



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería  
Ingeniería Civil - Hidráulica

## **ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MANEJO INTEGRAL DE LA CUENCA BOQUERÓN**

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

**PRESENTA:**  
**OMAR GALICIA RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**  
**DR. CARLOS A. ESCALANTE SANDOVAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd. Mx. DICIEMBRE 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M.I. Franco Víctor  
Secretario: M.I. Vázquez González Alba Beatriz  
Vocal: Dr. Escalante Sandoval Carlos A.  
1<sup>er.</sup> Suplente: Dra. Reyes Chávez Lilia  
2<sup>do.</sup> Suplente: M.I. Mendoza Rosas Marco Tulio

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito Escolar s/n. Ciudad Universitaria  
Delegación Coyoacán,  
C.P. 04510  
Ciudad de México  
México

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Escalante Sandoval Carlos A.

-----  
**FIRMA**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a esta gran institución la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de desarrollarme tanto académica como culturalmente.

Muy especialmente a mi tutor y director de tesis al Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval que me brindo toda su atención y apoyo siempre que fue requerido, que me permitió un buen aprovechamiento en el trabajo realizado.

A mis sinodales al M.I. Franco Víctor, M.I. Mendoza Rosas Marco Tulio Dra. Reyes Chávez Lilia y la M.I. Vázquez González Alba Beatriz, por su apoyo, comprensión y observaciones.

A cada uno de mis profesores con los que tuve el placer de ser su alumno, gracias por el tiempo que dedican a esta hermosa profesión, por su dedicación, por sus esfuerzos, por su paciencia y compromiso, es mi base fundamental de mi desarrollo como persona, con el cual por sus consejos, enseñanzas y sabiduría sé cómo afrontar de la mejor manera los problemas y obstáculos que a diario me voy a enfrentar.

A mis compañeros de la maestría, agradezco a Onofre por su compañía, amistad y enseñanzas en ARCGIS, a Juan por el apoyo y sus consejos, un agradecimiento especial a Paco y Denny por los buenos momentos que compartimos, por brindarme su amistad y apoyarme siempre que lo necesite, agradezco a mis compañeros de maestría por su simpatía e interés en mi trabajo: Sandra, Sergio, Jorge, Caleb, David y Felipe.

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) que ha hecho posible la realización de este trabajo presentado en esta memoria de tesis, por la ayuda económica brindada.

A mi novia, mi compañera en este gran viaje, gracias por creer en mí, por la motivación, por siempre levantarme, por tu amor, gracias.

A mis padres y a mi hermana, quienes me han dado todo, me han enseñado a trabajar, a cumplir todas mis metas, todos mis objetivos, a nunca rendirme, gracias por el cariño y apoyo incondicional que me han brindado, este triunfo no es mío, este triunfo es nuestro.

A todos los que de una forma u otra hicieron posible este logro y a mi dragón que siempre ha estado y estará para mí.

## RESUMEN

El grave deterioro ambiental, además de los evidentes efectos del cambio climático, hacen necesaria la práctica del concepto del manejo integral de cuencas hidrográficas, ya que este será el único medio para lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la disminución de riesgos de desastres.

En esta tesis se llevó a cabo el análisis de los diferentes fenómenos hidrometeorológicos que afectan a la Cuenca Boquerón, Chiapas, iniciando con el análisis de tendencias de las variables climatológicas registradas y finalizando con el planteamiento de estrategias para la mitigación de daños.

La delimitación de la zona de estudio juega un papel muy importante dentro del análisis del manejo integral de cuencas, ya que, a partir de esta delimitación se especifica la información que deberá ser utilizada en el proyecto.

La información necesaria para este estudio fue recolectada de diferentes instancias gubernamentales en México, como es el caso de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), para obtener las series de tiempo de precipitación, temperatura y escurrimiento, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), para conocer los censos de población en diferentes periodos, y El Consejo Nacional de Población (CONAPO), que permite identificar la proyección del crecimiento poblacional en la zona de estudio.

La investigación también abarca información sobre los organismos operadores, su función, alcance, limitaciones, así como la normatividad que los rige y como estos inciden en la zona de estudio.

Así mismo se presentan los impactos en los sectores agrícola y de salud que son los más afectados en la cuenca de estudio, bajo las condiciones prevalecientes durante el periodo de 1980-2010 y considerando el informe especial sobre escenarios de emisiones (**SRES A1B**, por sus siglas en ingles) para el futuro cercano (2020; 2050) y para el futuro lejano (2080).

Los resultados del análisis muestran que los sectores agrícolas y salud tendrán un impacto negativo no solo por el crecimiento poblacional, sino también por las condiciones climáticas que se esperan en el futuro.

El cambio de precipitación se espera reduzca desde un 2 hasta un 18%, en cuanto a la temperatura se espera un incremento de 1.1 a 2.4°C.

En este proyecto se analizan los conceptos y los desafíos que representa el correcto manejo integral de cuencas con visión sistémica, con el propósito que sirva de referencia para la formulación de proyectos futuros sobre el tema.

Lo anterior está ampliamente sustentado en la literatura, sin embargo, aún existen muchas limitaciones para su utilización como unidad de planificación. Una de las principales causas de esta situación es el poco conocimiento de los conceptos y principios del enfoque de manejo integral de cuencas con pensamiento sistémico, tan necesario, para detener y/o revertir su deterioro.

## Índice

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVO.....	11
1 DELIMITACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO.....	11
1.1 ZONA DE ESTUDIO.....	16
1.1.2 REGIÓN ECONÓMICA LA FRAILESCA.....	20
2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA BOQUERÓN.....	21
2.1 ÁREA.....	23
2.2 CAUCE PRINCIPAL.....	23
2.3 PENDIENTE.....	24
2.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	26
3 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y CLIMATOLÓGICAS.....	27
3.1 ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.....	27
3.2 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	29
3.3 INFORMACIÓN DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS.....	31
4 RIESGO CLIMÁTICO.....	35
4.1 CAMBIO CLIMÁTICO.....	36
4.1.1 MANN-KENDALL.....	37
4.1.2 TENDENCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	39
4.2 SEQUÍAS.....	42
4.2.1 SEQUÍA METEOROLÓGICA.....	42
4.2.1.1 MODELOS ESTOCÁSTICOS.....	46
4.2.1.2 ANÁLISIS DE SEQUIA METEOROLÓGICA.....	48
4.2.2 SEQUIA HIDROLÓGICA.....	50
4.2.2.1 GASTO DISPONIBLE.....	53
4.3 ANÁLISIS DE GASTOS MÍNIMOS ANUALES.....	54
4.3.1 CAUDAL ECOLÓGICO.....	56
4.5 DISPONIBILIDAD DE AGUA.....	58
4.5.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	60
4.6 INUNDACIONES.....	67
4.6.1 FORMULA RACIONAL.....	68
4.6.2 CURVAS I D T.....	68
4.6.3 INUNDACIONES MONITOREO ACTUAL.....	73

4.6.4ANÁLISIS DE HELADAS .....	75
4.7 OLAS DE CALOR.....	76
4.8 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS (USLE) .....	81
5 ORGANISMOS OPERADORES .....	85
ORGANISMOS OPERADORES CHIAPAS .....	89
5.1 GIAT.....	90
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS SITUACIÓN ACTUAL.....	93
7 ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LA CUENCA BOQUERÓN .....	96
7.1IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA .....	98
7.2IMPACTO EN LA AGRICULTURA.....	99
7.3IMPACTO EN LA SALUD .....	104
7.3.1Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) ante el cambio climático. ....	104
8 CONCLUSIONES.....	108
9 BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS .....	110



## INTRODUCCIÓN

Asegurar la calidad de vida y el desarrollo sostenible de las sociedades exige una gestión racional y equilibrada de los recursos naturales, como son el agua, suelo y vegetación. Sin embargo, su creciente deterioro ha acelerado los procesos de cambio climático, desastres, contaminación y destrucción de ecosistemas.

Resolver estos problemas es muy complejo, ya que el camino a seguir debe permitir incluir de manera simultánea al menos las siguientes condiciones: luchar contra la erosión de suelo, la deforestación, los desastres por inundación o sequía, satisfacer las necesidades de calidad y cantidad de agua, asegurar la suficiencia agro-alimentaria con un buen manejo de las tierras agrícolas y/o una irrigación apropiada, desarrollar de forma armoniosa la industria, la producción energética, la recreación, así como, prevenir y combatir la contaminación del agua desde todos los orígenes (RIOCI, 2009).

En este contexto, el concepto de “manejo integral de la cuenca” ha sido planteado como una vía idónea para planificar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, disminuir la vulnerabilidad ante los desastres y generar una verdadera oportunidad de gobernabilidad (Jiménez, 2005; Faustino, 2005; FAO, 2007). Sin embargo, a pesar de sus ventajas como unidad de planificación, las cuencas presentan graves deterioros, debido al poco conocimiento de los conceptos y principios del enfoque de manejo integral de cuencas (López, *et al.*, 2008).

Esta investigación incluye los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se muestra la delimitación de la zona de estudio correspondiente a la Cuenca Boquerón en el estado de Chiapas, así como los municipios y región económica que conforman a la cuenca de estudio.

En el capítulo 2 se obtienen las características de la cuenca tal como son el área, longitud del cauce principal, pendiente, tiempo de concentración y otros parámetros hidrológicos que tienen una aplicación directa en los cálculos hidrológicos.

El capítulo 3 incluye las estaciones hidrométricas y climatológicas que inciden dentro de la cuenca de estudio y la obtención de los registros en un periodo de 1980-2010.

En el capítulo 4 se abarca el concepto de riesgo climático, se definen cada uno de los fenómenos hidrometeorológicos que afectan la cuenca de estudio como lo son las sequías (meteorológica e hidrológica), olas de calor, inundaciones, heladas, erosión del suelo, disponibilidad de gastos mínimos (Q90, caudal ecológico, Q demandado), disponibilidad de agua (evapotranspiración, m<sup>3</sup> per cápita); así como el impacto de cada uno de estos fenómenos en la cuenca de estudio.

El capítulo 5 presenta información de los organismos operadores, la función que desempeñan, así mismo se habla de los organismos operadores en el estado de Chiapas, como es que influyen en la región y por último se mencionan a los Grupos Intercomunitarios de Acción Territorial (GIAT), alternativas de organización dentro de las cuencas, para posibilitar la gestión del desarrollo, sustentada en la acción colectiva, el interés común y la participación organizada de la población.

El capítulo 6 presenta un análisis de los resultados con la situación actual de la zona de estudio, donde se presentan soluciones para revertir el deterioro actual de los principales problemas que es el caso de las inundaciones y de la pérdida del suelo en la región

En el capítulo 7 a partir del modelo SRES A1B se analizan los escenarios climáticos para la cuenca Boquerón, considerando un incremento de la precipitación media anual desde un 2 hasta un 18% menor, así como el aumento de temperatura hasta 2.5°C proyectados para un futuro cercano (2020) y futuro lejano (2050-2080), así como el impacto principalmente en la agricultura y la salud.

En el capítulo 8 se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llega después del análisis realizado en la zona de estudio.

## **OBJETIVO**

El objetivo de la tesis es el de desarrollar un diagnóstico del comportamiento hidrológico de la Cuenca El Boquerón, para lo cual, se identificará la presencia e impacto de los fenómenos hidrometeorológicos tal como son: sequías, heladas, olas de calor, inundaciones, pérdida de suelo, erosión y evapotranspiración, para que a partir de éste se planteen alternativas de solución para mitigar sus efectos negativos.

## **Capítulo 1**

### **1 DELIMITACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO**

Los criterios para la delimitación física de un territorio son variables y su uso ha dependido de las características del problema a solucionar, la mayoría de estos toman en cuenta límites políticos-administrativos que son definidos por el hombre. Alternativamente existe una división territorial natural cuyo límite es la línea divisoria de las aguas ubicada en los puntos más altos o de mayor cota topográfica del área que encierra a un río, conocidos como parteaguas (Ramakrishna, 1997). Surgiendo el concepto de cuenca hidrográfica.

Consecuentemente, el país se ha dividido en trece regiones hidrológico-administrativas (RHA), formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas como las unidades básicas para la gestión de recursos hídricos.

Los límites de las regiones respetan la división política municipal, para facilitar la administración e integración de datos socioeconómicos (Figura 1).



Figura 1. Regiones Hidrológicas Administrativas (RHA).  
Fuente. CONAGUA (2016)

Como ya se mencionó, la cuenca es una unidad del terreno, definida por la división natural de las aguas debida a la conformación del relieve. Para propósitos de administración de las aguas nacionales, la Conagua ha definido 731 cuencas hidrológicas (Figura 2a), cuyas disponibilidades se encuentran publicadas en el Diario Oficial de la Federación. Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (RH), (Figura 2).



Figura 2. Regiones Hidrológicas (RH).  
Fuente. CONAGUA (2016)

Las regiones hidrológicas representan los límites naturales de las grandes cuencas de México y se emplean para el cálculo de los fenómenos hidrometeorológicos que afectarán a la sociedad y al sistema en estudio.



Figura 2a. Principales cuencas hidrológicas  
Fuente. CONAGUA (2016)

En la tabla 1 se muestran las regiones hidrológicas y las cuencas que conforman cada región administrativa de México.

Tabla 1. Regiones hidrológicas y cuencas que conforman cada región hidrológica administrativa de México.

<b>REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA</b>	<b>Nº DE REGIONES HIDROLÓGICAS</b>	<b>REGIONES HIDROLÓGICAS</b>	<b>Nº DE CUENCAS HIDROLÓGICAS</b>
I. PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA	7	B.C. NOROESTE, CENTRO-OESTE, SUROESTE, SURESTE, CENTRO-ESTE, NORESTE, RIO COLORADO	88
II. NOROESTE	2	SONORA NORTE, SONORA SUR	21
III. PACIFICO NORTE	2	PRESIDIO SAN PEDRO, SINALOA	46
IV. BALSAS	1	BALSAS	15
V. PACIFICO SUR	4	COSTA GRANDE Y CHICA DE GUERRERO COSTA DE OAXACA Y TEHUANTEPEC	94
VI. RIO BRAVO	2	BRAVO-CONCHOS, CUENCAS CERRADAS DEL NORTE	59
VII. CUENCAS CENTRALES DEL NORTE	3	MAPIMI, NAZAS-AGUANVAL, EL SALADO	30
VIII. LERMA-SANTIAGO-PACIFICO	6	COSTA DE MICHOACÁN, ARMERIA-COAHUAYANA, COSTA DE JALISCO, RIO AMECA, RIO HUICICILA, LERMA SANTIAGO	100
IX. GOLFO NORTE	3	SAN FERNANDO SOTO LA MARINA, PANUCO, NORTE DE VERACRUZ	121
X. GOLFO CENTRO	2	PAPALOAPAN, COATZACOALCOS	33
XI. FRONTERA SUR	2	COSTA DE CHIAPAS, GRIJALVA-USUMACINTA	108
XII. PENÍNSULA DE YUCATÁN	2	YUCATÁN OESTE, YUCATÁN ESTE	3

Fuente. CONAGUA (2016)



## 1.1 ZONA DE ESTUDIO

La cuenca de estudio se encuentra en la Región Hidrológica Administrativa XI – Frontera Sur (Figura 1), dentro de la Región Hidrológica N°30 – Grijalva-Usumacinta (Figura 2), conocida como Cuenca el Boquerón, nombre que toma debido a la estación hidrométrica aguas abajo “El Boquerón”. (Figura 4).

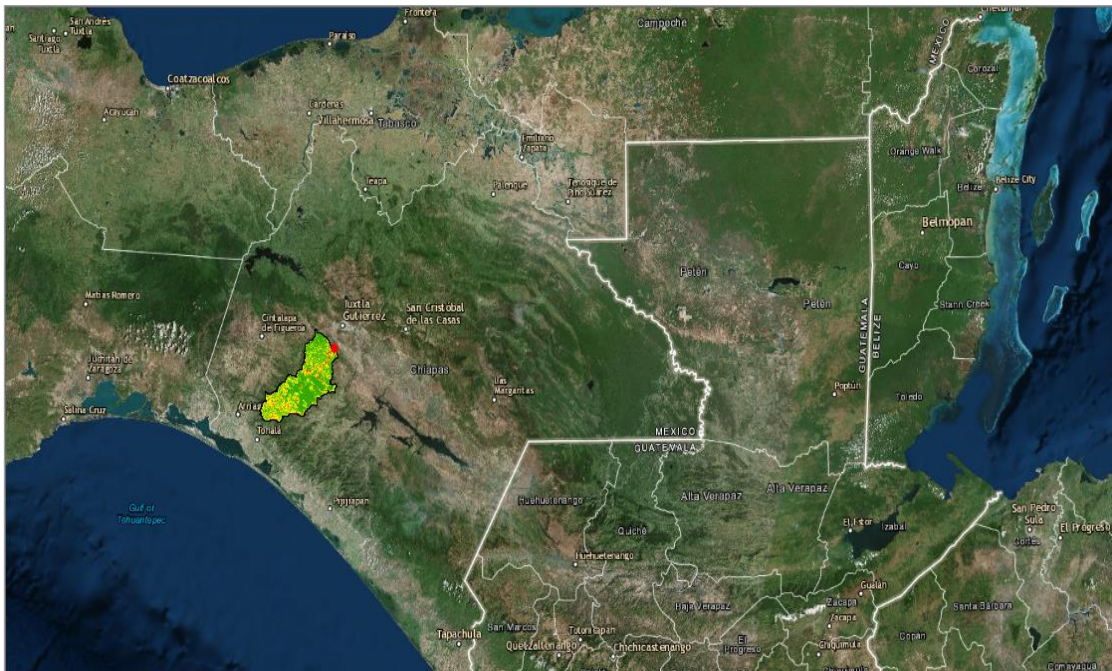


Figura 4. Cuenca Boquerón, RHA X1, RH 30.  
Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGIS® de Esri”.

Al 2017 el estado de Chiapas está dividido en 118 municipios (Figura 4) La cuenca en estudio comprende parte de los municipios Villa Flores, Suchiapa y Ocozacoautla de Espinosa. (Figura 5).

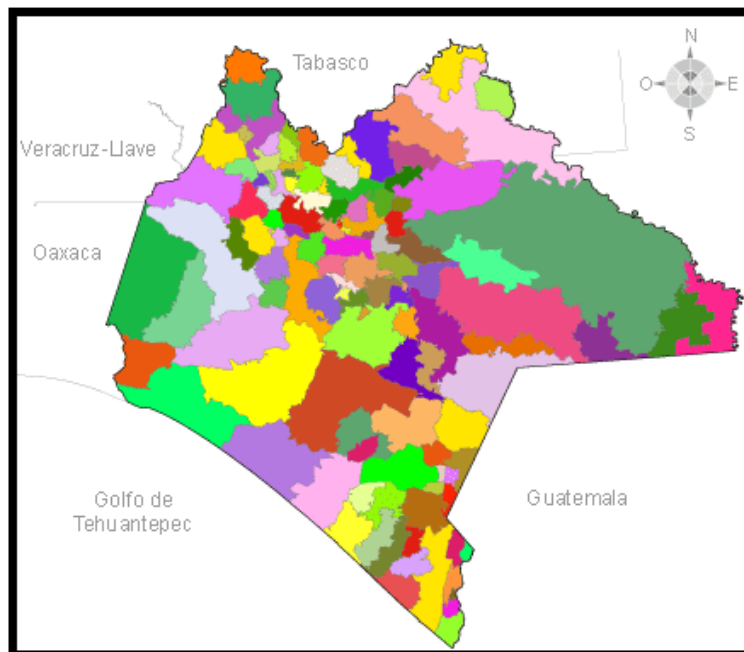


Figura 4. Municipios del estado de Chiapas  
Fuente: INEGI

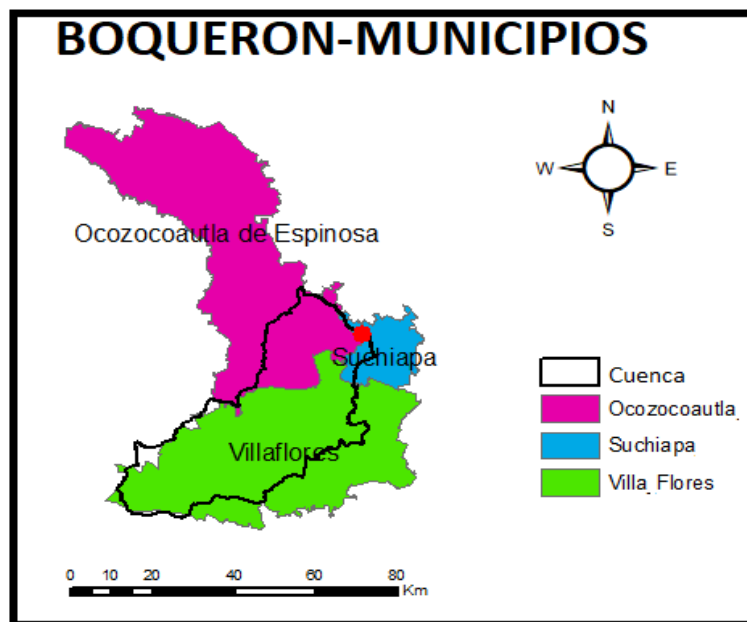


Figura 5. Municipios del estado de Chiapas  
dentro de la cuenca de estudio.  
Fuente: Elaboración propia usando Arc Map  
10.2.2

Adicionalmente el estado de Chiapas se divide en 15 regiones económicas (Figura 6), definidas a partir de acuerdos o intercambios comerciales entre municipios, del tipo de economía o del grado de desarrollo socioeconómico.

