \times 0.3 + 1 \times 0.23 = 0.53 < 0.85$  => No se emite el aviso, pero se monitorea el nivel en el río

Esta es una herramienta con la cual se puede tomar la decisión de emitir el aviso, alerta o alarma.