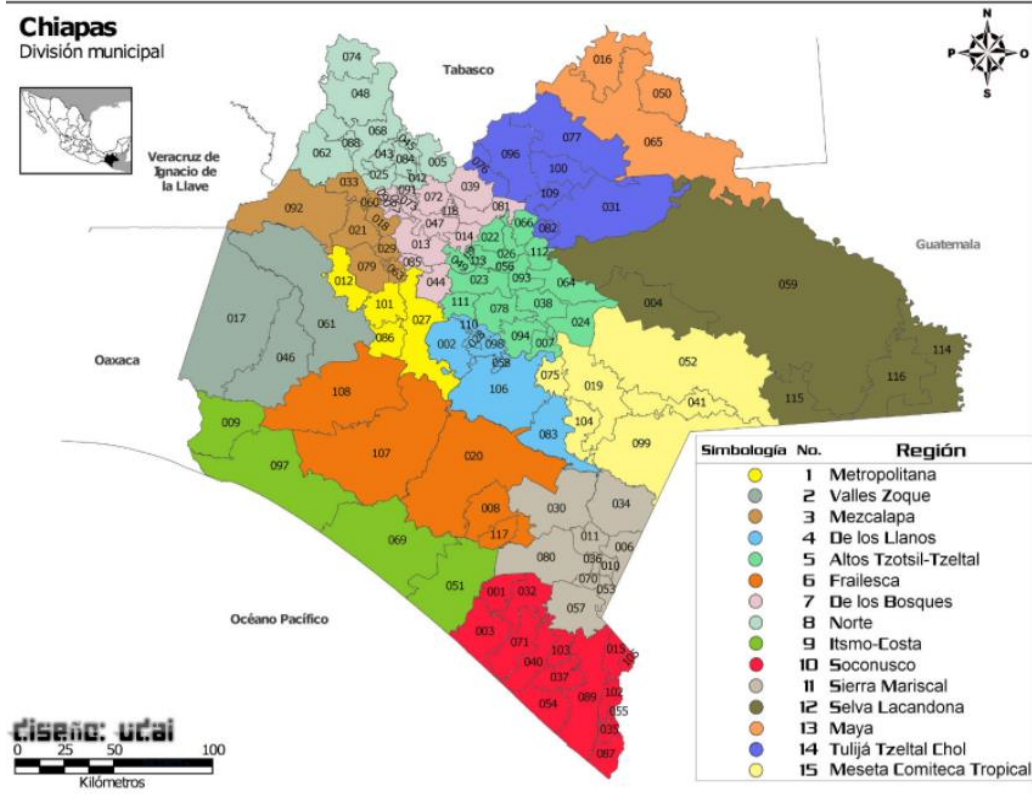


Figura 6. Regiones económicas del estado de Chiapas dentro de la cuenca de estudio.  
Fuente: CONABIO

El porcentaje mayor de la cuenca en estudio corresponde al municipio de Villa Flores como se observa en la tabla 2, que corresponde a la zona económica de Chiapas conocida como “**La Frailesca**”, las características de esta región económica permitirán a su vez conocer las características de la cuenca “El Boquerón”.

Tabla 2. Superficies y porcentajes correspondientes de los municipios dentro de la cuenca de Estudio.

Municipio	Superficie (Km2)	Porcentaje
Villa Flores	1211.94	73%
Suchiapa	53.02	3%
Ozocoautla	386.69	23%
Total	1651.65	100%

Fuente: Elaboración propia usando Arc Map 10.2.2

## 1.1.2 REGIÓN ECONÓMICA LA FRAILESCA

La Frailesca o también Región Fraylescana es una región económica y cultural del estado de Chiapas en México, se caracteriza por su alta producción agrícola y ganadera por lo que se le considera el granero de Chiapas.

Cultivan 120 mil hectáreas de maíz con una producción de 400 mil toneladas que representan un tercio de la producción del estado. La superficie de riego es de 12 mil hectáreas en el Distrito Cuxtepeques.

Esta región está integrada por municipios en un espacio de Km<sup>2</sup> que equivalen al 11% de la superficie estatal, la cabecera municipal se localiza en la ciudad de Villa Flores.

En cuanto a servicios básicos 80.5% de las viviendas cuentan con agua entubada, 71.43% con drenaje y 88.9% disponen de energía eléctrica.

En la cabecera regional, **Villa Flores**, el clima es completamente cálido con una humedad media y lluvias en verano, tiene un rango de temperatura media anual de 24°C a 26°C y la vegetación es selva y bosque caducifolio.

En el valle con lomeríos la geología está formada por acarreo de las corrientes de la sierra, de materiales aluviales y calizos recientes que se reconocen como sedimentarios (principalmente en los municipios de Villa Flores y Villa Corzo), así como por rocas ígneas intrusivas de tipo granito, rocas formadas por arena, arcillas y limos, y rocas metamórficas formada de arcillas y lodos (esquisto)

## Capítulo 2

### 2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA BOQUERÓN

Antes de cualquier análisis dentro de la cuenca en estudio, será necesario conocer sus características propias de la cuenca y como reaccionaria ante los efectos del cambio climático.

Las características físicas de una cuenca hidrológica son importantes desde el punto de vista hidrológico, ya que constituyen uno de los tantos factores que afectan el escurrimiento.

Estos parámetros hidrológicos son estimaciones que implican varias propiedades físicas de la cuenca y que tienen una aplicación directa en los cálculos hidrológicos. (Campos Aranda 2010).

En general la respuesta de la cuenca, ante los diferentes fenómenos depende de las características propias de la misma como son su tipo y uso de suelo, vegetación existente, arreglo de corrientes naturales, longitud de sus cauces y topografía, la interacción de los factores antes mencionados ocasiona la disminución o el aumento del escurrimiento superficial. (Domínguez et. Al, 2009).

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos en geoinformática, estos parámetros pueden ser obtenidos de forma automatizada por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). (Hunsaker et al., 1993).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se pueden definir como una combinación organizada de hardware, software y datos geográficos para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada. El objetivo de un SIG es el crear,

compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente.

Para la obtención de las características de la cuenca fue requerido el sistema de información geográfica ArcMap 10.2.2

INEGI define un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) como una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar (altitud), que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

A partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y las herramientas del SIG se obtienen las características de la cuenca que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Características de la cuenca el Boquerón

Cuenca el Boquerón				Cuenca el Boquerón			
Característica	Abreviatura	Valor	Unidades	Característica	Abreviatura	Valor	Unidades
Área	A	1706.77	km <sup>2</sup>	Pendiente cauce principal	Pcp	0.0039	s/u
Perímetro	P	328.68	km	Coficiente de compacidad	Kc	2.2276339	s/u
Ancho	B	17.018	km	Coficiente de forma	kf	0.1696914	s/u
Pendiente media cuenca	Pmc	22.72	%	Altura máxima	h max	2067	m
Longitud cuenca	Lc	66.48	km	Altura mínima	h min	487	m
Coficiente Sinuosidad	Cs	1.51	s/u	Desnivel	$\Delta h$	1580	m
Longitud cauce principal	Lcp	100.29	km	Tiempo de concentración	tc	19.729212	h

Fuente: Elaboración propia mediante el uso del SIG- Arc Map 10.2.2

Entre las características principales de la cuenca que permiten determinar el resto de ellas, se encuentra el área, el cauce principal y la pendiente.

## **2.1 ÁREA**

El área de la cuenca es el parámetro más importante para la determinación de sus parámetros hidrológicos, pues existe una relación directa entre la magnitud del área y la magnitud de los volúmenes generados por la precipitación en ella.

En general el tamaño de una cuenca determina el tamaño de sus crecientes, gastos mínimos o de estiaje y escurrimientos promedio.

## **2.2 CAUCE PRINCIPAL**

El cauce principal de una cuenca es la corriente que pasa por el punto de salida de la misma, y que, a su vez, recibe el aporte de otros cauces llamados tributarios. Ésta definición sólo es aceptada para las cuencas exorreicas. Todas las cuencas tienen sólo un cauce principal.

La longitud del cauce principal es una medida característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica de la cuenca, ya que en un río corto los efectos de la precipitación se reflejan más rápidamente que en un río largo (Klohn, 1970). La longitud del río principal es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento del mismo.

El cauce principal se determina con auxilio del orden de corrientes, partiendo de la salida de la cuenca hacia aguas arriba, siguiendo la corriente de más alto orden. Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene tributarios de primer orden.



Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc. Cuando se suman tributarios de distinto orden, se conserva el tributario de mayor orden.

De esta manera, el cauce principal será el de mayor orden dentro de la cuenca. De igual forma, el orden de la cuenca está dado por el orden del cauce principal. (Figura 7).

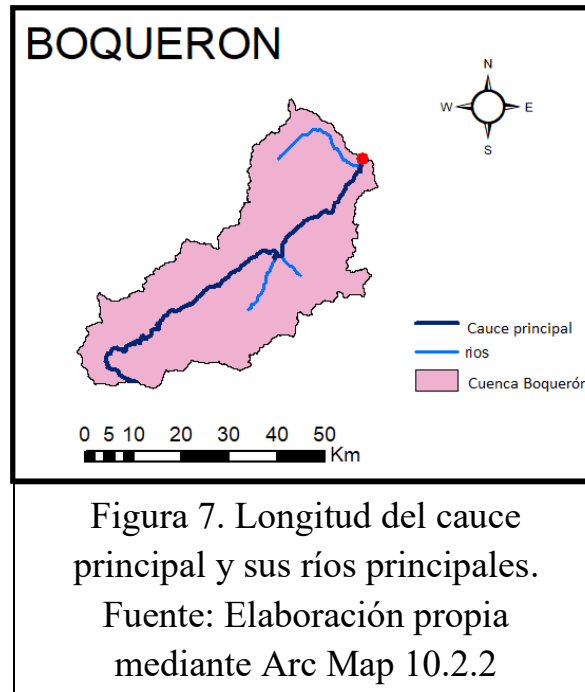


Figura 7. Longitud del cauce principal y sus ríos principales.  
Fuente: Elaboración propia mediante Arc Map 10.2.2

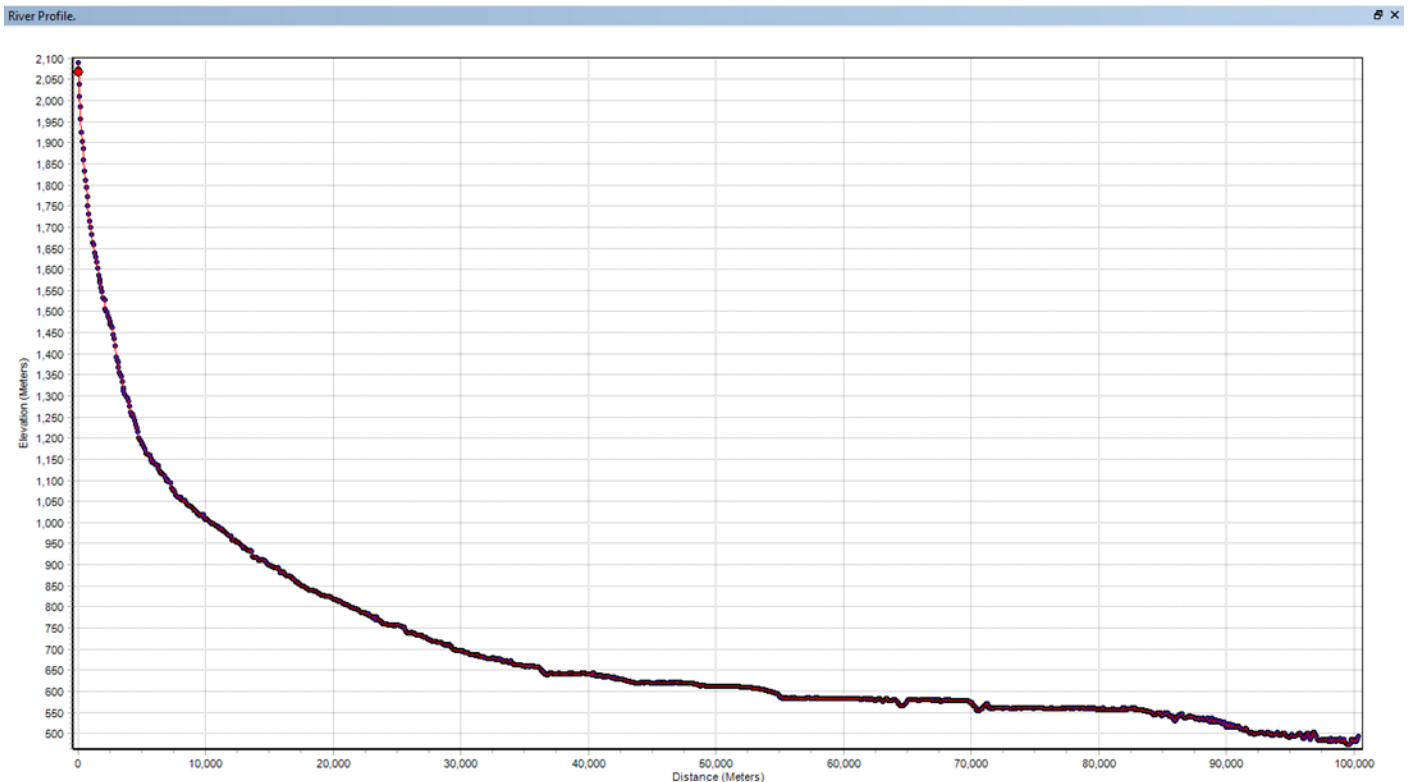
### 2.3 PENDIENTE

Es uno de los principales indicadores que existen para saber el grado de respuesta de una cuenca a una tormenta. Está relacionada con las características hidráulicas del escurrimiento, con la velocidad de propagación de las avenidas y con la capacidad de transporte de sedimentos.

La pendiente del cauce principal representa un valor medio, pues cada tramo de río tiene una pendiente propia. Por lo tanto, mientras mayor sea el número de tramos seleccionados, la pendiente media del cauce principal se aproximará más al real.

La pendiente del cauce varía, por lo que se necesita obtener una media de ésta. Existen varios métodos para obtenerla, pero el que más toma en cuenta lo antes mencionado, es el criterio y fórmula de Taylor y Schwartz: (Grafica 1. y Tabla 4).

$$S_T = \left( \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}} + \dots} \right)^2 \quad (2.1)$$



Grafica 1. Distancia en metros contra elevación en metros sobre nivel del mar del cauce principal

Fuente: Elaboración propia obtenida del SIG ArcMap

Tabla 4. Valores de distancia en metros contra elevación en metros sobre nivel del mar del cauce principal.

Distancia (m)	Elevación (m)
0	2067
10000	1008
20000	818
30000	695
40000	642
50000	613
60000	584
70000	572
80000	558
90000	517
100000	487
Pendiente	0.003

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de Arc Map 10.2.2

## 2.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el escurrimiento de la tormenta en viajar desde el punto más lejano hasta la salida de la cuenca o el punto de interés.

En este caso, se utilizó la fórmula de Kirpich para calcularlo:

$$T_c = 0.000325 \times \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad (2.2)$$

Dónde:

$T_c$ , tiempo de concentración (h)

$L$ , longitud del cauce principal (m)

$S$ , pendiente del cauce principal.

**$T_c = 20$  horas**

## Capítulo 3

### 3 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y CLIMATOLÓGICAS

En la actualidad se requieren modelos hidrológicos más exactos, lo cual implica más y mejor calidad de datos físicos, que a su vez son recolectados en campo con el equipo necesario, tales como estaciones climatológicas e hidrométricas.

El enfoque cuantitativo del ciclo hidrológico es la base de los estudios sobre evaluación y manejo de los recursos hidráulicos. Este enfoque presenta dos problemas a los hidrólogos, el primero es el cuantificar las cantidades de agua en las diferentes fases de este ciclo y el segundo, en evaluar sus velocidades de transferencia entre fases. Lo anterior sólo es posible de alcanzar con cierta exactitud y ello depende fundamentalmente de la disponibilidad de mediciones que se hayan realizado de los componentes fundamentales del ciclo hidrológico, por ejemplo, precipitación, escurrimiento, evaporación, humedad del suelo, etc.

#### 3.1 ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

Una estación hidrométrica registra en forma continua los niveles de agua de un curso o río, en determinada sección, con el fin de calcular una relación entre nivel y caudal y obtener una medición continua del caudal. Sirven para conocer la cantidad, disponibilidad del recurso y su distribución entre usuarios, también registran algunos parámetros climatológicos.

Para el caso de la cuenca en estudio contamos con la estación hidrométrica “El Boquerón [30020]”.

La estación está situada a once kilómetros al sureste de Tuxtla Gutiérrez, a cinco kilómetros de la Colonia Pacú y a seis kilómetros al noroeste de Suchiapa, dentro del municipio del mismo nombre, en el estado de Chiapas (Figura 8).

El objetivo de la estación es conocer el volumen aportado por el río Suchiapa al río Grijalva para estudios relativos a recursos hidráulicos de la Región Hidrológica No. 30.

La estación El Boquerón cuenta con laboratorio de sedimentos instalado en la casa del aforador a 40.00 metros aguas arriba de la sección de aforos en la margen derecha.

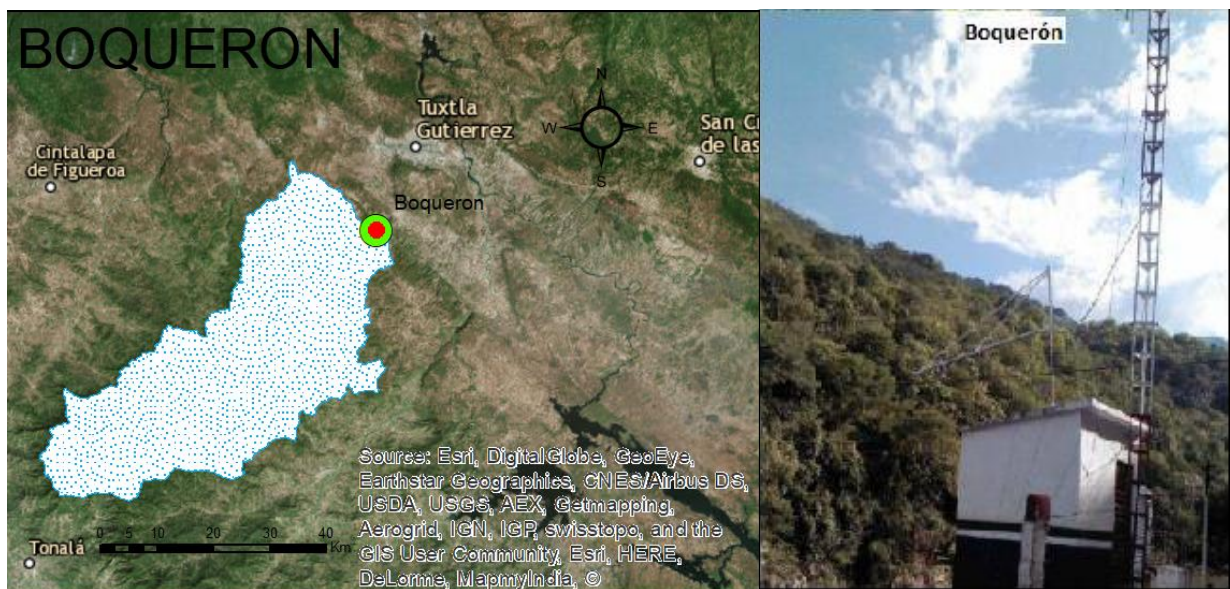


Figura 8. Estación hidrométrica aguas abajo “El Boquerón”.

Fuente: Arc Map 10.2.2

### 3.2 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Una estación climatológica es un conjunto de instrumentos colocados a la intemperie que permiten medir las variaciones del clima, colocados en sitios estratégicos representativos de ambientes diversos. Las estaciones climatológicas miden temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento.

Se entiende por elemento climatológico "Toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado físico del tiempo o del clima de un lugar determinado, para un momento o un período de tiempo dados".

Dentro de los más esenciales se citan:

- Temperatura: máxima, mínima y ambiente.
- Humedad: relativa, absoluta, relación de mezcla, específica, presión del vapor.
- Viento: dirección y velocidad, ráfaga máxima.
- Precipitación: cantidad, frecuencia, intensidad.

Para el estudio de la cuenca Boquerón, se cuenta con 4 estaciones dentro de ésta, que a su vez pueden ser de tipo hidrométrica, o climatológica. Sus nombres, tipo de estación y ubicación geográfica se muestran en la tabla 5 y figura 9

Tabla 5. Nombre, tipo y ubicación de las estaciones hidrométricas y climatológicas.

Nombre de estación	Tipo de estación	Coordenadas geográficas	
		Latitud	Longitud
Boquerón	Hidrométrica y climatológica	16°36'54''	93°10'11''
El progreso	Climatológica	16°41'56"	93°23'57"
Ursulo Galván	Climatológica	16°18'3"	93°24'4"
Finca Ocotlán	Climatológica	16°24'4"N	93°30'6"

Fuente: CLICOM 2018

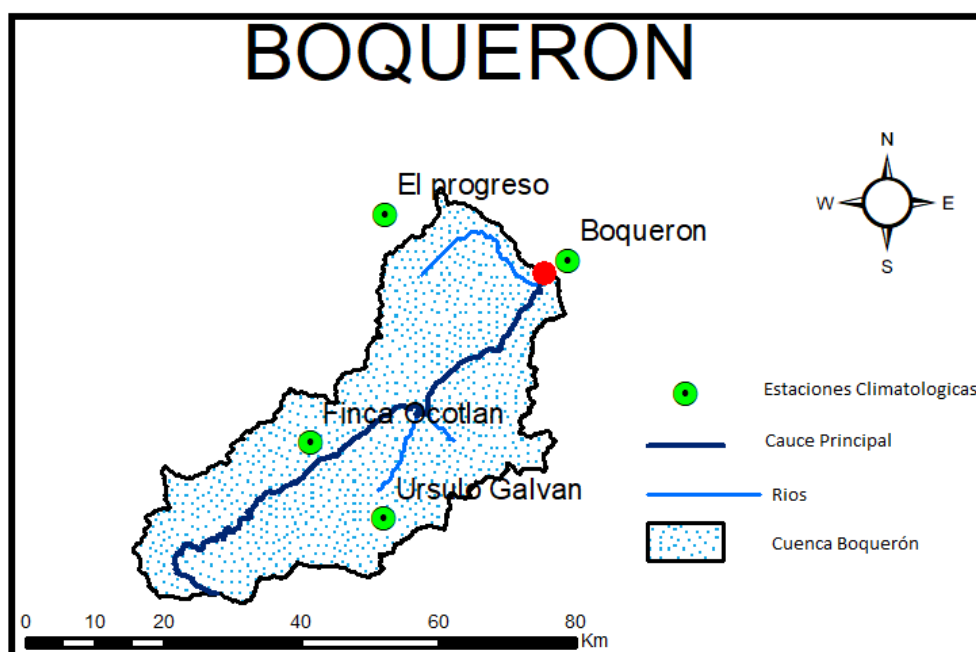


Figura 9. Nombre y ubicación de las estaciones hidrométricas y climatológicas.

Fuente: Elaboración propia usando Arc Map 10.2.2

### **3.3 INFORMACIÓN DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS**

Una vez definidas las estaciones que se encuentran en la cuenca, será necesario contar con la información diaria, mensual y anual de las principales variables climatológicas, como es el caso de la precipitación y la temperatura.

En este caso las 4 estaciones climatológicas tienen un registro de 31 años y un periodo en común del año 1980 a 2010.

En la tabla 6 se muestra el registro de series de lluvia anual y el porcentaje de influencia dentro de la cuenca de cada una; en la tabla 7 se muestra el registro de temperaturas promedio anual y el porcentaje de influencia de cada una.

Por último, en la tabla 8 se muestra la estación hidrométrica “El Boquerón” con un registro de 56 años que van del año 1952 a 2007, con el registro de los gastos máximos en metros cúbicos sobre segundo ( $m^3/s$ ).



Tabla 6. Serie de lluvia anual de las estaciones que forman parte de la cuenca.

<b>Precipitaciones (mm)</b>				
<b>Año/ Estación</b>	<b>Boquerón 7039</b>	<b>El progreso 7050</b>	<b>Ursulo Galván 7327</b>	<b>Finca Ocotlán 7065</b>
1980	816	1901	1123	1147
1981	1115	2268	1187	1305
1982	733	1999	1369	807
1983	965	1804	1036	1047
1984	675	1274	1263	1199
1985	906	838	1084	905
1986	632	650	1112	1717
1987	738	689	1193	929
1988	1176	2145	884	1194
1989	988	1355	1716	1270
1990	934	1614	1351	1269
1991	704	1658	1385	966
1992	798	1287	588	1151
1993	889	1253	1266	1207
1994	697	931	1610	974
1995	1156	1012	1003	1105
1996	1429	1298	1760	1445
1997	1084	945	1248	1146
1998	1093	600	1388	1344
1999	1283	1681	1901	986
2000	1041	1001	2361	1029
2001	999	1287	3565	1230
2002	893	1208	1826	1818
2003	1095	1479	2550	2307
2004	812	1322	2207	831
2005	1113	1366	1287	961
2006	1034	1476	2962	720
2007	1236	1153	1661	1431
2008	1000	1545	1950	1434
2009	923	1308	2001	903
2010	1297	1064	1155	1140

Fuente: Elaboración propia basada en los registros de CLICOM

Tabla 7. Serie de temperaturas promedio anuales de las estaciones que forman parte de la cuenca.

<b>Temperaturas (°C)</b>				
<b>Año/ Estación</b>	<b>Boquerón 7039</b>	<b>Progreso 7050</b>	<b>Ursulo Galván 7327</b>	<b>Finca Ocotlán 7065</b>
1980	25.5	24.1	24.7	24.6
1981	25.1	24.3	25.4	24.9
1982	25.7	24.8	25.4	25.2
1983	25.8	25.0	24.9	25.4
1984	25.1	24.5	23.9	24.8
1985	25.8	24.0	25.2	25.2
1986	25.6	23.6	24.8	24.1
1987	25.4	23.6	24.7	23.6
1988	25.9	23.8	23.7	23.3
1989	25.5	24.0	23.8	22.2
1990	25.8	24.1	24.2	23.1
1991	26.3	24.6	24.8	24.0
1992	25.9	22.6	24.7	24.4
1993	26.1	23.6	24.8	25.0
1994	26.3	24.2	25.0	24.9
1995	26.0	24.3	25.1	25.6
1996	25.3	23.4	24.4	25.3
1997	25.7	24.1	24.5	25.6
1998	26.1	22.9	24.8	25.8
1999	25.2	24.1	24.6	26.0
2000	26.4	24.0	24.7	25.7
2001	27.2	24.7	24.4	25.2
2002	27.2	24.9	24.8	26.4
2003	26.6	25.5	24.5	25.7
2004	26.5	25.3	24.0	24.4
2005	26.5	25.1	23.6	25.3
2006	26.3	25.0	22.8	24.9
2007	26.3	25.1	23.3	24.5
2008	25.8	25.0	22.3	23.3
2009	26.4	25.5	22.8	23.8
2010	25.8	25.3	23.7	23.5

Fuente: Elaboración propia basada en los registros de CLICOM

Tabla 8. Registro de Gastos máximos anuales de la estación hidrométrica “El Boquerón” Periodo 1952-2007

<b>Boquerón Gastos máximos (m<sup>3</sup>/s)</b>			
Año	Q máx.	Año	Q máx.
1952	275.498	1980	499.531
1953	141.698	1981	247.6433
1954	242.457	1982	287.617
1955	250.248	1983	237.096
1956	194.5	1984	274.199
1957	67.586	1985	128.269
1958	203.175	1986	248.41866
1959	99.432	1987	135.47478
1960	186.375	1988	239.48289
1961	110.965	1989	670.3651
1962	200.811	1990	71.21972
1963	582.666	1991	97.08951
1964	125.784	1992	126.99422
1965	82.206	1993	232.59832
1966	166.685	1994	62.60781
1967	143.569	1995	221.11215
1968	120.739	1996	135
1969	246.632	1997	197.51517
1970	215.996	1998	572.25485
1971	195.921	1999	266.32838
1972	149.73	2000	207.83511
1973	440.733	2001	129
1974	257.71	2002	176
1975	108.584	2003	361
1976	117.905	2004	118
1977	61.417	2005	911
1978	148.1	2006	135
1979	195.4343	2007	136

Fuente: Elaboración propia basada en los registros de CLICOM

## Capítulo 4

### 4 RIESGO CLIMÁTICO

El concepto de riesgo climático, como el de riesgo en general, implica la presencia de un acontecimiento natural extremo, pero en absoluto imprevisible, y una actividad humana susceptible de ser dañada por dicho acontecimiento. Es decir, no existen riesgos naturales y riesgos debidos a la actividad humana, sino que existe una mala adaptación del hombre a la naturaleza.

Si bien la caracterización del clima de una región se basa en los valores medios de los elementos climáticos, la sucesión habitual de estados atmosféricos cercanos a la media se ve alterada frecuentemente por episodios meteorológicos extremos, pero no excepcionales. Estos forman parte, al igual que los valores medios, de la caracterización climática de una región.

Los sucesos climáticos analizados en el proyecto son:

- Cambio climático
- Análisis de gastos mínimos
- Sequia hidrológica
- Sequia meteorológica
- Olas de calor
- Heladas
- Agua disponible
- Inundaciones

- Pérdida de suelos

#### 4.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio del clima es un concepto que puede prestarse a ambigüedades en su uso y que está muy ligado al estado del tiempo, el cual puede referirse a una situación instantánea de la atmósfera, es decir un intervalo relativamente corto. En tanto, que el clima se refiere a las condiciones observadas en periodos suficientemente largos.

Hablar de la detección del cambio climático implica demostrar en términos generalmente estadísticos que se han cambiado significativamente sus condiciones en un intervalo de tiempo. En este proceso del análisis se demuestra que existe evidencia de cambio, pero no se dan explicación alguna sobre el origen de dichos cambios. El cambio en el clima se debe a las actividades humanas y a la variabilidad natural del clima. Se han propuesto algunos índices útiles para la detección del cambio del clima, los cuales implican la valoración de los siguientes extremos:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1) Días con helado promedio anual                | $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$   |
| 2) Días de verano                                | $T_{\max.} > 25^{\circ}\text{C}$ |
| 3) Noches tropicales                             | $T > 20^{\circ}\text{C}$         |
| 4) Temperatura máxima diaria (Anual y mensual)   |                                  |
| 5) Temperatura mínima más alta (Mes y año)       |                                  |
| 6) Temperatura máxima más baja (Mes y año)       |                                  |
| 7) Temperatura máxima diaria extrema (Mes y año) |                                  |
| 8) Duración de periodos cálidos.                 | Días $T_{\max.} > T_{40}$        |

9) Duración de periodos fríos

$T_{\min} > T_{90}$

10) Rango  $T_{\max} - T_{\min}$  (Mensual y anual)

11)  $H_p$  2 y h (Mensual y anual)

12) Número de días  $HP > 1\text{mm}$

13) Días con lluvia en el mes y año

14) Días con lluvia

i. 0.1 a 5mm (Ligera)

ii. 5 a 20 mm (Moderada)

iii. 21 a 70 mm (Fuerte)

iv. 71 a 150mm(Intensa)

v.  $> 150\text{mm}$

15) Lluvia acumulada mensual y anual

16) Trenes de lluvia de 2 a 10 días consecutivos

Cada una de estas valoraciones de los extremos ayuda a identificar si existe una tendencia significativa a lo largo del tiempo, a su vez estos extremos son valorados en forma conjunta de los riesgos climáticos que afectan a la zona de estudio.

#### 4.1.1 MANN-KENDALL

Una serie presente tendencia en la media, cuando se presenta un cambio progresivo y gradual en la magnitud o nivel de la media. Esta tendencia puede

ser positiva si hay un incremento gradual en la media o negativa en caso contrario.

La prueba de Mann Kendall se basa en el cálculo del estadístico S definido como sigue (Van Belle & Hughes, 1984, Yue et al., 2002; Kahya y Kalay, 2004).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

$$\begin{aligned} \text{Si } (x_j - x_i) > 0 & \quad \text{sgn}(x_j - x_i) = 1 \\ \text{Si } (x_j - x_i) = 0 & \quad \text{sgn}(x_j - x_i) = 0 \\ \text{Si } (x_j - x_i) < 0 & \quad \text{sgn}(x_j - x_i) = -1 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Donde n Tamaño de la muestra Son datos secuenciales Para tamaños de muestra grandes, el estadístico S distribuye aproximadamente normal con media cero y varianza:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4.2)$$

Finalmente se calcula un estadístico Z estandarizado:

$$\begin{aligned} \text{Si } S > 0 & \quad Z_{MK} = \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} \\ \text{Si } S = 0 & \quad Z_{MK} = 0 \\ \text{Si } S < 0 & \quad Z_{MK} = \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Se rechaza la hipótesis de no tendencia si el excede un percentil especificado de la distribución normal.

#### 4.1.2 TENDENCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Al realizar las pruebas de tendencia sobre la serie de lluvias arroja resultados muy interesantes en cuanto a la precipitación ya que presenta una tendencia creciente en algunos de sus aspectos.

Lo primero en analizar del registro de precipitaciones son los días con lluvia al año, la lluvia acumulada y la lluvia máxima por año

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Des. Est
N° días hp	61	97	79.00	10.03
hp acumulada anual	874.73	2158.78	1332.27	298.39
hp máx. anual	36.08	41.60	38.68	1.42

hp acumulada anual	
S	167.00
Var(S)	3461.67
kmz	2.86
alpha	1.96
<b>Tendencia creciente</b>	

N° días con hp	
S	89.00
Var(S)	3461.67
kmz	1.53
alpha	1.96
<b>No presenta tendencia</b>	

hp máxima anual	
S	-83.00
Var(S)	3461.67
kmz	1.39
alpha	1.96
<b>No presenta tendencia</b>	

Las pruebas de tendencia indican que no existe una tendencia en cuanto a la lluvia máxima anual ni a los números de días, pero si una tendencia creciente en la lluvia acumulada anual.

Al analizarlo de forma mensual notamos que los incrementos están ocurriendo en los meses de enero, abril, mayo y septiembre.



hp acumulada (Enero)		hp acumulada (Abril)		hp acumulada (Mayo)		hp acumulada (Septiembre)	
S	213.00	S	141.00	S	151.00	S	-135.00
Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67
kmz	3.64	kmz	2.41	kmz	2.58	kmz	2.28
alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96
<b>Tendencia creciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>	

Otro de los puntos al considerar sabiendo que existe una tendencia creciente con la lluvia acumulada es saber cómo se está comportando la cantidad de lluvia de forma anual.

Variable	N° Registro	Mínimo	Máximo	Promedio	Des.Est
0.1-5mm	31	9.426	50.730	22.058	8.826
5-20mm	31	28.522	50.742	38.377	5.572
21-70mm	31	12.110	40.504	22.538	7.131
71-150mm	31	0.000	2.668	0.708	0.626

Se observa claramente como existe una tendencia decreciente en la lluvia de hasta 5mm (ligera) y como se refleja de inmediato en una tendencia creciente de 6 a 20 mm (moderada) y de 21 a 70mm (fuerte), a pesar de que la lluvia que se encuentra de 71 a 150mm (Intensa) no presenta tendencia, por lo observado podríamos concluir que al paso de los años las lluvias se presentarán en mayor intensidad.

hp 0.1-5mm		hp 6-20mm		hp 21-70mm		hp 71-150mm	
S	-141.00	S	129.00	S	175.00	S	-57.00
Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3443.67
kmz	2.38	kmz	2.21	kmz	2.99	kmz	0.95
alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96
<b>Tendencia decreciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>		<b>No presenta tendencia</b>	

Una vez obtenidos estos resultados y notando la tendencia creciente de la lluvia acumulada pasamos al análisis de los trenes de tormenta como se muestra a continuación:

Variable	Nº registros	Mínimo	Máximo	Promedio	Des. Est.
2 días	31	71.341	136.826	96.369	16.996
3 días	31	85.557	168.140	118.177	21.155
5 días	31	106.155	213.933	148.724	30.638
7 días	31	114.913	246.126	177.123	38.254
10 días	31	132.162	319.300	215.864	50.675

Trenes de tormenta									
2 Días		3 Días		5 Días		7 Días		10 Días	
S	85.00	S	109.00	S	151.00	S	161.00	S	133.00
Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67	Var(S)	3461.67
Kmz	1.46	kmz	1.87	kmz	2.58	kmz	2.75	kmz	2.28
Alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96	alpha	1.96
<b>No presenta tendencia</b>		<b>No presenta tendencia</b>		<b>Tendencia creciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>		<b>Tendencia creciente</b>	

Se observa que a partir de 5 días y hasta 10 días consecutivos que es hasta donde llega el análisis se presenta una tendencia creciente, lo que implica que muy pronto se puede presentar una tendencia creciente en trenes de tormenta de 2, 3 y 4 días consecutivos.

Este análisis es muy importante ya que este indicador se verá reflejado directamente en las inundaciones que puede o pudiera ver en la zona de estudio. Las inundaciones es un tema que también abarcaremos en el análisis y dado los resultados obtenidos en este análisis será de suma importancia.

Cabe destacar que también se realizaron pruebas de tendencia a las temperaturas, pero ninguna de las pruebas presentó alguna tendencia significativa.

## **4.2 SEQUÍAS**

Las sequías son manifestaciones de las fluctuaciones climáticas asociadas con las anomalías a gran escala de los patrones de circulación atmosférica, la deforestación, el cambio de uso de suelo, la desertificación y las actividades humanas.

Cuando la definición precisa el momento de inicio, finalización e intensidad de la sequía, hablamos de definiciones operacionales, las cuales requieren un conocimiento más detallado de las variables climáticas, así como disponer de serie de datos de diferentes escalas, según el nivel de detalle deseado (horario, diario, mensual, estacional, anual, etc.).

### **4.2.1 SEQUÍA METEOROLÓGICA**

Basada en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un periodo de tiempo determinado. Ante la dificultad de establecer una duración y magnitud del déficit pluviométrico válidas para diferentes áreas geográficas, algunas definiciones de sequía optan por no especificar umbrales fijos.

Palmer (1965) define sequía meteorológica como el “intervalo de tiempo, generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado”, mientras que Rusell et al. (1970) son más concisos: “Falta prolongada de precipitación, inferior a la media”.

Un indicador para medir la variabilidad en la lluvia es su coeficiente de variación [Cv].

$$Cv = \frac{S}{x} \quad (4.4)$$

S = Desviación estándar de la serie de la lluvia

X = Media de la serie

Para un sitio con alta probabilidad de la ocurrencia de Sequias **Cv > 0.35** para el caso contrario **0.15 ≤ Cv ≤ 0.35.**

Estación	Boquerón	Progreso	Ursulo G.	Finca O.
% Superficie	18%	13%	41%	28%
Media	975.92	1335.73	1580.32	1190.75
Desv. Std	201.12	417.98	636.53	323.22
Cv	0.21	0.31	0.4	0.27
Cv Cuenca	0.32			

En la zona de estudio el **Cv = 0.32** lo que indica que no es un sitio con alta probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, al analizar puntualmente cada estación observamos que la estación climatológica Úrsulo Galván presenta un Cv = 0.40 indicándonos una alta probabilidad de ocurrencia de una sequía meteorológica.

Existen indicadores de sequías que permiten determinar los diferentes tipos de sequías que ocurren en una región determinada.

Estos indicadores tienen la peculiaridad de poder determinar la severidad de las sequías partiendo de los datos de temperatura, humedad del aire, temperatura ambiente, precipitaciones, reserva de agua existente en el suelo, etc.

Los indicadores de sequías nos pueden ayudar a elaborar planes para la mitigación de las sequías, ya que podemos determinar cuándo se aproxima este fenómeno.

El estudio de los diferentes indicadores facilitará una mejor comprensión del comportamiento de las sequías cuando estas se presentan en una región estudiada.

Para el caso de la investigación se aplicará el indicador en base a los deciles de la precipitación.

Los Deciles (*D*) o sequía mensual es un indicador que se utiliza para monitorear la sequía. Fue desarrollado por Gibbs y Maher (Gibbs, W. J. 1987) con base en el análisis estadístico de las series de los acumulados de lluvias mediante la distribución de percentiles para evitar alguna de las debilidades del *índice Por ciento del normal*.

Su uso como índice, posee la utilidad práctica de que ellos expresan el grado de la lluvia sobre un período dado dentro de la distribución de frecuencia sin especificar la cantidad de lluvia.

El Índice *D* consiste en ordenar los datos de precipitación mensual en deciles. Divide la distribución de ocurrencias de registros de precipitación a largo plazo en décimos de la distribución. Cada una de estas categorías es un *decil*. El primer decil es la cantidad de lluvia no excedida por el 10% más bajo de las ocurrencias de precipitación. El segundo decil es la cantidad de precipitación no excedida por el 20 % más bajo de las ocurrencias.

Por definición el quinto decil es la mediana, y es la cantidad de precipitación que no exceda el 50 % de las ocurrencias sobre el periodo de registro. Los deciles son agrupados en cinco categorías como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Deciles de la precipitación agrupados en 5 categorías

1	Deciles 20% más bajo: 1-2	Muy debajo de lo normal
2	Deciles siguiente 20% más bajo: 3-4	Debajo de lo normal
3	Deciles mitad 20%: 5-6	Cercano a lo normal
4	Deciles siguiente 20% más alto: 7-8	Arriba de lo normal
5	Deciles 20% más alto: 1-10	Muy arriba de lo normal

Gibbs y Maher sugieren la siguiente interpretación (Tabla 11).

Tabla 11. Deciles de la precipitación interpretación de Gibbs y Maher

Clasificación en Tiempo	Porcentaje	Rango Decil
Muy por encima de la norma	>90	10
Bastante por encima de la norma	80-90	9
Por encima de la norma	70-80	8
En la norma	30-70	4-7
Por debajo de la norma	20-30	3
Bastante por debajo de la norma	10-20	2
Muy por debajo de la norma	>10	1

Fuente: Defining Moderate and Severe Droughts (Gibbs and Maher, 1967)

Los límites de cada decil se calculan ordenando la muestra de tamaño  $n$  de menor a mayor, así el valor más grande registrado se le asigna la variable  $H_p(n)$ , y al más pequeño  $H_p(1)$ . El valor de cada decil se obtiene de la siguiente forma:

$$decil(1) = H_p(1) + constante$$

$$decil(i) = decil(i-1) + constante \quad \text{Para } i=2, \text{ hasta } i=10$$

$$constante = \frac{H_p(n) - H_p(1)}{10} \quad (4.5)$$

Antes de evaluar los registros será necesario aplicar modelos estocásticos a cada uno de ellos.

#### 4.2.1.1 MODELOS ESTOCÁSTICOS

Muchos de los sistemas de recursos hídricos y ambientales se cuantifican mediante variables que tienen un comportamiento espacial y temporal, que puede ser analizado y sintetizado usando análisis de series temporales y procesos estocásticos.

En estadística, y específicamente en la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para tratar con magnitudes aleatorias que varían con el tiempo, o más exactamente para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo.

Considerando la serie original de lluvias anuales  $X_t$  se pueden generar series sintéticas mediante un modelo autorregresivo.

En este proyecto el modelo que mejor se ajustó a los registros de acuerdo al criterio de información de Akaike (AIC) es el modelo AR (1) por mínimos cuadrados.

En la tabla 12 se muestra los estadísticos de la muestra original y los generados a partir de 100 mil muestras.

Tabla 12. Resumen de los estadísticos muestrales originales y los generados (100mil datos de serie sintética generados)

Station 1: BOQUERON Annual Data			Station 2: PROGRESO Annual Data		
	Historical	Generated		Historical	Generated
Mean	975.9	977.1	Mean	1336.	1341
StDev	197.9	205.5	StDev	411.2	451.9
CV	0.2027	0.2103	CV	0.3078	0.3369
Skew	0.1792	0.6382	Skew	0.3170	1.05
Min	631.6	416.1	Min	600.0	345.3
Max	1429.	2379	Max	2268.	5444
acf(1)	0.1966	0.2004	acf(1)	0.3570	0.3314
acf(2)	0.2114	0.04571	acf(2)	0.1617	0.1158

Station 3: URSULO_GALVAN Annual Data			Station 4: FINCA_OCOTLAN Annual Data		
	Historical	Generated		Historical	Generated
Mean	1580.	1580	Mean	1191.	1190
StDev	626.2	605.5	StDev	318.0	294.1
CV	0.3962	0.3831	CV	0.2670	0.2472
Skew	1.304	1.21	Skew	1.515	0.7544
Min	588.3	339.6	Min	719.6	445.4
Max	3565.	7684	Max	2307.	3341
acf(1)	0.3528	0.3364	acf(1)	0.02716	-0.04719
acf(2)	0.4602	0.1196	acf(2)	-0.1840	0.008659



#### 4.2.1.2 ANÁLISIS DE SEQUIA METEOROLÓGICA

Una vez generadas las muestras sintéticas analizaremos los parámetros que identifican a la sequía meteorológica.

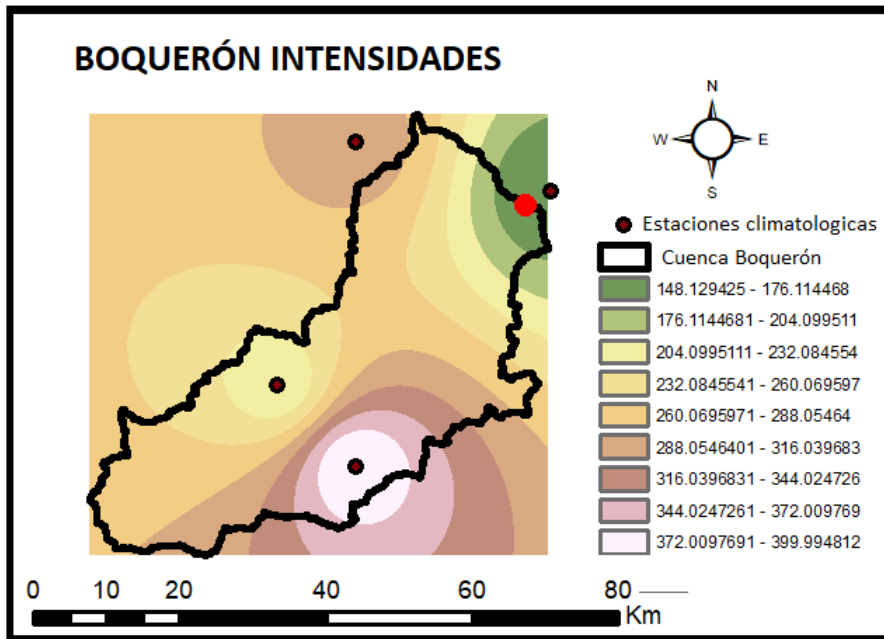
Los parámetros a evaluar son:

- 1) Periodo (Años)
- 2) Duración (Años)
- 3) Severidad (mm)
- 4) Intensidad (mm/año)
- 5) Intensidad media (%)

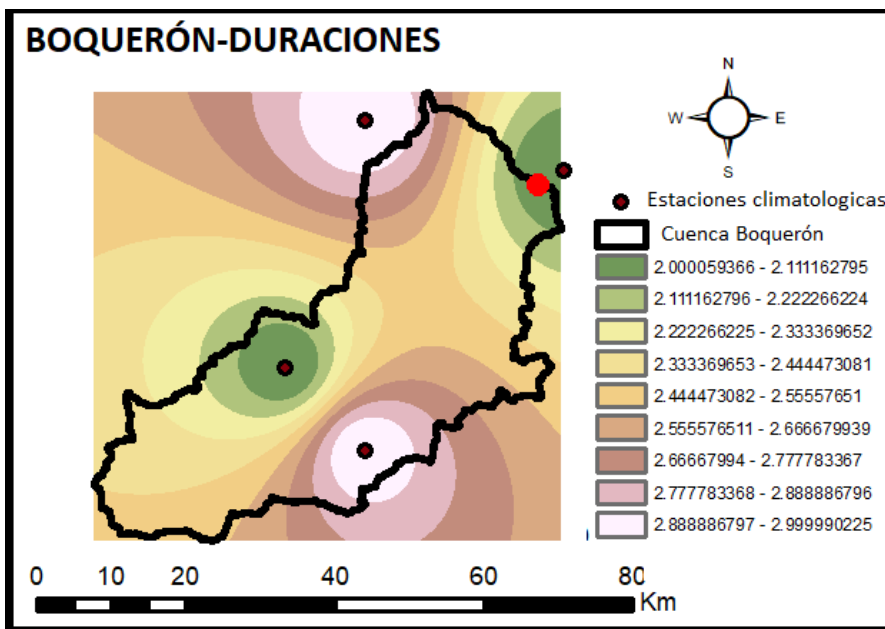
El análisis a cada una de las estaciones se muestra en la tabla 13

<b>Tabla 13. Análisis de Sequia meteorológica</b>					
Estación	Periodo	Duración (año)	Severidad (mm)	Intensidad (mm/año)	Intensidad Media (%)
Boquerón	4.57	2.00	361.83	147.69	15%
Progreso	5.22	2.95	899.97	304.59	23%
Ocotlán	3.86	2.10	441.30	210.57	18%
Ursulo	5.24	3.00	1199.56	399.92	25%

Así mismo se generó un mapa de intensidades promedio de toda la región (Mapa 1) y un mapa de duraciones promedio (Mapa 2).



Mapa 1. Sequía meteorológica-Intensidades (mm/año) Cuenca Boquerón  
Fuente: Elaboración propia usando Arc Map 10.2.2



Mapa 2. Sequía meteorológica-Duraciones (años) Cuenca Boquerón  
Fuente: Elaboración propia usando Arc Map 10.2.2

A pesar de que si existen registros que permiten establecer una sequía meteorológica, el tiempo que tarda en presentarse una sequía es de 4 años y medio y la intensidad con respecto a la media no supera los valores del 25% lo que indica que no es una prioridad dentro de la cuenca.

#### 4.2.2 SEQUIA HIDROLÓGICA

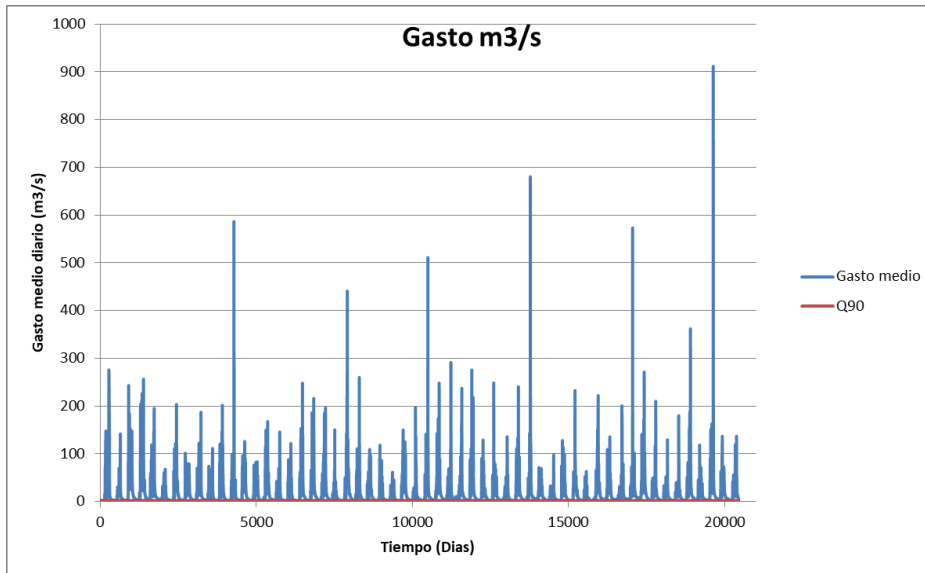
Esta sequía se da cuando existen déficit en la precipitación y escurrimiento superficial y subterráneo. Esta sequía puede causar severos daos a la población, ya que, sus efectos y recuperación son de largo plazo.

La sequía hidrológica puede demorarse durante meses desde el inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse. Por tanto, la secuencia temporal es: sequía meteorológica, a continuación, sequía hidrológica. La capacidad de gestionar los recursos hídricos hace que la sequía hidrológica no dependa exclusivamente del volumen de agua existente en los depósitos naturales o artificiales, sino que también es determinante la forma en que se emplea el agua embalsada. Linsley et al. (1975) toman en consideración estos aspectos, al definir sequía hidrológica como el «período durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas».

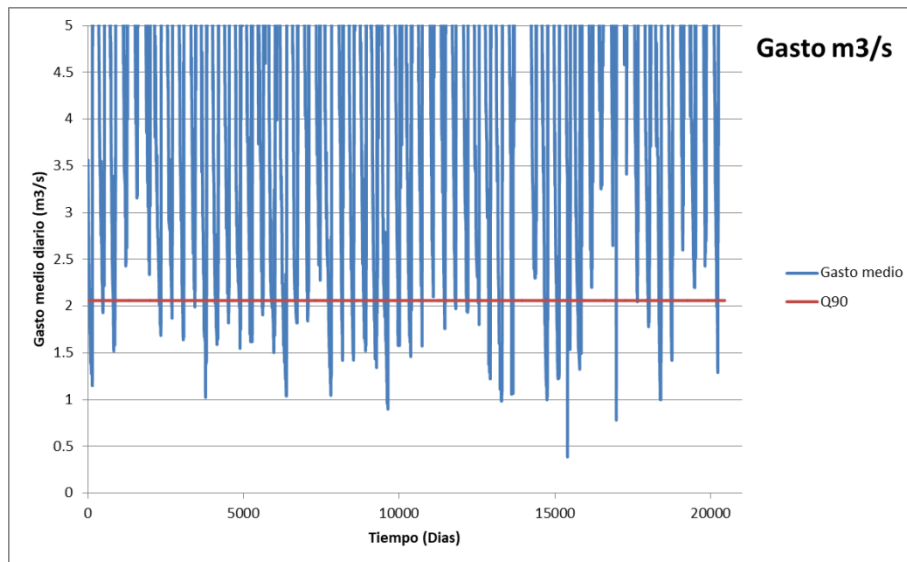
La serie analizada es la formada por los gastos medios diarios  $Q_t$

Para realizar el análisis se requiere establecer un umbral que poder el 85%, 90% o 95% de los flujos que son igualados o excedidos de una muestra ordenada de mayor a menor.

Para la investigación tomaremos el percentil conocido como  $Q_{90}$ , el cual ayudará a determinar el gasto base del río. En este caso buscaremos los valores debajo del umbral **2.061** (Grafica 3 y Grafica 4).



Grafica 3. Gasto medio diario y Q<sub>90</sub> en el periodo de tiempo 1952-2007



Grafica 4. Gasto medio diario y Q<sub>90</sub> en el periodo de tiempo 1952-2007

Para cada periodo por debajo del umbral se debe obtener:

- Tiempo de inicio  $T_b$  (v)
- Tiempo de terminación  $T_p$  (v)
- Su duración  $T$  (v)
- Su tiempo de ocurrencia  $T$  (v)
- El déficit presentado  $D(v)$
- El déficit máximo  $D(\text{máx})$

Una vez obtenidos estos valores se aplica un análisis de frecuencia para periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) que ayudará a determinar el déficit máximo, su duración y los días de ocurrencia, que a su vez permitirán conocer el Gasto disponible en el rio con la siguiente expresión:

$$Q \text{ disponible} = Q_{90} - Q \text{ déficit}$$

A continuación, se muestra la tabla 14 con los valores del déficit máximo y su gasto correspondiente de déficit para diferentes periodos de retorno.

Tabla 14. Sequia hidrológica-Déficit para diferentes periodos de retorno

Déficit máximo						
T (años)	D máx. (m <sup>3</sup> )	T(v) (días)	Q déficit (m <sup>3</sup> /s)	Z (día)	Zb (día)	Ze (día)
2	809656	23	0.4	107	96	118
5	1832803	47	0.45	107	84	130
10	2510215	63	0.46	107	76	138
20	3160005	78	0.47	107	68	145
50	4001092	98	0.47	107	58	155
100	4631368	112	0.48	107	51	162

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de  $Q_{90}$

#### 4.2.2.1 GASTO DISPONIBLE

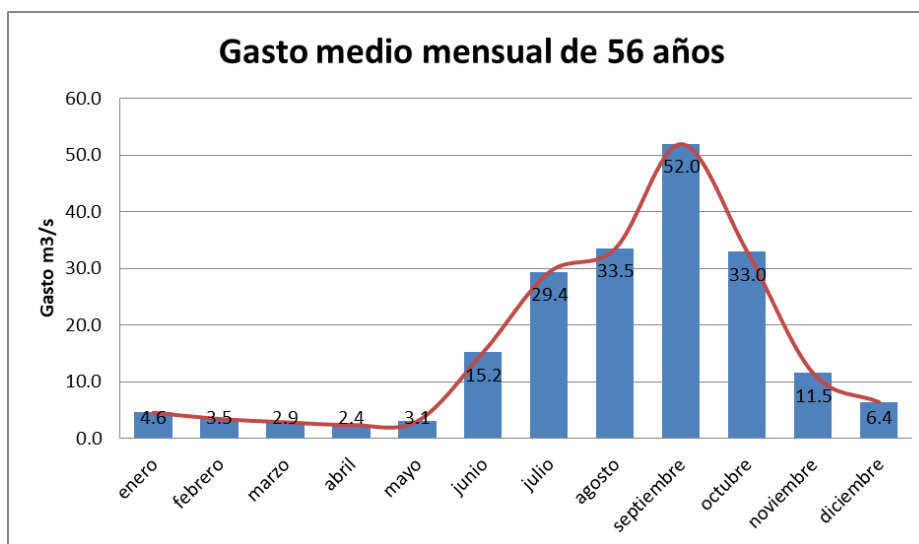
Analizando el evento para un **periodo de retorno de 100 años** podemos esperar una temporada de **estiaje de 112 días**, iniciando el **20 de febrero** con una fecha de **término del 10 de junio** presentado un **déficit de 4 631 368 m<sup>3</sup>** y un **gasto de déficit de 0.48 m<sup>3</sup> /s**. Por lo cual podemos garantizar un **gasto disponible de 1.58 m<sup>3</sup> /s**.

$$Q \text{ disponible} = Q_{90} - Q \text{ déficit}$$

$$1.58 \text{ m}^3/\text{s} = 2.061 \text{ m}^3/\text{s} - 0.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

Al graficar los gastos medios mensuales en el periodo de 1952-2007, se observa que efectivamente en esos meses el caudal medio se encuentra en los valores más bajos. (Grafica 4.5). Lo cual permite garantizar un gasto de **1.58 m<sup>3</sup> /s** durante todo el año.

Ante este fenómeno observamos que la sequía hidrológica no forma parte de las prioridades dentro del análisis integral de la cuenca.



Grafica 4.5  
Gastos medios  
(m<sup>3</sup>/s) en el  
periodo de  
1952-2007

### 4.3 ANÁLISIS DE GASTOS MÍNIMOS ANUALES

El análisis de frecuencia de gastos mínimos anuales es de gran importancia para el análisis de plantas de tratamiento, de plantas hidroeléctricas, para proyectos de irrigación y la construcción de embalses.

En este análisis interesa conocer la probabilidad de ocurrencia  $F(x)$  de que una sequía anual  $X$  sea menor o igual que un determinado valor fijo  $X$  llamada la sequía de diseño.

La probabilidad de ocurrencia  $F(x)$  se determina con base en los registros de gastos mínimos anuales obtenidos de  $n$  años de observación. Se supone que estos  $n$  valores son una muestra de una población infinita de gastos mínimos que pueden tener duraciones de 1, 3, 7, 14, 30, 60, 90 y 180 días consecutivos.

El escurrimiento mínimo anual, o la descarga mínima diaria en el año, el cual es un indicador de la severidad de la sequía experimentada en el año, se obtienen:

$$Q_v = \min [Q_{v,i}] \text{ para } i = 1,2,3,\dots 365 \text{ días ; } v = 1,2,3,\dots n \text{ años.}$$

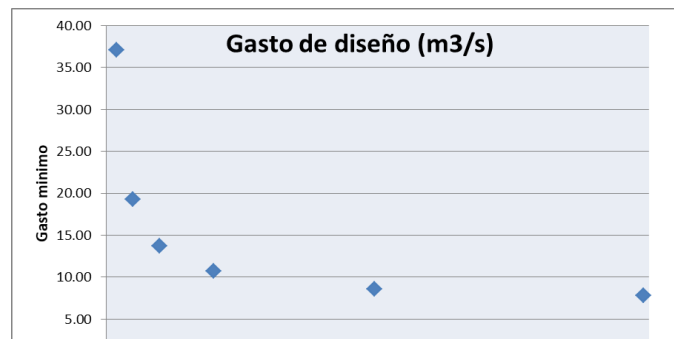
Aunque no se representa la duración de la mayor intensidad de la sequía, el escurrimiento mínimo anual ofrece una medida significativa de la dependencia del río al suministro de agua.

Para el análisis de frecuencia se debe ajustar las distribuciones para mínimos. Considerando ahora la probabilidad de excedencia.

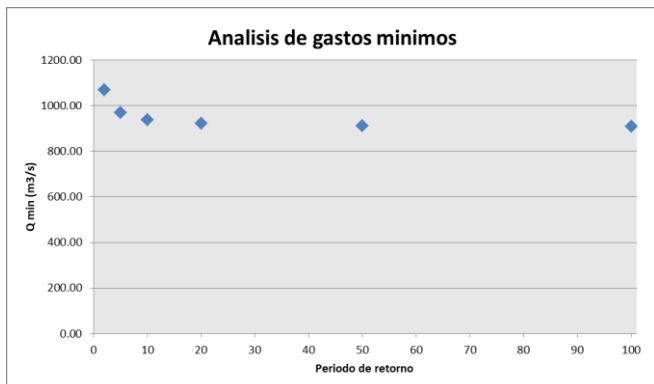
El realizar cualquier análisis de frecuencia para datos mínimos la tendencia de la gráfica será hacia los valores de 0(cero); al analizar los gastos mínimos anuales de forma sistemática con la sequía hidrológica se llega a la conclusión que no es una prioridad a atender dentro de la cuenca como se muestra en las gráficas de gastos mínimos anuales con diferentes duraciones.



Análisis de frecuencia para Gasto mínimo anual diarios.



Análisis de frecuencia para 7 días consecutivos de gastos mínimos anuales



Análisis de frecuencia para 180 días consecutivos de gastos mínimos anuales

Uno de los indicadores que más aportan a la investigación es el cálculo del caudal ecológico.



### 4.3.1 CAUDAL ECOLÓGICO

El concepto de caudal ecológico ha surgido a partir de la inquietud de definir un caudal mínimo que garantice condiciones de calidad, duración y estacionalidad para mantener los ecosistemas acuáticos y los humedales garantizando su funcionamiento. El caudal ecológico o ambiental ha sido altamente estudiado y por ello se logra identificar que existen múltiples metodologías para su definición, desde la hidrología, la hidráulica hasta los enfoques ecológicos que incluyen criterios de calidad del agua y parámetros hidrobiológicos.

Para la definición del caudal ecológico en el presente estudio Se adoptó el índice 7Q10 que representa el gasto promedio consecutivo de 7 días con un periodo de retorno de 10 años. Previamente habíamos calculado el gasto de déficit y conocido el gasto disponible dentro del río, al agregarle el gasto ecológico podríamos tener un gasto demandado para futuros proyectos (Figura 10).

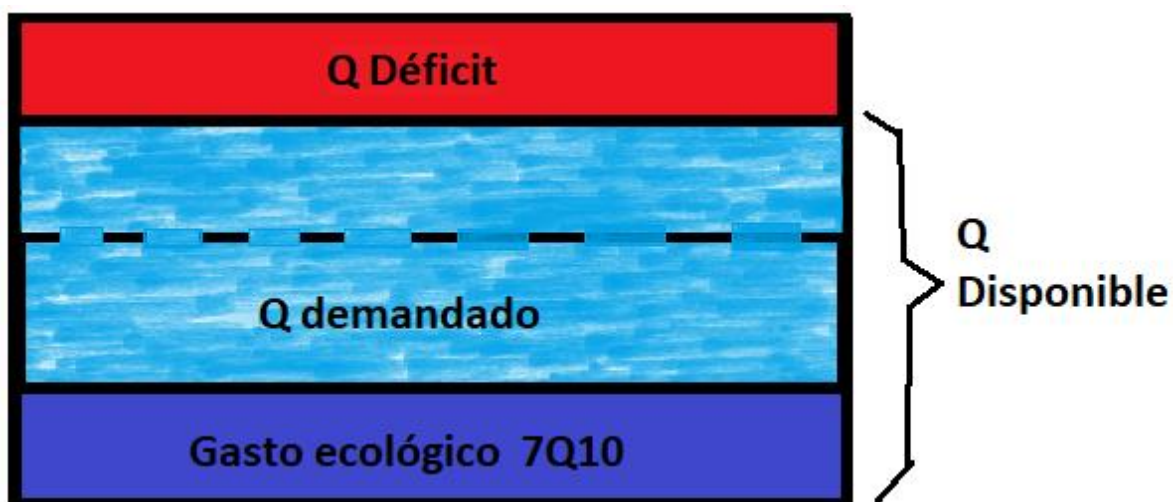


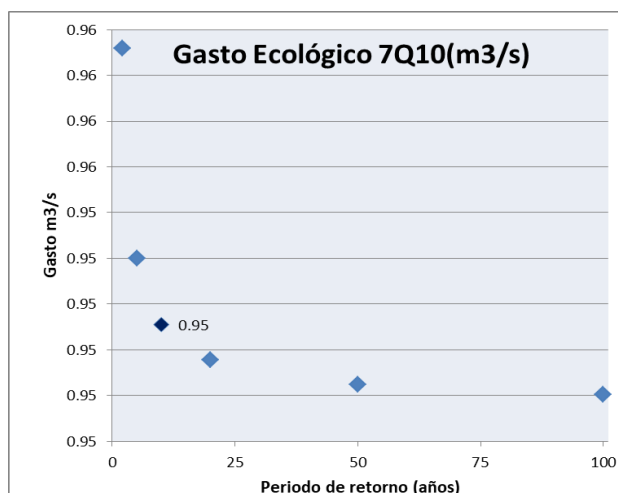
Figura 10. Gastos que se presentan en el río de la cuenca  
Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de los gastos calculados.

A continuación se muestra la tabla 15 y la Gráfica 5 correspondiente al gasto promedio consecutivo de 7 días para diferentes periodos de retorno.

Tabla 15. Obtención del 7Q10 por la distribución Weibull III ( $\alpha = 1.29$ ;  $\gamma=0.94$ ;  $\beta = 0.96$ )

Gasto Ecológico 7Q10 (Weibull)		
T(años)	F(x)	m3/s
2	0.5	0.96
5	0.2	0.95
10	0.1	0.95
20	0.05	0.95
50	0.02	0.95
100	0.01	0.95

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de la distribución Weibull



Gráfica 5. Gasto promedio consecutivo para diferentes periodos de retorno.

$$Q \text{ demandado} = Q_{90} - Q_{\text{déficit}} - Q_{\text{ecológico}}$$

$$0.631 \text{ m}^3/\text{s} = 2.061 \text{ m}^3/\text{s} - 0.46 \text{ m}^3/\text{s} - 0.97 \text{ m}^3/\text{s}$$

El hombre utiliza grandes cantidades de agua para sus actividades cotidianas (beber, cocinar, lavar, etc.) pero mucha más para producir alimentos, papel, ropa y demás productos que consume.

La producción de algunos alimentos demanda mayor cantidad de agua que otros, mientras que algunos productos industrializados, como el papel, pueden requerir el empleo de gran cantidad de agua para su producción. A la cantidad de agua empleada en la producción de cada producto se le denomina contenido virtual de agua.

El Q demandado permite establecer un gasto disponible para estas operaciones.

## 4.5 DISPONIBILIDAD DE AGUA

Debido a la importancia del agua como recurso que puede ser limitante para el desarrollo económico y social de los países, en los últimos años se han intensificado el estudio de la cuantificación de la disponibilidad del líquido.

En México dos tercios de su territorio son áridos o semiáridos, estas zonas se concentran el 77% de la población, pero se genera el 28% del escurrimiento y se produce el 84% del producto interno bruto. Esta situación propicia la competencia por el agua, contaminación del recurso y sobreexplotación de los acuíferos (107 de los existentes en el país). La disponibilidad per cápita es de 4900m<sup>3</sup> al año, 40% menos que Estados Unidos y 14% de la disponibilidad de Canadá.

Las cifras per cápita sobre disponibilidad de agua presentan un cuadro engañoso. El agua disponible no está distribuida de manera equitativa en el mundo, ni se encuentra disponible durante todas las estaciones del año. En algunas ocasiones el agua no se encuentra en calidad ni en cantidad suficiente donde se requiere y en otra se tiene demasiada agua en sitios de poco desarrollo.

Se considera que la cifra de 100 l/hab/ día de agua dulce per cápita para uso personal es una estimación aproximada de la cantidad necesaria para un estándar de vida mínimo aceptable en los países de desarrollo, sin incluir los vasos para la agricultura e industria.

A medida que el mundo se vuelve predominantemente urbano y la agricultura depende cada vez más del riego, sería difícil para las ciudades satisfacer la demanda creciente de agua. En los países de desarrollo el rápido crecimiento

urbano ejerce tremenda presión en los sistemas de abastecimiento generalmente inadecuados:

Flakenmark establece una clasificación para definir el volumen per cápita disponible para los usos agrícola, industrial y doméstico de un país

Grado	Clave Disponibilidad	D(m <sup>3</sup> /hab/año)
Escasez extrema	EE	D<1000
Escasez crítica	EC	1000<D<1700
Disponibilidad Baja	DB	1700<D<5000
Disponibilidad Media	DM	5000<D<10000
Disponibilidad Alta	DA	D>10000

Un país experimenta “Estrés Hídrico” cuando el suministro anual desciende a menos de 1700m<sup>3</sup>/hab/año. Cuando desciende a niveles de 1700 a 1000m<sup>3</sup>/hab/año pueden preverse situaciones de escasez periódica o limitada de agua. Para valores <500 m<sup>3</sup>/hab/año los países experimentan escasez absoluta del agua, y una vez que se da esto último puede esperarse una escasez crónica que amenace la producción de alimentos, obstaculice el desarrollo económico y dañe los ecosistemas.

Para obtener el valor de disponibilidad de agua en m<sup>3</sup>/hab/año se obtiene previamente la lluvia disponible en la zona de estudio, con ese valor y el dato del área de estudio se obtiene el volumen y finalmente se divide entre la población en estudio.

- I.  $hp \text{ disponible} = \text{Lluvia} - \text{Evapotranspiración}$
- II.  $hp \text{ disponible (m)} * \text{Área (m}^2) = \text{Volumen (m}^3)$
- III.  $\text{Volumen (m}^3) / \text{Población (habitantes)} = \text{m}^3 \text{ per cápita}$

#### 4.5.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración.

La **evaporación** es el fenómeno físico en la que el agua pasa del estado líquido a vapor. La evaporación se produce desde:

- a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación
- b) Desde las superficies de agua (ríos, lagos y embalses).
- c) Desde el suelo, el agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial de suelo. Puede tratarse de agua recién infiltrada o en áreas de descarga o agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

La **transpiración** es el fenómeno biológico por el cual las plantas pierden agua a la atmósfera, toman agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto la transpiran.

Para un hidrólogo el interés de la ET se concentra en la cuantificación de los recursos hídricos de una zona. **Lo que llueve menos lo que evapotranspira será el “volumen de agua disponible”.**

La ET se estudia principalmente en el campo de las ciencias agronómicas, donde la ET se considera pensando en las necesidades hídricas de los cultivos para su correcto desarrollo.

En las ciencias agronómicas “Uso consultivo” engloba la ET y el agua que la planta se queda para su crecimiento que es proporcionalmente muy poca. Por tanto, cuantitativamente son conceptos equivalentes. La unidad de medida de la ET es (mm).

Los factores que influyen en la evapotranspiración son:

- a) Radiación solar
- b) Temperatura
- c) Humedad
- d) Presión atmosférica
- e) Viento

Thornthwaite denominó evapotranspiración potencial, (ETP) a la evapotranspiración que se producirá si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. Por el contrario, la evapotranspiración real (ETR) es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

$ETR < ETP$ .

Para el proyecto calcularemos la ETR en base en la fórmula de TURC.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{donde:}$$

ETR= evaporación real en mm/año  
P=precipitación en mm/año  
 $L=300+25t+0,005t^3$  (4.6)  
T=temperatura media anual en °C

Anualmente México recibe aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.3% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos.<sup>3</sup> Tomando en cuenta los lujos de salida (exportaciones) y de

entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país cuenta anualmente con 446 777 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (INEGI 2016).

En el periodo analizado de 1980 a 2010 la evapotranspiración promedio de las estaciones en estudio es **ETR = 82%**.

Analizando el año 2010 la precipitación anual fue de 1161.87mm y la temperatura promedio anual fue de 24.17°C, con la fórmula de Turc obtenemos el valor de la evapotranspiración de 974.84mm correspondiente a un 84%.

I.  $hp \text{ disponible} = \text{Lluvia} - \text{Evapotranspiración}$

a.  $1161.87\text{mm} - 974.84\text{mm} = 187.03\text{mm}$

El volumen total de agua en la cuenca bastará con multiplicar la hp disponible en metros por el área de la cuenca.

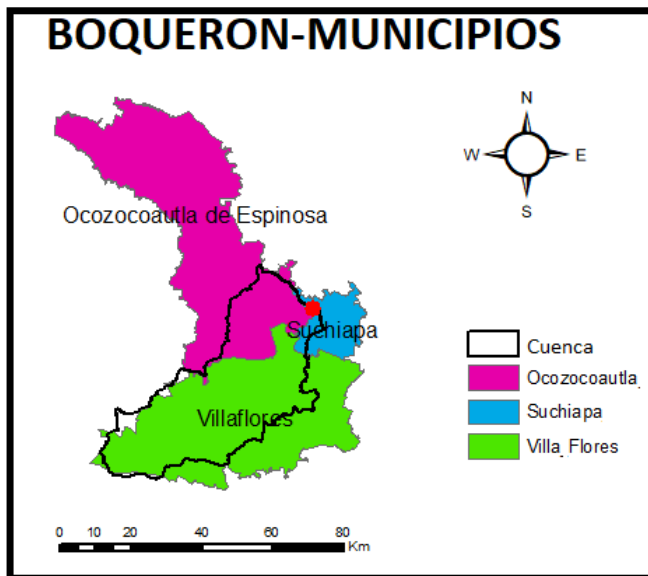
II.  $hp \text{ disponible (m)} * \text{Área (m}^2) = \text{Volumen (m}^3)$

b.  $0.187(\text{m}) * 1705821624 (\text{m}^2) = 319041657(\text{m}^3)$

Por último se consulta el dato de la población en la zona de estudio en base a los censos de población de INEGI como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. El porcentaje de superficie de cada municipio dentro de la cuenca y la población correspondiente del periodo de 1980-2015.

Año	Chiapas	Villa Flores	Suchiapa	Ocozocoautla	Población Cuenca estudio
1980	2084717	51096	7837	24678	43516
1990	3210496	73207	12293	47954	65318
1995	3584786	79925	14046	58705	72812
2000	3920892	85957	15890	65673	78925
2005	4293459	93023	18406	72426	85769
2010	4796580	98618	21045	82059	92208
2015	5217908	104833	24049	92103	99211
2020	5568648				111373
2025	5861450				117229
2030	6129218				122584



Fuente: INEGI 2015

III. Volumen (m<sup>3</sup>) / Población (habitantes) = m<sup>3</sup> per cápita

$$c. 319041657(m^3) / 92208 \text{ (habitantes)} = 3460m^3/hab/año$$

Según la clasificación de Flakenmark el valor de 3460m<sup>3</sup>/hab/año es considerada una disponibilidad baja 1700 < D < 3460, este en el año 2010, en la tabla 17 podemos ver la disponibilidad m<sup>3</sup>/hab/año a lo largo del periodo de tiempo.



Tabla 17a. Parámetros que permiten obtener la disponibilidad de m<sup>3</sup> per cápita en el periodo correspondiente 1980-2010

Año	hp mm/año	temperatura media	L	ETR (mm/año)	%ETR
1980	1179.8729	24.6910199	1669.9152	997.45676	0.8453934
1981	1363.6295	25.0123134	1707.7128	1099.6934	0.8064459
1982	1107.403	25.2606948	1737.4632	968.93491	0.8749614
1983	1128.0072	25.2898686	1740.9882	981.88233	0.8704575
1984	1134.3063	24.5860699	1657.7348	969.74087	0.8549197
1985	947.11655	25.1615471	1725.5318	864.13676	0.9123869
1986	1216.4754	24.5023911	1648.0813	1012.0388	0.8319435
1987	938.32328	24.2356625	1617.6534	843.8444	0.899311
1988	1226.6683	23.9366001	1584.1517	1001.7044	0.8166058
1989	1356.9935	23.4605019	1532.1399	1045.5631	0.7704997
1990	1278.0482	24.0373112	1595.3615	1029.2908	0.8053615
1991	1128.016	24.6934033	1670.1927	968.64166	0.8587127
1992	947.8798	24.5065429	1648.5591	854.46747	0.9014513
1993	1173.537	24.9436984	1699.5761	1000.1508	0.8522533
1994	1099.0672	25.080874	1715.8783	960.15854	0.8736122
1995	1072.9458	25.3439433	1747.5389	949.48512	0.884933
1996	1511.7204	24.8044094	1683.1667	1157.1733	0.7654678
1997	1137.8689	25.1208815	1720.6596	983.95524	0.8647352
1998	1215.3534	25.1928479	1729.2905	1029.3935	0.8469911
1999	1386.5669	25.2153582	1731.9982	1117.0029	0.805589
2000	1403.1442	25.3106158	1743.4989	1127.8765	0.8038208
2001	1855.1806	25.2800397	1739.7999	1299.8312	0.7006494
2002	1577.8738	25.8831208	1814.0797	1225.9459	0.7769607
2003	2054.5206	25.511737	1768.0075	1369.5678	0.6666119
2004	1279.3272	24.7948093	1682.0411	1052.1401	0.8224167
2005	1132.0504	25.0199011	1708.6147	978.31557	0.8641979
2006	1505.6398	24.5998068	1659.3244	1146.9263	0.7617535
2007	1425.1522	24.5509871	1653.6812	1111.9388	0.7802246
2008	1517.5477	23.700229	1558.1277	1116.1486	0.7354949
2009	1268.8894	24.2009288	1613.7292	1029.7875	0.811566
2010	1161.8702	24.1714808	1610.4091	974.83912	0.8390258

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de los registros del CLICOM

Tabla 17b. Parámetros que permiten obtener la disponibilidad de m<sup>3</sup> per cápita en el periodo correspondiente 1980-2010

Año	hp disponible mm	hp disponible m	Volumen m <sup>3</sup>	Población	m <sup>3</sup> per cápita
1980	182.41618	0.1824162	311169472	43516.194	7150.6592
1981	263.93606	0.2639361	450227845	45696.4	9852.5889
1982	138.46809	0.1384681	236201867	47876.6	4933.5556
1983	146.12483	0.1461248	249262892	50056.8	4979.601
1984	164.56547	0.1645655	280719331	52237	5373.9558
1985	82.979792	0.0829798	141548723	54417.2	2601.1762
1986	204.43665	0.2044367	348732461	56597.4	6161.6339
1987	94.478876	0.0944789	161164109	58777.6	2741.9308
1988	224.96385	0.2249639	383748202	60957.8	6295.3092
1989	311.43043	0.3114304	531244771	63138	8414.026
1990	248.75739	0.2487574	424335741	63138	6720.7663
1991	159.37438	0.1593744	271864269	65072.8	4177.848
1992	93.412335	0.0934123	159344781	67007.7	2378.007
1993	173.38618	0.1733862	295765903	68942.6	4290.0312
1994	138.90866	0.1389087	236953399	70877.5	3343.1399
1995	123.46068	0.1234607	210601891	72812.351	2892.3924
1996	354.5471	0.3545471	604794116	74035	8169.0297
1997	153.91366	0.1539137	262549257	75257.5	3488.679
1998	185.95991	0.1859599	317214433	76480	4147.6783
1999	269.56391	0.2695639	459827948	77702.5	5917.8012
2000	275.26766	0.2752677	469557527	78924.973	5949.4164
2001	555.34939	0.5553494	947326992	80293.6	11798.288
2002	351.92786	0.3519279	600326157	81662.4	7351.3166
2003	684.95282	0.6849528	1168407328	83031.2	14071.907
2004	227.18711	0.2271871	387540691	84400	4591.7144
2005	153.73483	0.1537348	262244201	85768.9	3057.5675
2006	358.71347	0.3587135	611901202	87056.8	7028.7583
2007	313.21343	0.3132134	534286241	88344.7	6047.7453
2008	401.39908	0.4013991	684715238	89632.6	7639.1317
2009	239.10188	0.2391019	407865150	90920.5	4485.9537
2010	187.03108	0.1870311	319041657	92208.262	3460.0116

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de los registros del CLICOM

El análisis no termina ahí, con la información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) proyectaremos la población hasta el año 2030 que es la información actual disponible con la que cuenta CONAPO. Así mismo con un análisis de frecuencia podemos obtener los valores para diferentes periodos de retorno correspondientes a los proyectados de la población, en este caso serían la lluvia anual y la temperatura promedio anual. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 18.

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>m3 per cápita</b>
1980	43516	9853
1990	63138	6721
1995	74035	8169
2000	80294	11798
2005	87057	7029
2010	92208	3460
2015	99211	5104
2020	111272	5484
2025	117123	5727
2030	122474	5828

Tabla 18. Volumen/hab/año en un registro que inicia en el 1980 con una proyección hasta el año 2030

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de los registros de INEGI y CLICOM

El análisis de agua disponible en la región indica que, a pesar del continuo crecimiento urbano, existe la disponibilidad ahora y en un futuro, por lo cual no es una prioridad para atender por parte de la región a pesar de esto el agua disponible no debe interpretarse como utilizable para consumo humano, ya que una parte del líquido es necesaria para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, como ríos y lagos, caso que se analizó en el gasto disponible y el caudal ecológico.

## **4.6 INUNDACIONES**

Se entiende por inundación aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración del agua en sitios donde usualmente, no la hay y que genera daños a la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

El crecimiento poblacional y el desarrollo urbano causan severos daños por efecto de inundaciones en las ciudades, por lo que las estructuras de drenaje pluvial juegan un papel importante para su manejo.

En particular, la construcción de casas, edificios, estacionamientos, centros comerciales, caminos, incrementan la cubierta impermeable en una cuenca y reducen la infiltración. Además, la variación en el patrón de precipitaciones puede reducir en el mediano plazo las condiciones de diseño de drenajes pluviales.

Estas consideraciones deben tenerse en cuenta para el diseño de los sistemas de drenaje pluvial.

El sistema de alcantarillado pluvial es una red de tuberías utilizada para conducir el escurrimiento de una tormenta, a través de la ciudad. El diseño involucra la determinación del diámetro, pendientes, elevaciones de clave para cada uno de los tubos.

EL diseño se puede dividir en dos partes: predicción del caudal y dimensionamiento del sistema.

#### 4.6.1 FORMULA RACIONAL

Hipótesis fundamental: una lluvia constante y uniforme que cae sobre la cuenca de estudio, producirá un gasto de descarga el cual alcanza su valor máximo cuando todos los puntos de la cuenca están contribuyendo al mismo tiempo en el punto de diseño.

La hipótesis se satisface para un lapso de tiempo, denominado tiempo de concentración “ $t_c$ ” definido como el tiempo que tarda el agua en fluir desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de aforo o de estudio.

El gasto pico o máximo se define con la expresión:

$$Q_p = 0.278 C i A \quad (4.7)$$

Dónde:

$Q_p$  Gasto máximo [m<sup>3</sup>/s]

$C$  Coeficiente de escurrimiento

$i$  Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, [mm/h]

$A$  Área de la cuenca drenada [km<sup>2</sup>]

#### 4.6.2 CURVAS I D T

Las curvas Intensidad – Duración – Periodo de retorno, son una de las herramientas más útiles para el diseño hidrológico de caudales máximos, cuando se utilizan modelos lluvia-escorrentía como los hidrogramas unitarios.

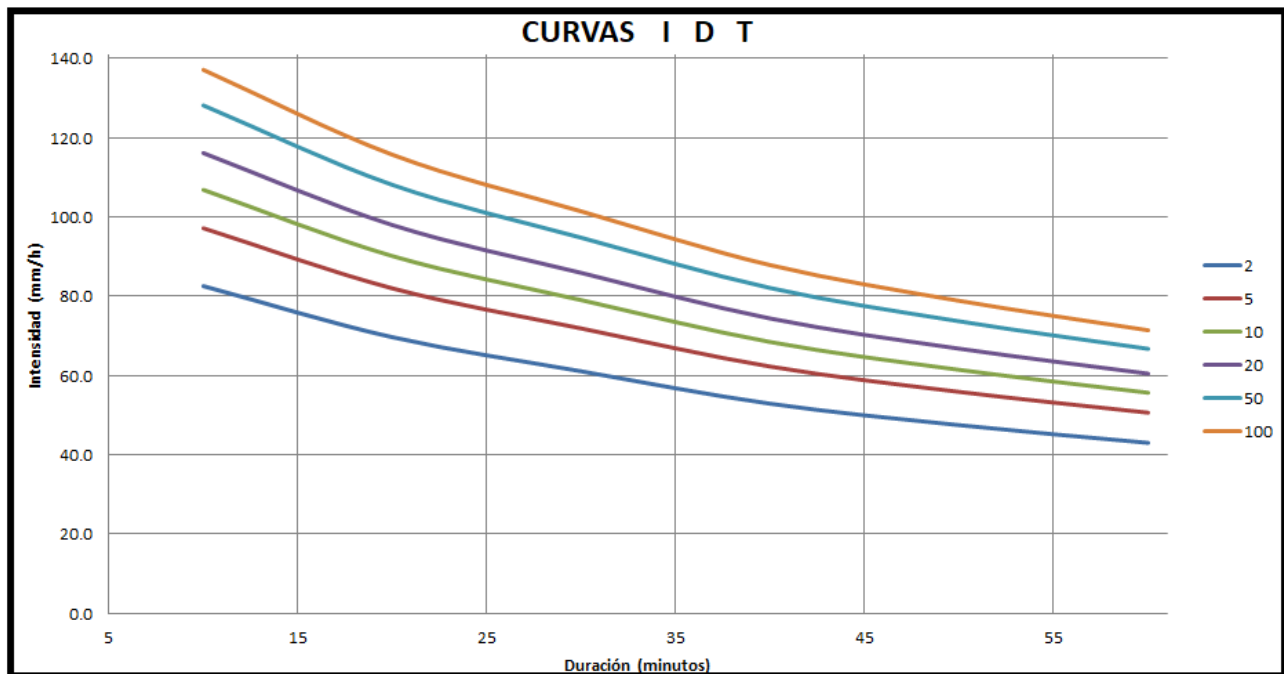
Es así como un gran número de proyectos hidrológicos, como el diseño de evacuadores de crecidas, construcción de puentes, construcción de redes de drenaje, entre otros, se define en relación con la máxima precipitación que se

podría esperar para un determinado período de retorno. A partir de estos eventos extremos, se fijan las dimensiones del proyecto y se establecen los criterios de predicción y de riesgo.

Por otra parte, las curvas IDT son de gran ayuda en la construcción de obras de control de erosión y recuperación de suelos degradados. En obras como zanjas de infiltración, canales de desviación, diques de postes, gaviones y otras destinadas al control de cárcavas y procesos erosivos en laderas, se hace necesario conocer los máximos valores de intensidades de precipitación que se pueden alcanzar, con el fin de dimensionar dichas obras.

Para el caso del proyecto se tomó en cuenta el proyecto realizado en la materia de Hidrología Urbana impartida por el Doctor Carlos Agustín Escalante Sandoval, donde se toman los resultados obtenidos durante el curso y la aplicación del software HEC-HMS que permite establecer la relación buscada entre lluvia y escurrimiento.

En la gráfica 6 se muestran las curvas IDT generadas con las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno. Así mismo en la Figura 11 se muestra la calibración del programa con las lluvias registradas en las estaciones climatológicas y la estación hidrométrica aguas abajo “El Boquerón”.



Grafica 6. Curvas I D T para diferentes periodos de retorno

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Total Inflow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
20sep2010	00:00	0.0	0.0	
21sep2010	00:00	0.0	0.0	123.6
22sep2010	00:00	29.3	29.3	117.2
23sep2010	00:00	129.1	129.1	139.1
24sep2010	00:00	98.0	98.0	148.7
25sep2010	00:00	35.3	35.3	118.2
26sep2010	00:00	172.9	172.9	105.0
27sep2010	00:00	812.5	812.5	406.0
28sep2010	00:00	978.0	978.0	841.6
29sep2010	00:00	534.3	534.3	1035.1
30sep2010	00:00	283.2	283.2	684.5
01oct2010	00:00	118.9	118.9	518.6
02oct2010	00:00	32.0	32.0	382.0
03oct2010	00:00	8.0	8.0	307.5
04oct2010	00:00	1.7	1.7	252.8
05oct2010	00:00	0.4	0.4	215.5
06oct2010	00:00	0.0	0.0	192.2
07oct2010	00:00	0.0	0.0	174.9
08oct2010	00:00	0.0	0.0	159.4
09oct2010	00:00	0.0	0.0	146.7
10oct2010	00:00	0.0	0.0	137.1

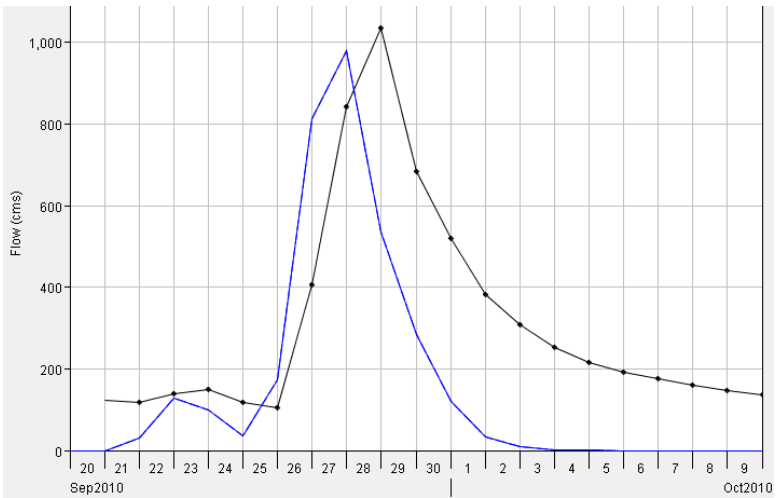
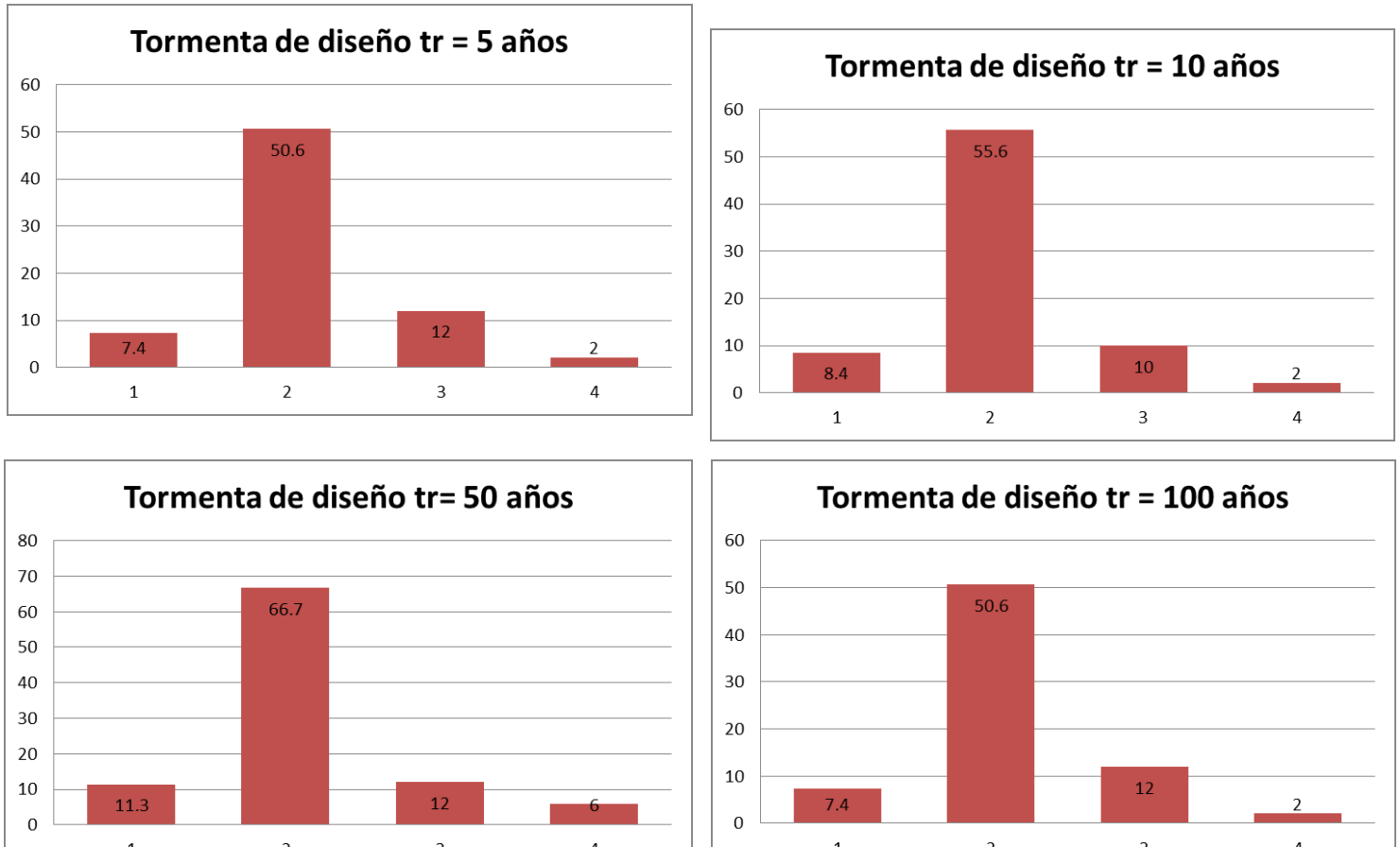


Figura 11. Modelo calibrado de una tormenta registrada en el año 2010 entre el 20 de septiembre y 10 de octubre  
Fuente: Elaboración propia usando HEC-HMS

A partir de estos resultados se procede a calcular las tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno, como se muestran en las siguientes graficas (Grafica 7).



Grafica 7. Tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno

Sin duda las inundaciones son de gran importancia para la zona de estudio, el análisis de cambio climático indicó una tendencia creciente en la lluvia acumulada y esto se ve reflejado en el año 2010 en el periodo 20 de septiembre al 10 de octubre, donde el nivel máximo de gasto registrado fue de  $543\text{m}^3/\text{s}$  (Figura 11.2) un registro que para el análisis de gastos máximos se presentaba con un periodo de retorno de 20 años. (Figura 11.1)



T	F(x)	1-F(x)	V	UT	Xt Max Ver m3/s	Parámetros de GVE Max Verosimilitud	
2	0.5	0.5	1.18	0	178	$\beta$	-0.301
5	0.2	0.8	1.79	0.84	292	$\alpha$	75.346
10	0.1	0.9	2.15	1.28	391	$\mu$	148.573
20	0.05	0.95	2.45	1.65	511		
50	0.02	0.98	2.8	2.05	709		
100	0.01	0.99	3.03	2.33	899		
200	0.005	0.995	3.26	2.58	1132		
500	0.002	0.998	3.53	2.88	1526		
1000	0.001	0.999	3.72	3.09	1904		
2000	0.0005	0.9995	3.9	3.29	2370		
5000	0.0002	0.9998	4.13	3.54	3157		
10000	0.0001	0.9999	4.29	3.72	3914		

Figura 11.1 Análisis de frecuencia para gastos máximos para la estación Boquerón de 2 a 10000 años de periodo de retorno.

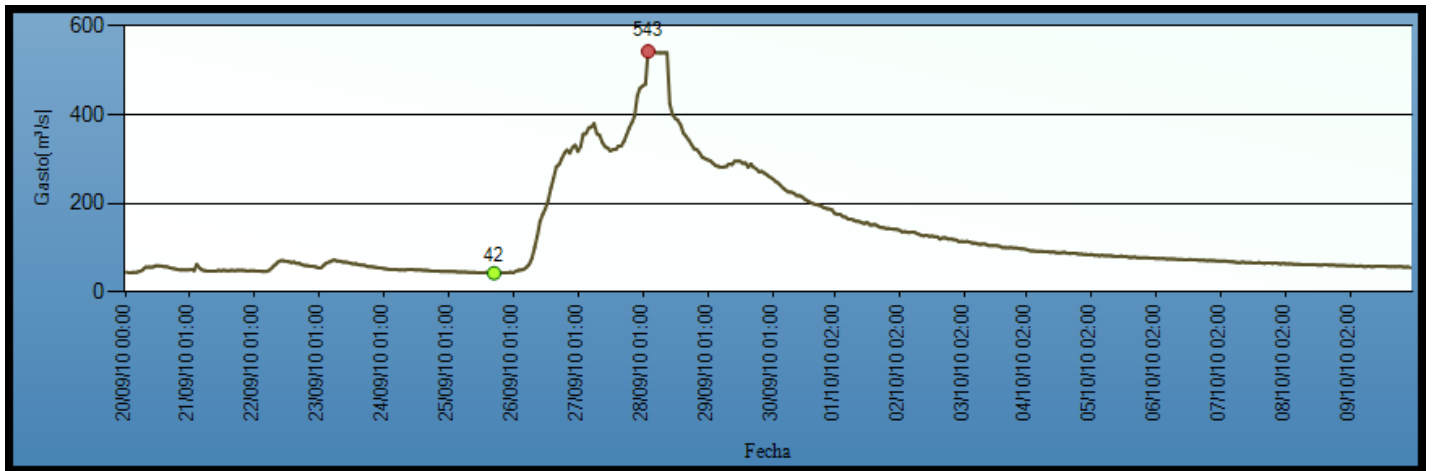


Figura 11.2 Gasto máximo registrado 542m3/s en el año 2010; periodo 20 de septiembre al 10 de octubre.

Fuente: Comisión Federal de Electricidad (Monitoreo de Cuencas).

#### 4.6.3 INUNDACIONES MONITOREO ACTUAL

Hemos detectado un problema de gran magnitud que está afectando a la cuenca, el incremento en la lluvia incide directamente en las inundaciones que puedan ocurrir en la zona de estudio.

En la actualidad existe un monitoreo constante en la cuenca “El Boquerón” perteneciente a la Cuenca Chicoasen (Figura 12) por parte de la CFE, la cuenca el Boquerón cuenta con 4 estaciones climatológicas y una hidrométrica (Figura 13).



Figura 12. Cuenca Chicoasen.

Fuente: Departamento de hidrometeorología CFE

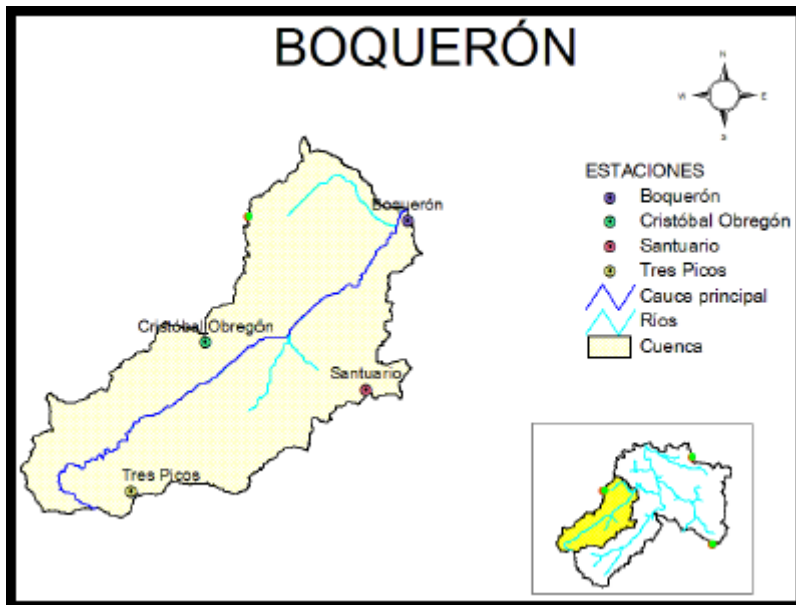


Figura 13. Cuenca Boquerón, cauce principal, ríos y estaciones climatológicas e hidrométricas dentro de la cuenca.

Cada una de las estaciones cuenta con información horaria de las siguientes variables climatológicas:

- Precipitación pluvial (mm)
- Velocidad de viento (m/s)
- Temperatura ambiente (°C)
- Humedad relativa (%)
- Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)
- Presión atmosférica (mb)

Un aspecto de particular preocupación como lo hemos notado es la tenencia al incremento de los daños potenciales por inundaciones, derivados de os factores principalmente ;) la creciente ocupación de zonas de riesgo por poblaciones de escasos recursos ii) la continua disminución en la superficie forestal en las zonas de ladera, que provoca una mayor concentración del escurrimiento de agua en menor tiempo.

#### 4.6.4 ANÁLISIS DE HELADAS

La agricultura es un sector productivo que constantemente se ve afectado por fenómenos meteorológicos, entre ellos se encuentran las heladas que pueden causar daños parciales o totales a los cultivos.

Los registros requeridos para su análisis son las temperaturas mínimas y se considera como helada aquellos eventos con temperaturas menores a 0°C.

Los registros pueden presentar ocurrencias cero, ya que este fenómeno no se presenta todos los años, por lo que al analizarlo se debe utilizar la función mixta:

$$H(x) = p + q F(x) \quad (4.8)$$

Donde “p” es la probabilidad de tener ceros en el registro y “q” = (1-p) es la probabilidad de los no ceros.

Las distribuciones aplicadas son:

\*Normal    \*Log normal    \*Gamma 2    \*Gumbel

Existen 2 tipos de heladas, las tempranas y las tardías de primavera. Para establecer la ocurrencia de las heladas se establece el criterio:

La numeración de las heladas tempranas empieza con el número 122 e inicia el primero de septiembre (1/sep) y decrece hasta el número 1 en el treinta y uno de diciembre (31/dic). Las heladas tardías empiezan el primero de enero (1/ene) con el número 1 y termina el dos de mayo (2/may) con el 122.

Para la zona de estudio las heladas es un fenómeno que no se presenta en la región, esto se entiende conociendo el clima de Chiapas donde más de la mitad de su territorio, el 54%, presenta clima Cálido húmedo, el 40% clima

Cálido subhúmedo, el 3% Templado húmedo y el 3% restante tiene clima Templado subhúmedo.

La temperatura media anual, varía dependiendo de la región, de 18°C en los Altos de Chiapas, a 28°C en la Llanura Costeña. La **temperatura promedio** más alta es de 30°C y la **mínima de 17.5°C**.

Al no afectar este fenómeno en la región es de suma importancia analizar el otro extremo que son las Olas de calor.

#### **4.7 OLAS DE CALOR**

Este tipo de efectos extremos son menos estudiados ya que sus efectos causan menos daños que otros, tal y como las inundaciones. Sin embargo, en los últimos años se han incrementado las temperaturas máximas.

Los criterios de análisis dependen de dos tipos de umbrales: absoluto y relativo.

En el **absoluto** se propone un valor fijo de la temperatura máxima y si se excede este número determinado de días se tiene una ola de calor.

Los umbrales **relativos** se basan en criterio estadístico basado en el percentil 90 o 95 de las series de temperatura máxima y mínima. Los criterios de días consecutivos varía de 2 a 5, dependiendo de la valoración de los impactos.

En general, una ola de calor se define como “Fenómeno meteorológico extremo en donde se presenta una anomalía de temperaturas extremas en cierto periodo de días consecutivos, sin atender a otras condiciones climáticas y sociales de forma profunda”.

Los parámetros a evaluar son:

- 1) Fecha de inicio
- 2) Fecha de termino
- 3) Duración
- 4) Magnitud
- 5) Intensidad
- 6) Temperatura de alivio
- 7) Fecha de inicio
- 8) Fecha de termino
- 9) Duración
- 10) Magnitud
- 11) Intensidad
- 12) Temperatura de alivio
- 13) Numero de eventos por año
- 14) Duración promedio
- 15) Intensidad promedio
- 16) Duración máxima
- 17) Intensidad máxima
- 18) Mes y día más probable

Todo esto debe valorarse estadísticamente.

El proyecto toma en cuenta los umbrales relativos basados en el percentil 95 de las series de temperatura máxima y mínima. Es considerada una ola de calor si dos o más eventos de temperatura máxima están por arriba del valor del percentil 95 y por abajo del percentil 95 de la temperatura mínima.

Estación	Percentil 95	
	T.máx.	T.Min
Boquerón	38	14.5
El Progreso	35	14.5
Ocotlán	37	11.5
Ursulo	35.08	12.5

Cada una de las estaciones es valorada estadísticamente, obtendremos el número de eventos que hay por año eligiendo el de máxima intensidad de cada año y obteniendo los promedios y máximos de cada estación en estudio. Como se muestra a continuación:

En el periodo de 1980-2010 en la estación Boquerón se presentaron 149 eventos considerados olas de calor.

Boquerón	Intensidad	Evento	Inicio	Termino	Duración	Magnitud
Promedio	1.31	3.45	119	123	4.79	6.29
Máximo	1.58	8	154	159	12	19

En el periodo de 1980-2010 en la estación “El Progreso” se presentaron 107 eventos considerados olas de calor.

Progreso	Intensidad	Evento	Inicio	Termino	Duración	Magnitud
Promedio	1.42	3.14	118	122	5.47	7.75
Máximo	1.58	8	154	159	12	19

En el periodo de 1980-2010 en la estación “Finca Ocotlán” se presentaron 91 eventos considerados olas de calor.

Ocotlán	Intensidad	Evento	Inicio	Termino	Duración	Magnitud
Promedio	1.86	1.97	143	145	2.84	5.29
Máximo	1.6	16	352	353	10	16

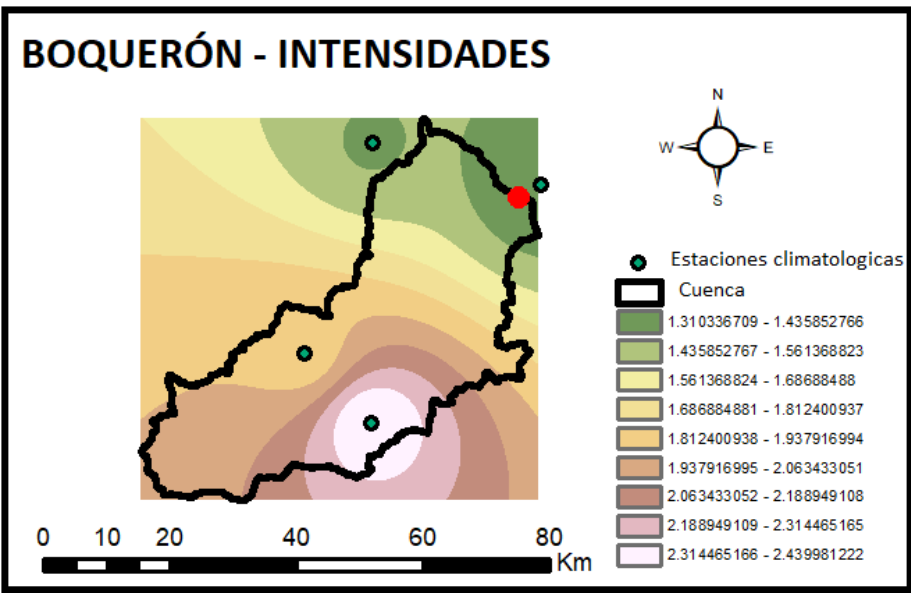
En el periodo de 1980-2010 en la estación “Ursulo Galván” se presentaron 97 eventos considerados olas de calor.

Ursulo	Intensidad	Evento	Inicio	Termino	Duración	Magnitud
Promedio	2.44	2.61	163	151	3.83	9.36
Máximo	2.97	13	366	359	19	56.48

En el mapa 3 y mapa 4 se muestran las intensidades y duraciones respectivamente que se presentan dentro de la cuenca de estudio.

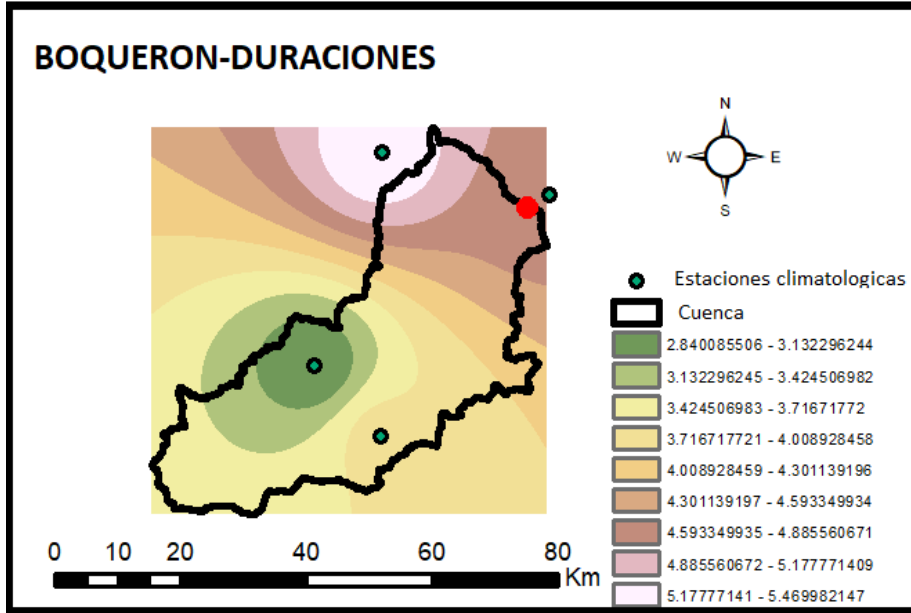


### BOQUERÓN - INTENSIDADES



Mapa 3. Mapa de intensidades promedio (°C/días) de las olas de calor presentadas dentro de la cuenca Boquerón

### BOQUERON-DURACIONES



Mapa 4. Mapa de duraciones promedio (Días) de las olas de calor presentadas dentro de la cuenca Boquerón

Las olas de calor se presentan de 3 a 4 veces en promedio al año, con una intensidad de 1.75°C /día y duraciones de 4 días, por lo cual, al no indicar una tendencia en las temperaturas, las olas de calor es un fenómeno que se seguirá presentado pero no es una prioridad por atender en la región.

#### 4.8 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS (USLE)

Para la estimación de la erosión se han desarrollado modelos cualitativos y cuantitativos.

Dentro de los modelos empíricos destaca la USLE. Su bondad depende del rigor con que sus componentes multiplicativos reproduzcan las condiciones del medio físico.

$$A = R K SL C P \quad (4.9)$$

A = (ton/ha) es la pérdida del suelo

R = (N/h) Factor que mide el potencial erosivo de la lluvia

K = (ton-h / N-ha) Factor que toma en cuenta el tipo de suelo

SL = Factor de longitud, pendiente del terreno (Adimensional)

C = Factor de cobertura vegetal (Adimensional)

P = Factor de práctica de cultivo y conservación de los suelos (Adimensional)

P = 1 si no existen prácticas de conservación en la zona. En la literatura se pueden encontrar diferencias en la estimación de la erosión de suelos A y el aporte de sedimentos AS.

El primero corresponde a la cuantificación del material sólido que se pone en movimiento debido a la erosión hídrica en un cierto periodo de tiempo.

En tanto que el segundo corresponde al material sólido real que aporta la cuenca en su salida, considerando el depósito, así:  $AS = DRA$  (4.10)

Dónde:

AS (ton/ha) es el aporte de sedimentos y

$$DR = 0.417662 \text{ Área}^{-0.134958} - 0.127097 \quad (4.11)$$

Área (millas cuadradas) es la superficie de la cuenca analizada

En particular para estimar “R” se emplean algunas ecuaciones regionales en función de la lluvia anual para diferentes zonas de la república mexicana. Un inconveniente que se observa de esta metodología es que abarcan grandes extensiones de superficie y no toman en cuenta la distribución espacial y temporal de la lluvia.

Por lo anterior se puede obtener una relación R-Hp24h de la forma siguiente:

Paso 1: En cada estación “EMA” se obtendrán las curvas masa de cada tormenta registrada en periodos de 24 horas.

Paso 2: Para cada tormenta se obtienen los valores de las intensidades  $I_j$  y el máximo  $I_{36}$  para intervalos  $T_j = 10$  min

Paso 3: Con los valores del paso 2 se obtiene para cada tormenta

Paso 4: Se genera una relación funcional entre el factor R y su hp24h.

La tasa máxima permisible de pérdidas de suelo es de 10 t/ha; mayores pérdidas significan degradación.

Para el caso de estudio, se tomaron los valores obtenidos de la EMA más cercana que corresponde a la llamada cañón de sumidero como se muestra en la siguiente figura (Figura 14):

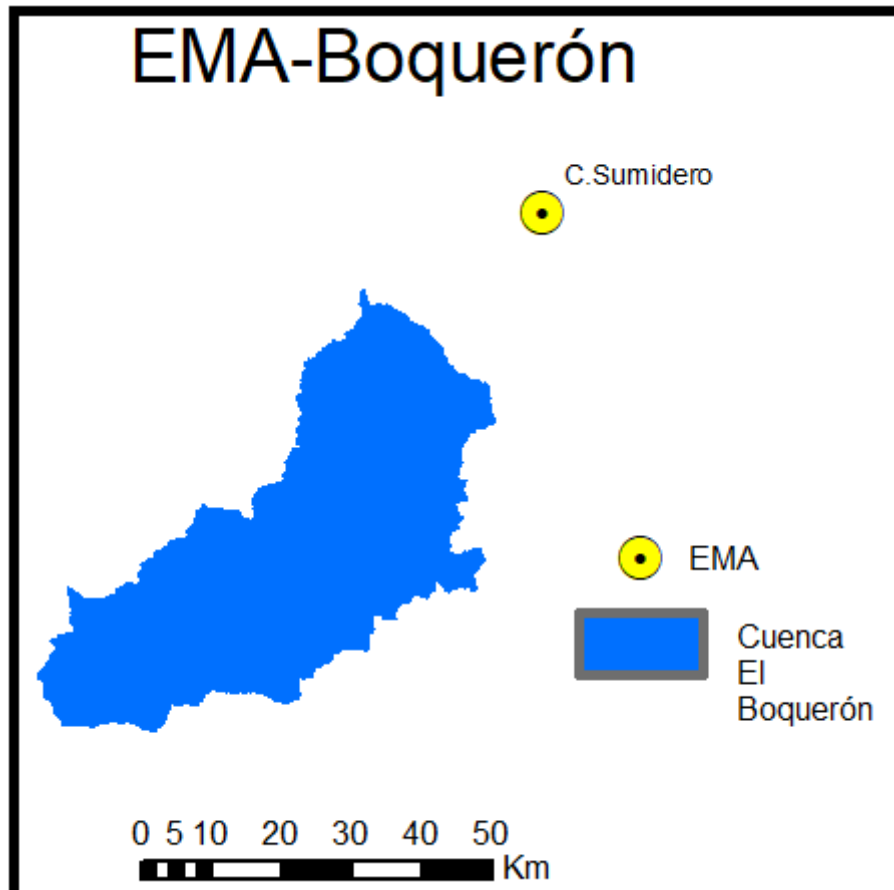


Figura 14. Estación meteorológica automática cuenca (EMA) cercana a la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia usando Arc Map 10.2.2

A partir de los registros de la estación obtendremos la relación funcional entre el factor R y su  $hp_{24h}$  (Figura 14.1).

N°	hp (mm)	R (N/h)
1	24.4	82022
2	30.2	90186
3	16.6	55244
4	24.8	82954
5	13.6	45847
6	29.2	95718
7	32.6	109493
8	25.8	86709
9	47.6	145752
10	31.4	68986
11	44.4	148453
12	40.4	108827
13	17.2	58609
14	20	67513
15	18.8	44886
16	26.4	87254
17	18.6	61366
18	40.2	125603
19	32	105084
20	20.6	49484
21	35.6	124809
22	33.4	101663
23	31.6	101069

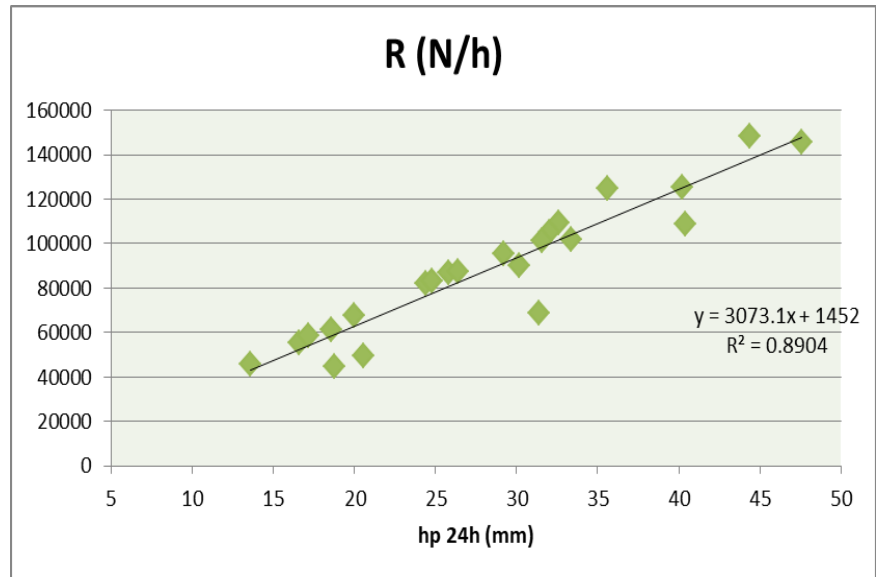


Figura 14.1 Relación funcional entre el factor R y su hp24h.

La EMA Cañón del Sumidero cuenta con un registro de solo dos años y muy incompleto el registro, por lo que tomar información de ella sirve para darnos una referencia de cómo se está comportando el potencial erosivo de la lluvia.

El potencial erosivo de la lluvia incide directamente en la fórmula de la obtención de la erosión de los suelos, entonces al haber identificado esto y con los análisis previos de tendencia creciente en las lluvias, el fenómeno de pérdidas de suelo es un aspecto que debemos atender de manera inmediata.

## Capítulo 5

### 5 ORGANISMOS OPERADORES

El artículo 4° de la constitución reconoce que toda persona tiene derecho al acceso, la disposición y el saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El estado debe garantizar este derecho de forma equitativa y sustentable y establece la participación de la federación, los estados y la ciudadanía para lograrlo. El artículo 27 señala, que las aguas son propiedad de la nación y sienta las bases para que el estado regule su aprovechamiento sostenible, con la participación de la ciudadanía y los 3 poderes del estado. Especifica que la explotación, el uso o aprovechamiento de los recursos se realizara mediante concesiones otorgadas por el ejecutivo con base en las leyes. El artículo 115 especifica que los municipios tienen a su cargo los servicios públicos de agua potable, drenaje y tratamiento y disposición de las aguas residuales.

A partir de que se incorporó el derecho humano al agua en el artículo 4° constitucional, está aún pendiente la discusión final de la ley general de aguas que lo normará.

No obstante, la normatividad existente, prevalecen problemas como los siguientes:

- a) Los hábitos y prácticas en el uso del agua que fomentan el “desperdicio”.
- b) La insuficiente capacidad de los municipios para satisfacer en calidad y cantidad los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- c) El rezago de tarifas y los subsidios que fomentan el desperdicio.

- d) La mala condición de la infraestructura.
- e) Una gestión centralizada que impide una visión integral de la cuenca, en la que se fomente la participación ciudadana.
- f) La concesión de volúmenes superiores a la disponibilidad y las extracciones ilegales no sancionadas.
- g) Los trasvases de cuenca a cuenca.
- h) La sobreexplotación de los acuíferos.
- i) La contaminación de los cuerpos de agua.

Debido a la deficiente gestión del agua, el crecimiento demográfico y la expansión de las actividades productivas, muchas localidades enfrentan el serio problema de tener cada vez menor disponibilidad de agua, que se agravan por las condiciones mencionadas en los incisos del a) al i).

En México, los servicios de agua potable estuvieron a cargo de los municipios, que eran organismos operadores “OO” para atender el abasto, alcantarillado, saneamiento y disposición son riesgos de las aguas residuales.

Algunos OO pertenecen al gobierno municipal y otros. Son concesiones parciales otorgadas por el municipio a empresas privadas con fines de lucro.

Las principales responsabilidades administrativas de los OO son:

- Administración financiera
- Gestión de recursos humanos
- Administración estratégica

- Administración y transparencia en la información

La infraestructura que permite operar los servicios OO es de dos tipos, la llamada gris que suele asociarse a grandes obras de la ingeniería civil, y la llamada verde que considera la lluvia y las cuencas hidrológicas – con sus bosques, ríos, lagos, acuíferos que proveen el agua y procesan algunos contaminantes.

Un OO debe considerarse en un entorno sistémico complejo de varias partes interconectadas, cuyos vínculos generan propiedades nuevas que no pueden explicarse con las propiedades nuevas que no pueden explicarse con las propiedades de cada elemento aislado. Estos sistemas son:

- a) Sistemas de planeación. - Orientado a la toma de decisiones permite al OO definir objetivos, establecer políticas y estrategias, formular planes y programas y controlar su ejecución.
- b) Sistema operacional. - Está relacionado con la administración de proyectos, la realización de obras para la conservación y operación de la infraestructura.
- c) Sistema de apoyo administrativo. - Quien establece las políticas, normas y procedimientos que organizan los recursos humanos del OO
- d) Sistema comercial. - Donde se realizan las actividades de promoción, venta y cobro de luz de servicios de OO
- e) Sistema financiero. - Quien instrumenta, las políticas y lineamientos para la ejecución, control y evaluación de operaciones financieras.

Funciones operativas de un OO.



El área de operación y mantenimiento tiene a su cargo las siguientes actividades:

- a) Ingeniería hidráulica y distribución
- b) Administración de fuentes de abastecimiento
- c) Mantenimiento de redes
- d) Alcantarillado
- e) Bacheo y maquinaria
- f) Monitoreo de presión y calidad del agua
- g) Monitoreo de red de alcantarillado
- h) Operación y mantenimiento de las plantas potabilizadoras y de tratamiento de agua residual.
- i) Mantenimiento a la red de agua pluvial
- j) Sectorización de la red
- k) Operación de redes y del sistema de distribución de aguas tratadas.
- l) Garantizar el abasto oportuno
- m) Buscar fuentes alternas de abastecimiento preservando acuíferos de abastecimiento y disposición del agua residual
- n) Elaborar catálogos técnicos para todas las partes del sistema de abastecimiento y disposición del agua residual.
- o) Elaborar con el área de sistemas el catastro de la red.

p) Participar en el plan maestro de desarrollo hidráulico.

### **ORGANISMOS OPERADORES CHIAPAS**

Con el fin de mitigar y mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático (CC) de la población y los ecosistemas en la Sierra Madre de Chiapas (Figura 15) se implementó una propuesta integrada, que incluye los componentes: (i) la gestión integral del desarrollo; (ii) la cuenca hidrográfica como unidad de planificación; (iii) un proceso de planeación que incluye las necesidades de las familia, los medios de vida, la base de recursos naturales, el suministro de servicios ecosistémicos y los efectos del CC; (iv) el desarrollo de los capitales humano y social; y (v) un mecanismo de financiamiento público y privado. De 2010 hasta el día que se han realizado diagnósticos participativos, talleres de capacitación, acuerdos comunitarios e intercomunitarios de conservación, restauración de bosques, mejoramiento productivo del maíz, frijol y café, pagos por servicios ambientales proteger el bosque natural, zonificación de las zonas con riesgo de desastre, monitoreo de la calidad del agua y se creó el grupo intercomunitario de acción territorial (GIAT). Los resultados confirman que la adaptación al CC debe ser de carácter integral, territorial y construido con la población local. El mecanismo financiero público-privado garantiza oportunidad y continuidad en el desarrollo de las acciones y potencia la acción del gobierno.

El enfoque de cuencas permite una planificación más eficiente y la implementación de las acciones teniendo en cuenta la relación entre las zonas altas y bajas de la cuenca, así como identificar las interacciones entre los servicios de los ecosistemas diferentes que ofrece el territorio



Figura 15. Sierra Madre de Chiapas y climas en la región  
Fuente: elaborado por Juan Angel Tinoco-CRUO

## 5.1 GIAT

### ¿Qué son los GIAT?

Son una alternativa de organización dentro de las cuencas, para posibilitar la gestión del desarrollo, sustentada en la acción colectiva, el interés común y la participación organizada de la población. Al participar las diferentes comunidades que integran una cuenca hay una mayor capacidad para resolver los problemas y también se da un mayor trabajo de organización buscando que cada comunidad aporte lo que le corresponde dentro de la cuenca.

Con el GIAT la cuenca deja de ser sólo un espacio natural y se transforma en un territorio que posee una organización para su gestión y desarrollo.

### **¿Cuáles son las funciones del GIAT?**

- Realizar diagnósticos sobre problemas en la cuenca relacionados con las fuentes de agua, áreas de bosques, áreas agropecuarias, seguridad alimentaria, prevención de riesgos climáticos y desarrollo económico sustentable.
- Elaborar proyectos de trabajo realistas y asegurar la realización de las actividades que se programen, cuidando que las actividades y proyectos contribuyan al beneficio integral de las comunidades y de la cuenca en su conjunto.
- Gestionar recursos humanos, materiales, económicos y técnicos para la ejecución de las tareas, por medio de la coordinación y concertación con los representantes del sector público y privado, vigilando que los recursos obtenidos para el desarrollo de los proyectos se apliquen oportunamente y de manera eficiente y honesta.
- Difundir en las asambleas comunitarias los planes de trabajo, promoviendo la participación de la población en el cumplimiento de los compromisos adquiridos por cada comunidad.
- Realizar reuniones de evaluación sobre actividades desarrolladas y sobre el cumplimiento de los acuerdos tomados.
- Promover la unión, asociatividad, confraternidad y solidaridad entre las diferentes comunidades que integran una cuenca para el fortalecimiento de la Gestión del desarrollo territorial.

- Fortalecer y apoyar con el trabajo organizado a otros organismos de cuencas que se integren dentro del marco de las políticas públicas vigentes
- Incidir como organización en las políticas y estrategias nacionales, regionales e internacionales en la gestión comunitaria del territorio por cuencas.
- Propiciar alianzas estratégicas de trabajo, intercambio y cooperación con el sector privado, público y otras organizaciones nacionales, regionales e internacionales.

### **Actividades claves previas a la constitución del GIAT**

Antes de constituir un GIAT es recomendable desarrollar las capacidades de la población a través de talleres de sensibilización y capacitación sobre el concepto de cuencas y su utilización como unidad de planificación para el desarrollo y disminución de la vulnerabilidad ante los desastres. Es importante contar con una maqueta de la cuenca para lograr una mayor comprensión de los conceptos. Los talleres se apoyan de recorridos por la cuenca (“cuenca tours”) desde las partes altas hacia las partes bajas, identificando zonas de desastres, deslaves, las fuentes de agua comunitarias, basureros, drenaje de aguas negras, áreas de bosques y de cultivos, entre otros.

Un primer evento se realiza con representantes de las comunidades de la cuenca y los demás con la población de cada comunidad. En estos talleres se señala la importancia de contar con una organización a nivel de cuenca con representantes de cada una de las localidades.

## Capítulo 6

### 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS SITUACIÓN ACTUAL

La delimitación de la zona de estudio, conocer los fenómenos hidrometeorológicos, identificar los organismos operadores, constituyen una parte fundamental, además de otros criterios en el proceso de diseño y ejecución del plan detallado de acciones y para el proceso de priorización de actividades y áreas de intervención.

Los resultados obtenidos deben evaluarse de forma conjunta, analizar la relación que existe entre ellos y de qué forma están afectando a la cuenca.

Lo más importante es reconocer el evidente cambio climático y sus efectos que pueden traer consigo, en este caso se identificó una tendencia creciente de la lluvia acumulada anual en la zona de estudio, lo que a su vez se refleja en la tendencia creciente de lluvias moderadas y fuertes y un evidente incremento en los trenes de tormenta; lo que generará inundaciones en la región, es por eso que el tema de las inundaciones es la prioridad a atender en la región.

Para atender esta situación se han planteado los siguientes 5 puntos de acción:

1. Incremento de la capacidad hidráulica de cauces
2. Aplicación del marco legal en zonas federales
3. Actualizar el ordenamiento territorial
4. Fortalecimiento de los programas de protección civil
5. Restauración hidrológico forestal de la cuenca

A su vez cada punto tiene diferentes acciones a desarrollar como se muestran a continuación:

1. Incremento de la capacidad hidráulica de cauces

- a. Diagnosticar las localidades susceptibles a inundaciones
  - b. Reubicación de localidades
  - c. Conservación y mantenimiento de cauces
  - d. Construcción de infraestructura para la protección
2. Aplicación del marco legal en zonas federales
    - a. Delimitar la zona federal
    - b. Difusión del marco legal
    - c. Aplicación del marco legal
    - d. Denuncia ciudadana ante hechos de invasión de áreas de riesgo
3. Actualizar el ordenamiento territorial
    - a. Incluir en el ordenamiento territorial el uso de zona federa
    - b. Delimitación de zonas de riesgo por inundación
4. Fortalecimiento de los programas de protección civil
    - a. Implementación de programas de monitoreo y vigilancia permanentes en zonas de riesgo
    - b. Elaborar plan de emergencias de la cuenca “El Boquerón”
    - c. Implementación de sistemas de alerta temprana
5. Restauración hidrológico forestal de la cuenca
    - a. Priorizar las áreas de intervención
    - b. Restauración de los márgenes de los ríos
    - c. Conservación de áreas no afectadas

El otro punto a tratar es la pérdida de suelos por lo cual para revertir este problema se presenta la siguiente línea de acción.

Desarrollar prácticas de recuperación y conservación de suelos siguiendo los siguientes puntos:

1. Establecimiento de presas filtrantes para el control de azolves
2. Contribuir a la restauración de terrenos forestales deteriorados y preferentemente forestales que han perdido su cubierta vegetal.
3. Establecimiento de un sistema de zanjas bordo para reducir la velocidad de los escurrimientos, su aprovechamiento, creando condiciones que favorezcan la recarga de acuíferos.
4. Creación de un marco jurídico que obligue y aliente a los agricultores a adaptar prácticas de conservación de suelos eficientes.
5. Programa de reforestación para el control e cárcavas.

Atender estos dos problemas de forma conjunta garantiza un aprovechamiento de los recursos que hay en la región.



## Capítulo 7

### 7 ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LA CUENCA BOQUERÓN

En la fase final de este proyecto, se incorporó al análisis del clima, el Modelo Japonés desarrollado por el Meteorological Research Institute (MRI), con el cual se han generado proyecciones de cambio de clima con escalas espaciales de 20 km x 20 km, lo que permitió contribuir a la realización de los escenarios de riesgo climático 2020, 2050 y 2080.

Dicha información ha sido de gran utilidad para analizar algunos de los procesos que resultan en el clima de México bajo un clima más cálido y ahora se aplica a Chiapas. Su finalidad es contribuir al análisis y caracterización de las condiciones del clima en el estado de Chiapas bajo una perspectiva que incluye las tendencias recientes de cambio en la variabilidad y características de eventos extremos.

Asimismo, se analizó la información de los sectores agua, agricultura, bosques, salud, suelos y riesgos de desastres en condiciones de cambio climático.

En general, los estudios del cambio climático usan diferentes modelos climáticos y un conjunto de escenarios de emisiones para reflejar el rango de incertidumbre causado por diferentes supuestos relacionados con los cambios en los gases de efecto invernadero emisiones, cambio tecnológico, población, desarrollo económico, parametrizaciones físicas, entre otros. Por lo tanto, cada escenario representa una alternativa de cómo podría desarrollarse el futuro.

Hay dos grandes familias de escenarios de emisiones: "A", que son escenarios que describen un futuro mundo con un mayor énfasis en el desarrollo

económico, mientras que los escenarios "B" consideran los caminos futuros que ponen más énfasis en el desarrollo sostenible. Las familias A1 y B1 asumen que la globalización continuará y que las economías mostrarán convergencia económica. Estas familias implican un mayor desarrollo económico para el siglo 21 que el que se observó en el siglo 20, con tasas de crecimiento anual promedio de alrededor del 3%. En las familias A2 y B2, el crecimiento económico es logrado a través del desarrollo regional, no de la globalización. Todas las familias proponen conjuntos diferentes de suposiciones sobre la evolución de las variables que impulsan el cambio climático (población, tecnología, economía, uso de la tierra, agricultura y energía) a nivel global y regional. El nivel de petróleo y las reservas de carbón permiten la suposición de que en estos escenarios esos continuarán siendo una energía fuente durante al menos los próximos 100 años.

En este proyecto se analizan el modelo A1B y en la tabla 19 se muestra los impactos en la precipitación para los años 2020, 2050 y 2080.

Tabla 19. Matriz de cambios de precipitación temperaturas para los escenarios 2020, 2050 y 2080

Matriz de cambio de precipitación y temperatura			
Variable	2020	2050	2080
Precipitación	<-2%	<-2 a -10%	<-4 a -18%
Temperatura	>1.1°C	>1.5 - 1.7°C	>2.2 - 2.4°C

Fuente: Meteorological Research Institute (MRI)

## 7.1 IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA

Al realizar el análisis en la disponibilidad de agua se garantizaba el recurso hídrico al menos al año 2030 (Tabla 17), al incluir los escenarios de cambio climático que es el caso en la disminución de la precipitación y el aumento de la temperatura, estos inciden directamente en la disponibilidad de agua, ya que uno de los parámetros fundamentales para el cálculo de dicha variable es la evapotranspiración que en su cálculo involucra la precipitación y la temperatura. A partir de este análisis obtiene la tabla 20 y 21 donde se compara el impacto del cambio climático.

Disponibilidad de Agua Escenario ideal		
Año	Población	m <sup>3</sup> per cápita
1980	43516.19	7150.66
1990	63138.00	6720.77
1995	74035.00	2892.39
2000	80293.60	5949.42
2005	87056.80	3057.57
2010	92208.26	3460.01
2015	99210.66	3934.78
2020	111272.50	3508.25
2050	155880.10	2504.31
2080	202473.10	1928.02

Tabla 20. Disponibilidad de agua ideal para los escenarios 2020, 2050 y 2080

Disponibilidad de Agua Escenario real		
Año	Población	m <sup>3</sup> per cápita
1980	43516.19	7150.66
1990	63138.00	6720.77
1995	74035.00	2892.39
2000	80293.60	5949.42
2005	87056.80	3057.57
2010	92208.26	3460.01
2015	99210.66	3934.78
2020	111272.50	2707.17
2050	155880.10	1469.04
2080	202473.10	692.96

Tabla 21. Disponibilidad de agua real para los escenarios 2020, 2050 y 2080

En las tablas anteriores se observa como para el año 2080 de acuerdo a los efectos del cambio climático existe una disminución de 1235m<sup>3</sup> per cápita que representa un 64% menos de un escenario ideal.

## **7.2 IMPACTO EN LA AGRICULTURA**

Siendo Villa Flores un municipio eminentemente agrícola y, aun cuando tiene gran importancia para la economía estatal y nacional, enfrenta un fuerte atraso tecnológico, bajos niveles de productividad y rendimientos; en este contexto, los impactos del cambio climático pueden alterar los ritmos de siembra o cosecha; así mismo, con la incidencia de plagas, enfermedades puede variar al mismo tiempo la capacidad de control natural, a causa de los efectos del cambio climático sobre las especies depredadoras.

En México, los impactos negativos a condiciones extremas del clima son recurrentes. Trátese de sequía o de lluvias anómalamente intensas e inundaciones, sectores como el de la agricultura o la protección civil, experimentan afectaciones con un alto costo, tanto económico como social.

El impacto de la disminución de la precipitación incide directamente en el rendimiento de los cultivos, en este caso el maíz es el principal cultivo en la región.

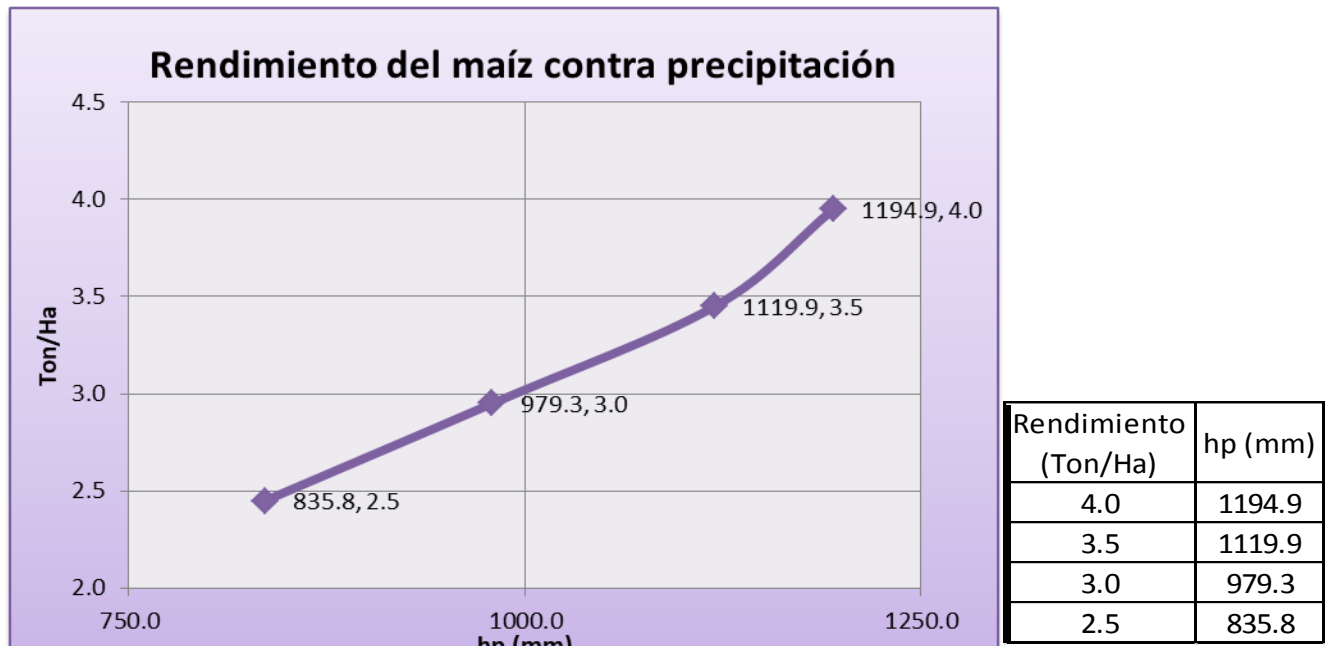
A partir del año 2003 se tiene registro por parte del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) del rendimiento del maíz en el municipio de Villa Flores. En la tabla 22 se muestra el periodo en años de 2003-2016, las hectáreas sembradas, hectáreas cosechadas, el volumen generado y por el último el rendimiento en Toneladas sobre Hectáreas.

Tabla 22. Rendimiento del maíz en el municipio de Villa Flores, Periodo 2003-2016. Fuente. SIACON

<b>Rendimiento del maíz en el municipio de Villa Flores</b>				
Año	Volumen (Toneladas)	Sembrado (hectáreas)	Cosechado (hectáreas)	Rendimiento (Ton/Ha)
2003	130000.05	44789	44789	2.902499498
2004	101666.25	38500	31624.5	3.21479391
2005	109795.03	35100	31566.75	3.478186066
2006	107279.65	34600	34600	3.100567919
2007	66748.46	17193.04	17193.04	3.882295394
2008	64237.31	15803	15803	4.064880719
2009	58085.5	18455	18455	3.147412625
2010	79255.54	21612	21462	3.69283105
2011	91995.12	21862	21862	4.20799195
2012	76541.98	21906	21906	3.494110289
2013	78353.82	21922	21554	3.635233367
2014	53474.95	21948	21624	2.472944414
2015	54452.68	22462	22380	2.433095621
2016	84607.03	22457	22457	3.76751258

*Fuente (SIACON).*

A partir de esta información, se elaboró la gráfica 8 donde se relaciona la precipitación acumulada en el periodo de primavera-verano contra el rendimiento del maíz generado al paso de los años.



Grafica 8. Rendimiento del maíz (Ton/Ha) contra precipitación (mm)

Se observa en la gráfica una relación directamente proporcional que mientras exista una disminución en la precipitación el rendimiento será menor, por lo que concluimos que el efecto del cambio climático en la disminución de la precipitación afecta directamente a la agricultura.

Continuando con el análisis, podemos hablar del impacto del bajo rendimiento del maíz con la economía, aplicando un modelo arima multiplicativo podemos obtener un valor esperado de la precipitación en los siguientes años y a partir de ese valor obtener el rendimiento esperado y la pérdida en dólares que se genera, por lo cual a partir de la tabla 23 calculamos la pérdida.

Tabla 23. Precio en dólares por tonelada en el municipio de Villa Flores, en el periodo de 2003-2016.

<b>Rendimiento del maíz en el municipio de Villa Flores</b>							
Año	Volumen (Toneladas)	Sembrado (hectáreas)	Cosechado (hectáreas)	Rendimiento (Ton/Ha)	Precio en Pesos por Tonelada	Precio del Dólar	Precio en Dólares por Tonelada
2003	130000.05	44789	44789	2.9024995	1418	10.791345	131.40159
2004	101666.25	38500	31624.5	3.21479391	1400	11.287061	124.03584
2005	109795.03	35100	31566.75	3.47818607	1650	10.889503	151.52207
2006	107279.65	34600	34600	3.10056792	2016.49	10.903372	184.94187
2007	66748.46	17193.04	17193.04	3.88229539	2267.06	10.927441	207.46486
2008	64237.31	15803	15803	4.06488072	2715.79	11.14381	243.70391
2009	58085.5	18455	18455	3.14741263	2693.4	13.498305	199.53616
2010	79255.54	21612	21462	3.69283105	2870.7	12.628694	227.31567
2011	91995.12	21862	21862	4.20799195	3877.69	12.43006	311.96067
2012	76541.98	21906	21906	3.49411029	3830.51	13.168949	290.87439
2013	78353.82	21922	21554	3.63523337	2756.58	12.769568	215.87104
2014	53474.95	21948	21624	2.47294441	2937.02	13.30318	220.77579
2015	54452.68	22462	22380	2.43309562	3873.379	15.881004	243.90014
2016	84607.03	22457	22457	3.76751258	3618.39	18.688619	193.61463

Fuente: SIACON 2016

Al analizar la gráfica de rendimiento del maíz contra la precipitación y aplicando un modelo ARIMA, para el año 2018 se espera una precipitación de 980mm equivalente a un rendimiento de 3 toneladas por hectárea.

Si en el año 2018 el SIACON estima una cosecha de 22,000 hectáreas multiplicadas por el rendimiento de 3 toneladas por hectárea obtendremos el número de toneladas esperadas para el año 2018. A su vez comparamos el resultado con el precio por tonelada de maíz al año 2018 en dólares para estimar la pérdida que nos ocasiona la disminución de lluvia en la región.

Precipitación esperada (mm)	Hectáreas sembradas esperadas	Rendimientos (Ton/Ha) de acuerdo a la precipitación	Volumen esperado (Toneladas)	Precio en dólares por tonelada de Maíz	Valor total en dólares
980	22000	3	66000	169.18	11165748
1100(ideal)	22000	4	88000	169.18	14887664
Perdida en dólares					3721916

De acuerdo al análisis se espera una pérdida de \$3,721,916 USD.

En el caso que se tomaran las medidas adecuadas para aprovechar los cambios del clima, se beneficiaría a la producción de soja, un cultivo capaz de tolerar un aumento de las temperaturas ambiente de hasta 3°C. En cambio, el futuro del maíz para la próxima mitad de siglo es menos promisorio, ya que bastan apenas 1 a 1,5°C más de temperatura, lo que se espera que ocurra antes de 2020 para que el rendimiento sea menor.



### **7.3IMPACTO EN LA SALUD**

Las repercusiones del cambio y la variabilidad del clima en la salud ya se están manifestando en la sociedad a nivel mundial. Los peligros del cambio climático para la salud son diversos y complejos, los cuales será difícil de revertir en un corto plazo. Un ejemplo de ello es el aumento de la población de mosquitos debido a cambios de las temperaturas y la disponibilidad de agua, y modificaciones de la dinámica en las enfermedades infecciosas (OMS, 2008).

Ante este panorama, la Organización Mundial de la Salud en su informe sobre la salud en el mundo 2002, estimó que el cambio climático fue responsable en el año 2000 de aproximadamente el 2,4% de los casos de diarrea en todo el mundo y del 6% de los casos de paludismo en algunos países de ingresos medios (Martens et al, 1998).

Enfermedades como el paludismo, las diarreas y la malnutrición causan más de tres millones de defunciones por año, y es previsible que la incidencia y la propagación de estas enfermedades y dolencias se vea afectada por la modificación de las características meteorológicas y la disponibilidad de agua (OMS, 2008).

Los sectores de la población más vulnerable son los niños, los ancianos y los enfermos que habitan en zonas donde hay desnutrición generalizada, educación deficiente y precariedad de las infraestructuras, por lo que tendrán las mayores dificultades para adaptarse al cambio *climático* y a los *riesgos conexos para la salud* (OMS, 2008).

#### **7.3.1 Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) ante el cambio climático.**

Las repercusiones del cambio y la variabilidad del clima en la salud ya se están manifestando en la sociedad a nivel mundial Las EDA han constituido un problema importante de salud pública en el mundo y afectan a todos los grupos de edad, sin embargo, los más vulnerables son los menores de 5 años. (Riojas, et al, 2006)

En Chiapas, al incrementarse un grado centígrado la temperatura ambiente se tiene un aumento promedio de 1.07% en la morbilidad por enfermedad

diarreica aguda. (INE-SEMARNAT, 2006) ¿Por qué es tan importante el estudio de las EDA's en la región? Debido a que conocemos que existe un impacto en la morbilidad con el aumento de temperatura y para los escenarios 2020, 2050 y 2080 se espera más incremento de temperatura se analiza el costo que está generando para las instituciones de salud. Es importante mencionar que la población en el estado de Chiapas por grupo quinquenal muestra un mayor número de habitantes menores de 5 años que son los más vulnerables para las EDAs, así mismo se observa que también existe un gran número de personas de la mayor edad (mayores de 65 años). Para el análisis del gasto que genera para las instituciones de salud se consultó el diario oficial los costos unitarios para atención en unidades de primer nivel, tomando "Consulta de Medicina Familiar" con un valor de \$733 sumando "Estudio de Laboratorio Clínico" con un valor de \$105 dando un total por paciente de \$838 sin tomar en cuenta los medicamentos para el tratamiento.

En la tabla 24 y tabla 25 se muestra la población total en el estado de Chiapas por grupo quinquenal al 2015 y los costos unitarios por nivel de atención medica respectivamente.

**Población total en viviendas particulares habitadas  
por grupo quinquenal de edad según sexo  
Al 15 de marzo de 2015**

Grupo quinquenal de edad	Total	Hombres	Mujeres
<b>Total</b>	<b>5 217 908</b>	<b>2 536 721</b>	<b>2 681 187</b>
0 a 4 años	585 445	294 903	290 542
5 a 9 años	587 491	296 797	290 694
10 a 14 años	567 499	286 117	281 382
15 a 19 años	526 322	261 783	264 539
20 a 24 años	476 367	226 548	249 819
25 a 29 años	400 637	184 407	216 230
30 a 34 años	375 232	175 009	200 223
35 a 39 años	343 684	158 614	185 070
40 a 44 años	298 276	141 844	156 432
45 a 49 años	248 859	116 811	132 048
50 a 54 años	214 134	102 774	111 360
55 a 59 años	166 524	80 456	86 068
60 a 64 años	133 446	65 700	67 746
65 a 69 años	98 989	48 464	50 525
70 a 74 años	78 997	38 447	40 550
75 y más años	113 494	56 858	56 636

Tabla 24 Población total por grupo quinquenal de edad. Al 15 de marzo de 2015 Fuente (INEGI).

TIPO DE SERVICIO	COSTO UNITARIO ACTUALIZADO AL 2018 (pesos)
<b>ATENCIÓN EN UNIDADES DE PRIMER NIVEL</b>	
Consulta de Medicina Familiar	733
Consulta Dental (Estomatología)	739
Atención de Urgencias	562
Curaciones	733
Estudio de Laboratorio Clínico	105
Estudio de Radiodiagnóstico	318
Estudio de Ultrasonografía	493
Traslado en Ambulancia	351
Sesión de Hemodiálisis	4,633
Sesión de Quimioterapia	7,169

Tabla 25 Tabla que contiene los Costos Unitarios por nivel de atención medica actualizados al 2018. Fuente. IMSS

Si consideramos el 1% de morbilidad por incremento de temperatura y tomamos en cuenta la región de Chiapas, estamos hablando de cerca de 8,700 (ocho mil setecientas) personas con índice de morbilidad por EDA; Lo cual para las instituciones de salud se le generaría un gasto de 8700 personas \* \$838 consulta en atención a primer nivel por parte de las instituciones dando un total de 7,290,600 (siete millones, doscientos noventa mil seiscientos) pesos.

## Capítulo 8

### 8 CONCLUSIONES

1.- La protección de los recursos naturales en la cuenca hidrográfica es esencial para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, tanto en el presente como en el futuro.

2.- Se resalta la importancia de abordar el cambio climático con un enfoque integral, sistémico, participativo y territorial. La cooperación público-privado desarrollado entre las comunidades, universidades y gobierno debe ser de forma conjunta y estratégica para integrar recursos y esfuerzos en un fin común que garantice el desarrollo sustentable de la cuenca.

3.- El manejo integral de cuencas con enfoque sistémico es una herramienta esencial para planificar y desarrollar proyectos estratégicos territoriales, en sustitución de las acciones sectoriales aisladas y dispersas de poco o nulo impacto.

4.- Los principales factores que limitan el logro de impactos significativos en el manejo integral de las cuencas son la falta de integración efectiva de las instituciones, la discontinuidad de las acciones, el desconocimiento generalizado del concepto de manejo integral de cuencas y la débil aplicación del marco legal existente.

5. Es necesario actualizar, mejorar y aplicar las leyes relacionadas con la gestión de las cuencas hidrográficas, así como mejorar los mecanismos institucionales que vinculan las intervenciones en las cuencas con las políticas nacionales, estatales y municipales.

6.- Aún falta mucho por hacer para alcanzar una gestión participativa e integrada de las cuencas hidrográficas, con mayor participación y compromiso de la población local y con el apoyo del gobierno como facilitador y regulador de los procesos.

7.- Resolver este desafío es complejo, ya que el camino a seguir debe permitir incluir de manera simultánea las siguientes condiciones: disminuir la erosión de suelo, la deforestación, los desastres por inundación o sequía, satisfacer las necesidades de calidad y cantidad de agua, asegurar la suficiencia agro-alimentaria con un buen manejo de las tierras, así como, prevenir y combatir la contaminación del agua desde todos los orígenes.

## 9 BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

- 1) Campos, A., D.F. (2007). Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. México.
- 2) CONAGUA. 2008. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Primera impresión. SEMARNAT-CONAGUA. México, D. F. 206 p.
- 3) FAO (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Roma, Italia. 143 p.
- 4) Jiménez, F. 2005. Materiales del curso manejo integral de cuencas. CATIE. CR. 150 p.
- 5) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). XII Censo General de Población y Vivienda. México: INEGI.
- 6) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2003-2016). Anuario estadístico y geográfico del Estado de Chiapas. México: INEGI.
- 7) Labrada, L.M.(2016) MODELACIÓN LLUVIA – ESCURRIMIENTO DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS PARA LA CUENCA CHICOASÉN. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- 8) Linsley Jr.,R.K., Kohler, M.A y Paulhus, J.C.H. (1975): Hydrology for engineers (2ª edición). McGraw Hill. Ney York.
- 9) López B., W.; Villar S., B.; López M., J.; Faustino M., J. 2008. El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de Chiapas: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión. En Seminario Internacional sobre Cogestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos. Compiladores Laura Venegas y Jorge Faustino. Turrialba, Costa Rica. P. 21-26.

- 10) López, B. W.; Castro, M. I.; Camas, G. R.; Villar, S. B. López, M. J., 2013. El manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Folleto Técnico Núm.19. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. México. 25 p.
- 11) López Báez, W. (2014). WATERSHED MANAGEMENT ANALYSIS AS A TOOL FOR SUSTAINABLE USE OF NATURAL RESOURCES, Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, XIII(2) 39 - 46. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.017>
- 12) PALMER, W.C. (1965): Meteorological drought. Research Paper N. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC. 58 pp.
- 13) RIOCI. 2009. La organización de la Red Internacional de Organismos de Cuencas (RIOCI). Bases de organización y funcionamiento. Paris, Francia. En: [Hhttp://www.inbo-news.org/riobest.htm](http://www.inbo-news.org/riobest.htm).
- 14) Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, Costa Rica. GTZ-IICA. 338 p.
- 15) Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2003-2016). Estadística de la población agrícola. México: INEGI.
- 16) (2008b), Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005–2050, México, CONAPO, en: [http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36&Itemid=234](http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234)